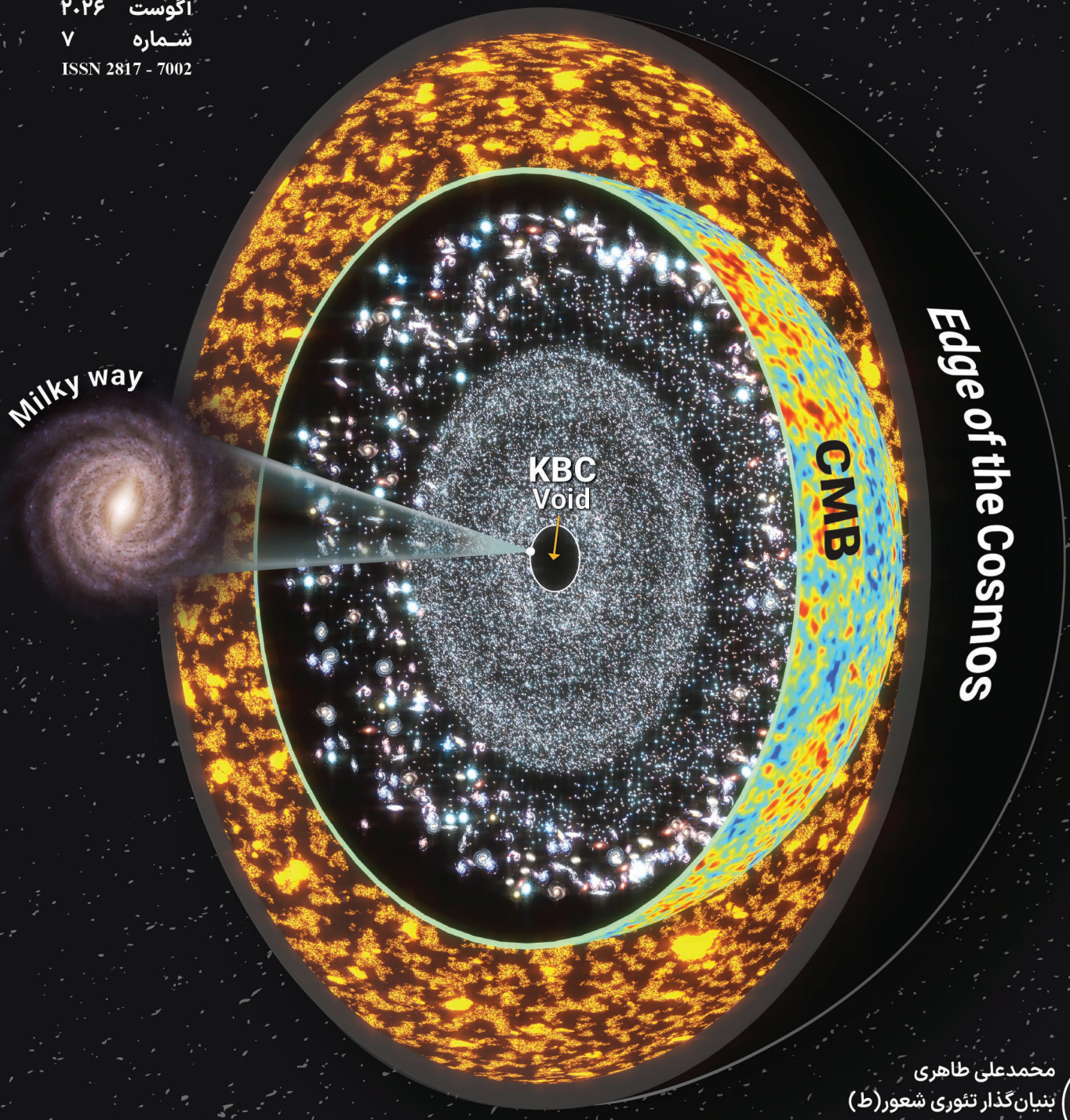
ویژه‌نامه کیهان‌شناسی شعوری

مجله‌ی علمی
کازمو اینتل
اولین مجله‌ی تحقیقات علمی
در حوزه‌ی شعور(ط)

کیهان دوار طاهری

از سری نظریه‌های محمدعلی طاهری

آگوست ۲۰۲۶
شماره ۷
ISSN 2817 - 7002



محمدعلی طاهری
بنیان‌گذار تئوری شعور(ط)

WWW.JOURNALOFCOSMOINTEL.COM

Interuniversal Press

T-CONSCIOUSNESS

COSMOLOGY

Mohammad Ali Taheri

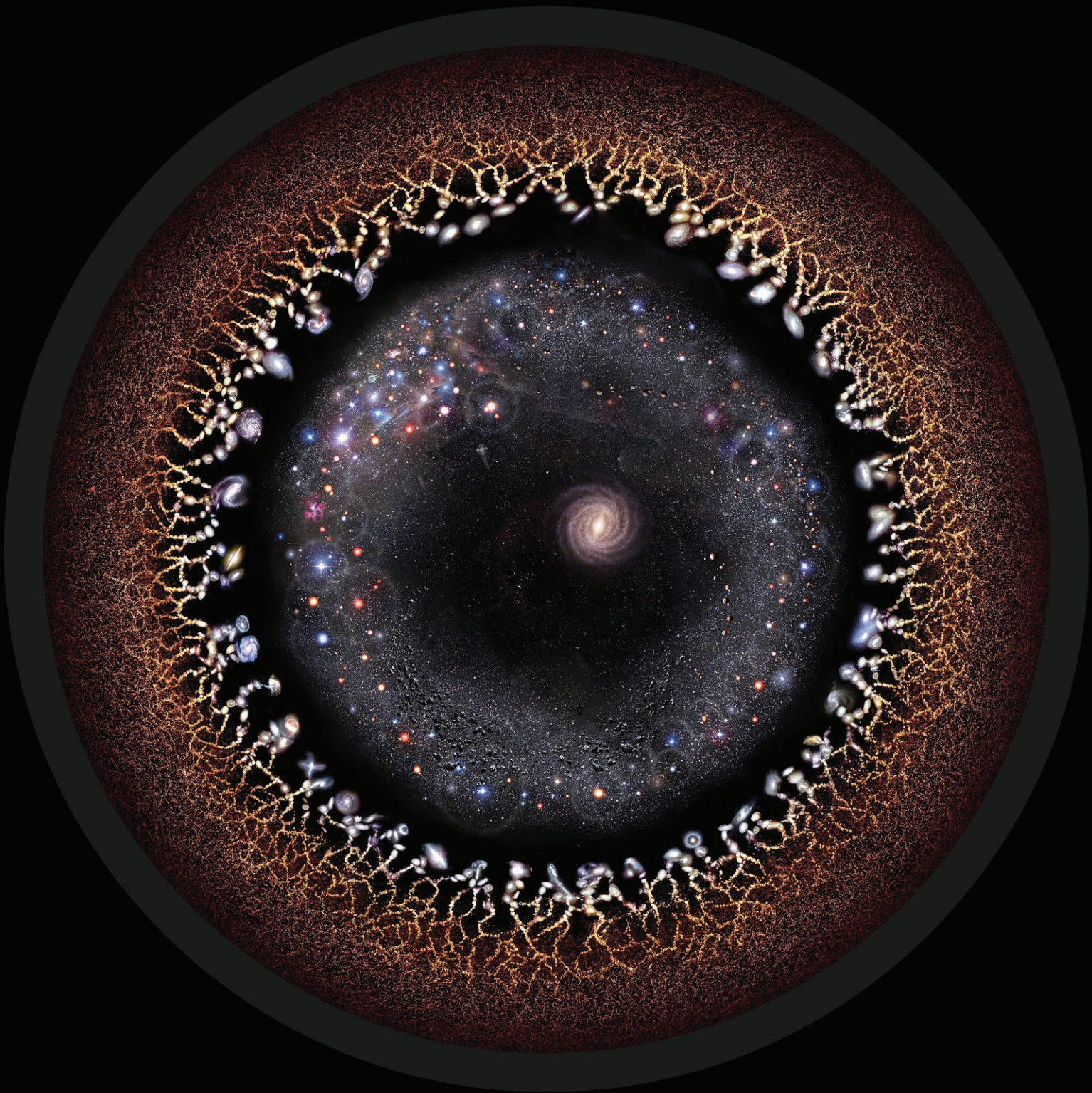
کیهان دوار طاهری

محمدعلی طاهری

www.journalofcosmointel.com
www.cosmointel.com

Interuniversal Press

Journal No. 7



شماره ۷ آگوست ۲۰۲۶
ISSN 2817-7002

نظریه‌پرداز: محمدعلی طاهری

(مجموعه‌ی نظریه‌های جدید در حوزه‌ی کیهان‌شناسی)

The Scientific Journal of Cosmointel
Vaughan, Canada

Interuniversal Press

مشخصات نشریه

زبان نشریه: فارسی_ انگلیسی

ناشر: ۱۴۰۵

رتبه: دارای رتبه‌ی علمی_ پژوهشی

آدرس سایت: www.journalofcosmointel.com

پست الکترونیک: manager@journalofcosmointel.com

DOI: https://doi.org/10.61450/joci.FA.v5i7.236

مشخصات نشریه

عنوان نشریه: مجله‌ی علمی کازموانتل

ناشر: اینتریونیورسال پرس

صاحب امتیاز و مالکیت معنوی: محمدعلی طاهری

مدیرمسئول و سردبیر: محمدعلی طاهری

براساس نظریه‌ی «کیهان‌شناسی شعوری»؛ نظریه‌پرداز: محمدعلی طاهری

بخش علمی: گروه علمی کیهان‌شناسی شعوری

ویرایش: تحریریه‌ی موسسه‌ی کازموانتل، واحد کیهان‌شناسی شعوری

طراحی، صفحه‌آرایی و اجرای تصاویر: گروه طراحان کیهان‌شناسی شعوری

تمام حقوق مادی و معنوی این ویژه‌نامه، شامل نظریه‌ها، مفاهیم و مبانی، اصطلاحات تخصصی، تصاویر نوآوری‌شده، ترجمه و سایر محتواها، متعلق به مجله‌ی علمی کازموانتل و اینتریونیورسال پرس با بنیان‌گذاری و مالکیت «محمدعلی طاهری» است. هرگونه سرقت علمی، ادبی و هنری، بازنشر و یا تغییر محتوا و تصاویر بدون کسب اجازه‌ی کتبی و هرگونه سوءاستفاده از این اثر، پیگرد قانونی خواهد داشت.

August 2026 | Journal No.7
ISSN2817-7002

T-CONSCIOUSNESS COSMOLOGY

Mohammad Ali Taheri

www.Journalofcosmointel.com
www.Cosmointel.COM

فهرست

مقدمه‌ای بر کیهان‌شناسی شعوری ۹

چکیده ۱۳

پیش‌گفتار ۱۵

کیهان‌های دوار و جایگاه آن‌ها در تاریخ کیهان‌شناسی نظری ۱۷

سایر نظریه‌ها و اثرات مرتبط با چرخش کیهان ۲۲

نظریه‌ی کیهان دوار طاهری و سازوکار آن ۲۴

چرخش همه‌محوری کیهان، حرکتی همواره پویا ۳۰

عوامل فیزیکی چرخش همه‌محوری کیهان در مدل کیهان کروی ۳۱

اهمیت تکانه‌ی زاویه‌ای در کیهان ۳۵

خمیدگی فضا در کیهان ۳۷

انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای به عنوان یکی از سازوکارهای پیدایش اسپین در چهارچوب نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» ۳۸

پوسته‌ی کیهان: چرخ‌طیار کیهانی ۴۱

رویکردهای نوین در شناسایی چرخش کیهان از منظر کیهان‌شناسی شعوری ۴۳

بازتفسیر مفاهیم دوقطبی/چهارقطبی/هشت‌قطبی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی مطابق با نظریه‌ی کیهان دوار طاهری ۵۸

ساختارهای بزرگ‌مقیاس و نشانه‌هایی از چرخش همه‌محوری کیهان ۶۱

نیروی گریز از مرکز کیهانی در SCM ۷۴

ریخت‌شناسی و تاریخچه‌ی شکل‌گیری کهکشان‌ها در بستر دینامیک چرخشی کیهان ۷۸

مدل کیهان کروی و تفسیر داده‌های SDSS ۸۳

منشاء میدان مغناطیسی جهان و رابطه‌ی آن با چرخش کیهان در SCM ۸۸

منابع ۱۰۱





مقدمه‌ای بر کیهان‌شناسی شعوری

پرده‌برداری از کیهان

گستره‌ی وسیع کیهان با وجود اجرام درخشان بی‌شمار، هزاران سال است بشریت را مجذوب خود کرده و کنجکاوی عظیمی را نیز برانگیخته است. اشتیاق برای درک جهانی که در آن زندگی می‌کنیم باعث شد انسان همواره در پی کشف اسرار کیهان برآید. این تلاش را می‌توان در تمدن‌های باستانی که صورت‌های فلکی را ترسیم می‌کردند یا ستاره‌شناسان مدرن امروزی که به دورترین نقاط فضا نگاه می‌کنند، مشاهده کرد. در طول تاریخ، ستاره‌شناسان پیش‌گامی همچون گالیله و کوپرنیک، راه را برای درک عینی‌تر از جهان هموار کردند تا این‌که کیهان‌شناسی مدرن با مجهزشدن به تلسکوپ‌های قدرتمند و آشکارسازهای پیشرفته، به عنوان یک کل، درک ما را از جهان متحول کرد و چهارچوبی برای منشاء، تکامل و سرنوشت نهایی کیهان ارائه داد.

از فلسفه تا نظریه‌ها و مشاهدات فیزیک

معمای رازگونه‌ی کیهان، دلیل تاخت‌وتاز افکار، شهود و استدلال‌های بی‌شماری در طول تاریخ بشریت بوده و است. نگاه به چیدمان ستاره‌ها در تصویر صور فلکی و بیان اسطوره‌ها و قصه‌های خیالی تا پرسش و پاسخ‌های فلسفی و به تعبیری تعریف فلسفه‌ی طبیعت از ده‌هاهزاران سال پیش توجه بشر را به کیهان معطوف کرده است. پس از آن، تعاریف ریاضیات در راستای ساده‌کردن این تعاریف فلسفی، چشم انسان را به روی دنیای فیزیک گشود. تلاش‌های پیگیرانه و تجمع پرسش‌های بی‌پاسخ نه‌تنها انسان را واداشت با پیشرفت تکنولوژی به مشاهده و رصد کیهان در مقیاس‌های بزرگ‌تر بپردازد بلکه با پردازش مدل‌های بی‌شمار ریاضی و تعریف نظریه‌های متعدد که گاه با هم هم‌سو بودند و گاه متناقض، کیهان و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن را به تفسیر و تحلیل کشاند. اما علی‌رغم پیشرفت‌های فنی و تکنولوژی، تعریف و تفسیر کیهان در بی‌شمار معادلات، محاسابات، مدل‌ها و نظریه‌های فیزیک گم شد و هیچ تعبیر یکپارچه‌ی قدرتمند روشنی از کیهان تاکنون ارائه نشده و بشریت در پاسخ این پرسش‌ها که «کیهان چیست؟»، «چرا وجود دارد؟» و «به کجا روانه است؟» وامانده. این‌جا است که قدرت شهود و ادراک از دیدگاه کل‌نگری لازمه‌ی شناخت و درک فلسفه‌ی چرایی و چه‌گونگی کیهان است. از این منظر کیهان‌شناسی شعوری کوشیده پیچیدگی‌های علم کیهان‌شناسی رایج را به سادگی مبدل می‌کند و با طرح نظریه‌های جدید، تعبیر و تفسیر کامل و واضح و یکپارچه‌ای از کیهان ارائه می‌کند. به علاوه، این دیدگاه به تمامی مفاهیم و همچنین ماهیتی که در کیهان وجود دارد (همچون اطلاعات کیهانی، ذهن کیهانی، شعور کیهانی و همچنین زیست و انواع حیات کیهانی) می‌پردازد. حال آن‌که چنین مباحثی در علم فیزیک رایج، گنگ و نامعتبر بوده و در محدوده‌ی علم کیهان‌شناسی رایج نمی‌گنجد.

دیدگاه کیهان‌شناسی رایج و نظریه‌های متداول
بیگ‌بنگ: کیهانی که از نقطه‌ی فوق چگال و داغ متولد شد.

با پیشرفت تحقیقات علمی، سرانجام نظریه‌ی بیگ‌بنگ (انفجار بزرگ) به عنوان مدل کیهانی غالب، برای منشاء جهان معرفی شد. این نظریه، فرض می‌کند کیهان تقریبا ۱۳/۸ میلیارد سال پیش از نقطه‌ی بسیار کوچکی با چگالی و دمای فوق‌العاده بالا به وجود آمده که به آن نقطه‌ی تکینگی گفته می‌شود. این نقطه‌ی تکینه در کسری از ثانیه به‌سرعت منبسط و سرد شد و طی فرآیند ساخت و تشکیل عناصر و سپس اجرام کیهانی، در نهایت به کیهانی که امروزه مشاهده می‌کنیم، منتهی شد.

از دیدگاه کیهان‌شناسان، چندین مشاهده‌ی کلیدی نظریه‌ی بیگ‌بنگ را به‌شکلی قوی حمایت می‌کنند. یکی از این مشاهدات، کشف تابش پس‌زمینه‌ی مایکروویو کیهانی (CMB) است. این تابش به عنوان پژواکِ ضعیفی از کیهان اولیه به شمار می‌آید که در کل فضا نفوذ کرده است. به عبارتی، یکنواختی آن در سراسر آسمان با پیش‌بینی منشاء گرم و متراکم جهان تطبیق دارد. علاوه بر این، فراوانی عناصر سبک مانند هیدروژن و هلیوم مشاهده‌شده در جهان نیز با سنتز هسته‌ای که پیش‌بینی می‌شود پس از انفجار بزرگ رخ داده، مطابقت دارد.

مدل استاندارد کیهان‌شناسی: چهارچوبی برای تکامل کیهان

با تکیه بر نظریه‌ی بیگ‌بنگ، مدل استاندارد کیهان‌شناسی (Lambda-CDM) تصویر دیگری از لحظات اولیه و تکامل جهان را که شامل به وجود آمدن ذرات بنیادین تا شکل‌گیری ساختارهای بزرگ، همچون کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی است، ارائه داد. مدل استاندارد، نظریه‌ی تورم را در بر می‌گیرد. تورم، دوره‌ای از انبساط نمایی سریع است که تصور می‌شود اندکی پس از انفجار بزرگ رخ داده است. این نظریه، یکنواختی مشاهده‌شده در جهان بزرگ‌مقیاس و برخی از مشکلات مدل بیگ‌بنگ را به‌صورت نظری حل می‌کند. همچنین، این مدل بر وجود ماده‌ی تاریک و انرژی تاریک که اجزاء مرموز جهان به شمار می‌آیند، تکیه دارد. ماده‌ی تاریک اگرچه نامرئی است اما با اِعمال کشش گرانشی بر حرکت کهکشان‌ها و خوشه‌ها تاثیر می‌گذارد. از سوی دیگر، اعتقاد بر این است که انرژی تاریک مسئول انبساط شتابان فعلی جهان است.

پرسش‌های بی‌پاسخ و کاوش‌های در حال انجام

با وجود موفقیت‌های صورت‌گرفته در علم کیهان‌شناسی، نظریه‌ی بیگ‌بنگ و مدل استاندارد هنوز با چالش‌هایی روبه‌رو هستند. چه‌گونگی تولد کیهان، فرآیند تغییر و تحولات آن به شکل امروزی، ماهیت و شکل هندسی کیهان، سرنوشت نهایی آن و ویژگی‌های ماده‌ی تاریک و انرژی تاریک و احتمال وجود کیهان‌های دیگر و البته تعداد بی‌شماری پرسش‌های بی‌پاسخ، دلیلی برای متوقف‌نشدن تحقیقات فعلی هستند. علاوه بر این، مدل‌های کیهانی جایگزین همچون مدل حالت پایدار و... برای اطمینان از درک جامع منشاء و تکامل جهان در حال بررسی‌اند.

کیهان‌شناسی شعوری؛ نگاهی جدید به کیهان

کیهان‌شناسی شعوری شامل مجموعه نظریه‌هایی است که در برگیرنده‌ی مباحثی همچون منشاء جهان، ماهیت آن، نحوه‌ی تکامل، سرنوشت کیهان و صدها نظریه‌ی دیگر است که هرکدام از منظر و زوایه‌ای متفاوت مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته می‌شوند.

این دیدگاه، همان‌طور که از نام آن پیدا است، با ارائه و معرفی «شعور» منحصربه‌فردی به نام شعور(ط) یا (T-Consciousness)، این نظریه را مطرح می‌کند که کیهان علاوه بر ماده و انرژی دارای عامل دیگری به نام شعور است که با تعاریف ارائه‌شده در تاریخ علم یا فلسفه، متفاوت است. این دیدگاه با ارائه‌ی دلایل استدلال می‌کند که خود ماده و انرژی نیز منتج از شعور(ط) هستند.

همچنین، کیهان‌شناسی شعوری این‌گونه بیان می‌کند که کیهان به‌طور کلی شامل دو بخش فرکانسی (۷) و غیرفرکانسی (-) است:

منظور از بخش فرکانسی کیهان، توصیف رفتار تناوبی و غیرخطی است که این رفتار، دامنه و طول موج دارد؛ طوری که اثر این بخش در جهان به‌صورت ناپیوسته و غیرممتد است (مانند همه‌ی انواع امواج شناخته‌شده و ماده‌ی معمولی).

در صورتی که بخش غیرفرکانسی کیهان، توصیفی از رفتار غیرتناوبی و خطی است که دامنه و طول موج این رفتار صفر است و اثری که در جهان می‌گذارد پیوسته و ممتد است. برای مثال، می‌توان گفت خود فضا، گرانش یا زمان اثر فرکانسی ندارند و همه‌چیز را به‌صورت ممتد تحت تاثیر قرار می‌دهند؛ طوری که حتی اگر یک لحظه، یکی از آن‌ها (مثلا گرانش) تاثیر تناوبی پیدا کند، همه‌ی کیهان از هم فرومی‌پاشد. اما باید گفت نتیجه‌ی این تاثیر به وجود آمدن ذرات (ماده‌ی معمولی) است که رفتار آن‌ها تناوبی و فرکانسی است. اگر زمان نیز به‌خودی‌خود تاثیر تناوبی داشته باشد، به همان ترتیب کیهان از هم می‌پاشد. در صورتی که ما برای تعیین زمان،

ساعت و تقسیم‌بندی آن، تیک‌وتاک ساعت را ابداع کرده‌ایم. در نتیجه از این دیدگاه، بخش شناخته‌شده‌ی فیزیکی کیهان به‌طور کلی تناوبی و فرکانسی است. نکته‌ی حائز اهمیت این است که منظور از خطی‌بودن تاثیر فضا، گرانش و همچنین زمان یا ماده‌ی تاریک و انرژی تاریک، تاثیر ماهیتی این عوامل در کیهان است و نه نتیجه‌ی اثرگذاری آن‌ها. در نتیجه، بخش فرکانسی (~) کیهان شامل ماده و انرژی است. اما بخش غیرفرکانسی و غیرپالسی (-) کیهان شامل دو بخش زیر است:

الف- بخشی که در کیهان‌شناسی رایج با تعاریف دیگری به آن اشاره شده است. مانند: فضا-زمان، انرژی تاریک و ماده‌ی تاریک.

ب- شعور، اطلاعات، ذهن، حیات، انرژی تاریک زیستی و... بخشی‌اند که در کیهان‌شناسی رایج به آن‌ها اشاره نشده و تعاریف خاصی نیز ندارند. در حالی که از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری، تشکیل‌دهنده‌ی بخش اصلی کیهان هستند.

نکته‌ی مهم: در کیهان‌شناسی شعوری به جای مفهوم «فضا-زمان» از عبارت «فضا، گرانش-زمان» استفاده می‌شود که در آن گرانش و زمان به‌صورت متناسب همواره همراه هم هستند و هرگز قابل جداشدن از یکدیگر نیستند. در واقع، این دو به عنوان حقیقت دو روی یک سکه (تاثیر) به شمار می‌آیند. همچنین، از این دیدگاه اگر فضا وجود نداشته باشد، به‌طور قطع کیهانی نیز وجود نخواهد داشت. بنابراین، فضا به عنوان رکنی اصلی در کیهان به شمار می‌رود. در صورتی که نه ماده است و نه انرژی؛ به این معنا که ماهیت فضا به عنوان یکی از اجزاء اصلی کیهان به‌صورت پالسی و تپنده نیست. این موضوع شامل انرژی تاریک و ماده تاریک نیز می‌شود که این دیدگاه آن‌ها را تابعی از خود فضا معرفی می‌کند.

بنابراین، کیهان‌شناسی شعوری بیان می‌کند ساختار اجزای کیهان مانند انرژی تاریک و ماده‌ی تاریک، متشکل از ذره نیست. در ضمن، گرانش نیز به علت غیرپالسی‌بودن، به‌خودی‌خود ماهیت غیرفرکانسی ندارد. از این رو، به‌صورت کلی گرانش نیز از ذره (گراویتون فرضی‌ای که علم رایج در نظر می‌گیرد)، تشکیل نشده است.

در مورد غیرپالسی‌بودن گرانش یا فضا و... می‌توان به این موضوع اشاره کرد که محاسبات فیزیک نشان می‌دهند اجسام کیهانی با جرم زیاد یا شتاب‌دار می‌توانند فضا-زمان را طوری مختل کنند که گویی امواج گرانشی در همه‌ی جهت‌ها انتشار می‌یابند. به عبارتی کیهان‌شناسی رایج چنین پیش‌بینی می‌کند که امواج گرانشی ناشی از چرخش ستاره‌های نوترونی، برخورد سیاهچاله‌ها و انفجار سوپرنواها قابل بررسی‌اند و البته با هم تفاوت دارند. اما کیهان‌شناسی شعوری آنچه را در فیزیک رایج به عنوان امواج گرانشی تعریف می‌شود، فقط انقباض (squeez) و انبساط (stretch) فضا در اثر تغییر رفتار اجسام پرجرم در کنار یکدیگر می‌داند. بنابراین، تغییر رفتار گرانشی اجسام پرجرم تنها سبب جمع‌شدن و بازشدن فضا شده و گرانش بر ساختار فضا اثرگذاری خطی دارد، نه موج‌گونه.

به موازات این موضوع، زمان نیز به‌صورت خطی تاثیر خود را بر کیهان و اجزای آن وارد کرده و دقیقا با گرانش همراه است و در صورت صفربودن گرانش، زمان نیز صفر خواهد بود یا اگر گرانش به بی‌نهایت سوق داشته باشد، زمان نیز به همان ترتیب بی‌نهایت می‌شود. بیان این نکته نیز ضروری است که نوع زمان‌سنجی‌ای که صورت می‌گیرد (در نظر گرفتن تیک‌تاک ساعت)، ابداع انسان است و خود زمان ماهیت فرکانسی و پالسی ندارد.

درنتیجه، به‌صورت کلی در کیهان‌شناسی شعوری به جای عبارت مشهور «فضا-زمان» از «فضا، گرانش-زمان» استفاده می‌شود.

آغاز و سرنوشت کیهان

مدل‌های مطرح‌شده در کیهان‌شناسی رایج تاکنون درباره‌ی این موضوعات که پیش از بیگ‌بنگ چه چیزی وجود داشته یا انواع ماده و انرژی شناخته‌شده‌ی امروزی چه‌گونه در لحظه‌ی اولیه‌ی انفجار به وجود آمده‌اند، نظریه‌ی به‌خصوصی که مورد پذیرش اغلب دانشمندان این حوزه باشد، ارائه نداده‌اند و این مسائل برای کیهان‌شناسان همچنان در هاله‌ای از ابهام باقی مانده است. در این راستا، کیهان‌شناسی شعوری با ارائه‌ی مدل جدیدی به نام «کیهان کروی»، نه‌تنها به منشاء یا همان نحوه‌ی شکل‌گیری نطفه‌ی آغازین کیهان می‌پردازد بلکه با تصدیق انبساط کیهان و معرفی وجود پوسته‌ای از جنس TAM (Taheri Absolute Matter) برای کیهان که آن را ایزوله کرده، سازوکار زیربنایی متفاوتی در مقایسه با مدل‌های تورمی مرسوم پیشنهاد کرده و برای توضیح افزایش حجم کیهان مفهوم جدیدی به نام «واگرد فضا» معرفی می‌کند. در واقع، نظریه‌های این دیدگاه در راستای درک ساختار جهان به عنوان یک سیستم کل، همراه با پیش‌بینی‌های ساده‌ای در مورد رفتار کیهان، یکدیگر را پشتیبانی می‌کنند. همچنین، کیهان‌شناسی شعوری با پرداختن به ماهیت ماده و

انرژی تاریک و نحوه‌ی عملکرد آن‌ها، علت انبساط کیهان و سرنوشت نهایی آن را مشخص می‌کند. از طرفی بر اساس مدل کیهان کروی، نظریه‌ی جدیدی نیز در مورد شکل دیگری از زندگی کیهان که همان بازگشت آن است، مطرح می‌شود.

ماهیت آجرهای سازنده‌ی کیهان

کیهان‌شناسی شعوری علاوه بر پرداختن به کلیات رفتار کیهان، به نحوه‌ی شکل‌گیری و عملکرد اجزاء آن نیز می‌پردازد و انواع جدیدی از ماده را معرفی می‌کند. در واقع، بر اساس مدل کیهان کروی، هیچ تناقضی میان سازوکار شکل‌گیری ذرات بنیادین و نقطه‌ی آغازین کیهان (نحوه‌ی تولد) وجود ندارد. این درحالی است که در مدل استاندارد کیهان‌شناسی که نظریه‌ی تورم را در بر می‌گیرد و بر پایه‌ی نسبیت عام و مدل استاندارد ذرات بنیادین بنا نهاده شده، در نحوه‌ی تولد جهان و تشکیل ماده، تناقض آشکاری به نام «تکینگی» وجود دارد. به عبارتی تکینگی که یکی از پیامدهای نسبیت عام است، مانعی است که با تشکیل ذرات بنیادین در نخستین لحظات تولد کیهان سازگار نیست.

در مجموع می‌توان بیان کرد که نظریه‌های کیهان‌شناسی شعوری با تغییر دید ناظر، جنبه‌های متفاوتی از کیهان را به تصویر می‌کشد و آن را همچون سیستم عظیمی در نظر می‌گیرد که هویت، شخصیت و رفتار دارد، سازوکار و هدفمندی ویژه‌ی خود را دنبال می‌کند و از هوشمندی بالایی برخوردار است.

چندجهانی از زاویه‌ای جدید

کیهان‌شناسی شعوری اظهار می‌کند کیهانی که ما هم‌اکنون در آن زندگی می‌کنیم از قاعده‌ی توالی (کیهان متوالی) تبعیت می‌کند که دارای چرخه‌ی زندگی مخصوص به خود است و یکی از بی‌شمار کیهان‌های همگن یا ناهمگن است که هر کدام از آن‌ها ویژگی‌ها و رفتار مختص به خود را دارند.

همچنین، از این دیدگاه ثابت‌های بنیادین فیزیک بسته به ادوار و موقعیت‌های گوناگون کیهان تغییر می‌کنند. برای مثال، گرانش-زمان از بی‌نهایت در ابتدای حرکت کیهان به صفر در لبه‌ی کیهان (واگرد نهایی فضا) خواهد رسید.

و...

بنیان‌گذار کیهان‌شناسی شعوری:
محمدعلی طاهری

کیهان دوار طاهری

چکیده

چرخش کیهان یکی از بنیادی‌ترین و در عین حال بحث‌برانگیزترین موضوعات در کیهان‌شناسی نظری است که همواره میان دیدگاه‌های کلاسیک و مدل‌های نوین مورد مناقشه بوده است. در سده‌ی گذشته، مدل‌هایی همچون جهان چرخشی گودل که امکان بسته‌شدن مسیرهای زمانی و حتی سفر در زمان را فراهم می‌کرد و مدل‌های ناهمسان‌گرد بیانچی و کیهان‌های چرخان منطبق با چهارچوب لومتر-تولمن-باندی (LTB) (Lemaître-Tolman-Bondi) معرفی شدند. با وجود نوآوری‌های این نظریه‌ها، هریک با نواقصی روبه‌رو بودند که باعث رد یا محدودشدن پذیرش آن‌ها در جامعه‌ی علمی شد. در دهه‌های اخیر نیز مدل‌های تازه‌ای همچون جهان اولیه‌ی دوار شامیر، نظریه‌ی گرداب کیهانی و مدل‌های پیچشی مطرح شده‌اند که همگی در حال بررسی و آزمون تجربی هستند. به موازات این جریان‌ها، کیهان‌شناسی شعوری با معرفی «مدل کیهان کروی» (SCM) (Spherical Cosmos Model) نظریه‌ای با عنوان «کیهان دوار طاهری» ارائه می‌کند که بر فرضی بنیادین استوار است: کیهان دارای چرخش همه‌محوری است که نه‌تنها بر توزیع و تکامل کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی اثر می‌گذارد بلکه این امر به عنوان اصلی ساختاری، مسیر تحول کل کیهان را تعیین می‌کند. بر اساس این نظریه دو گونه حرکت بنیادین تعریف می‌شود:

۱- حرکت طولی (Longitudinal Motion): این نوع حرکت، تحول چرخه‌ای کیهان است که از یک «شوک بزرگ» متولد شده و پس از طی مرحله‌ی واگرد (Rebound)، یعنی رسیدن به حد نهایی بازشدگی فضا، وارد مرحله‌ی انقباض بزرگ می‌شود. این امر که منجر به تشکیل «سیاهچاله‌ی کیهانی» می‌شود زمینه‌ساز وقوع شوک بزرگ بعدی است. به این ترتیب، تاریخ کیهان نه یک تک‌رخداد، بلکه توالی بی‌شماری از چرخه‌های شوک‌های بزرگ است.

۲- حرکت عرضی (Transversal Motion): این حرکت نیز همان چرخش‌های مارپیچی اجرام، امواج و ساختارهای درون کیهان است که در مدل کیهان کروی بازتابی از چرخش کلی جهان در نظر گرفته می‌شود. نکته‌ی متمایز این مدل، تاکید بر تکانه‌ی زاویه‌ای جهان و نبود هرگونه حرکت صاف در مقیاس کیهانی است؛ به این معنا که همه‌ی اجرام و امواج در مسیرهای مارپیچی به حرکت درمی‌آیند. به منظور توضیح سازوکار پایداری این حرکت، مفهوم پوسته‌ی کیهان با عنوان «چرخ‌طیار کیهانی» معرفی می‌شود که انرژی دورانی در آن ذخیره و تداوم چرخش جهان تضمین می‌شود.

از سوی دیگر، داده‌های رصدی جدید از جمله ناهنجاری‌ها در قطبش تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (CMB) (Cosmic Microwave Background) یا ناهمسان‌گردی‌های آماری در توزیع کهکشان‌ها نه‌تنها چالش‌هایی جدی برای مدل‌های مرسوم کیهان‌شناسی ایجاد کرده‌اند، بلکه از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری می‌توانند به عنوان شواهدی محتمل بر وجود چرخش کیهان تعبیر شوند. «نظریه‌ی کیهان دوار طاهری» فراتر از توضیح چرخش کلی، منشاء میدان مغناطیسی جهانی را نیز تبیین می‌کند. در این چهارچوب، تجزیه‌ی TAM (Taheri Absolute Matter) (ماده‌ی مطلق تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی کیهان) و حرکت همه‌جانبه‌ی اجزای کیهان به ایجاد میدان‌های مغناطیسی ضعیف ولی فراگیر منجر می‌شود.

این میدان‌ها از تلاطم‌های بزرگ‌مقیاس در نزدیکی پوسته‌ی کیهان تقویت می‌شوند و در نهایت بر حرکت ذرات باردار، گازهای بین کهکشانی و تکامل ساختارها تاثیر بنیادین می‌گذارند. در مجموع، نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» نه‌تنها افق نوینی برای فهم پویایی کیهان و منشاء مغناطیس کیهانی می‌گشاید، بلکه با ترکیب بنیان‌های نظری و شواهد رصدی، مدلی جایگزین و مکمل در برابر مدل‌های مرسوم کیهان‌شناسی ارائه می‌دهد؛ مدلی که می‌تواند به بازاندیشی در مبانی تحول عالم و نقش چرخش در شکل‌گیری و تکامل ساختارهای کیهانی بینجامد.

کلیدواژه‌ها

چرخش کیهان
مدل کیهان کروی (SCM)
کیهان‌شناسی شعوری
پوسته‌ی کیهان
چرخ‌طیار کیهانی
شوک بزرگ
تکانه‌ی زاویه‌ای در کیهان
حرکت طولی و عرضی
TAM

www.Journalofcosmointel.com

پیش‌گفتار

در علم نجوم، هنگامی که صحبت از چرخش می‌شود، مقصود حرکت جرمْ دور محوری فرضی است. این ویژگی نه‌تنها یکی از اساسی‌ترین جنبه‌های دینامیک اجرام آسمانی به شمار می‌آید، بلکه نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و تکامل ساختارهای کیهانی دارد. برای نمونه، زمین هر بیست‌وچهار ساعت یک‌بار دور محور خود می‌چرخد و این حرکت تناوبی موجب پیدایش شب و روز می‌شود. همین اصل برای سایر سیارات منظومه‌ی شمسی صادق است. مشتری به عنوان بزرگ‌ترین سیاره‌ی منظومه‌ی شمسی برای آن‌که یک‌بار حول محور خود دوران کند، کم‌تر از ده‌ساعت زمان نیاز دارد. این چرخش سریع موجب برآمدگی محسوس در استوا و تخت‌شدن در نواحی قطبی آن شده است. در مقابل، زهره چرخش بسیار کندی دارد؛ طوری که یک دور کامل آن دور محور خود حدود دویست و چهل‌وسه روز زمینی طول می‌کشد.

چرخش فراتر از منظومه‌ی شمسی، نقشی بنیادی در حیات ستارگان ایفا می‌کند. تولد ستارگان در ابرهای مولکولی و سحابی‌های گازی هنگامی رخ می‌دهد که گرانش موجب فروریزش ماده به سمت مرکز توده شود. در این فرآیند به دلیل اصل پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای، چرخش به‌شکلی اجتناب‌ناپذیر پدیدار می‌شود و در نهایت، ساختار چرخان ستاره شکل می‌گیرد. این چرخش در تمام مراحل عمر ستاره پایدار می‌ماند. حتی در پایان زندگی ستارگان پرجرم، هنگامی که ستاره فرومی‌ریزد و به ستاره‌ی نوترونی یا سیاه‌چاله تبدیل می‌شود، تکانه‌ی زاویه‌ای باعث می‌شود بقایای متراکم حاصل از این فروریزش با سرعت بسیار بالاتری بچرخند. ستاره‌های نوترونی نمونه‌ای روشن از این فرآیند به شمار می‌روند که می‌توانند در هر ثانیه صدها بار دوران کنند.

در مقیاس بزرگ‌تر، کهکشان‌ها نیز به عنوان ساختارهای عظیم کیهانی در حال چرخش‌اند. برای مثال، کهکشان راه شیری در فاصله‌ی شعاعی خورشید با سرعتی در حدود ۲۴۰ کیلومتر بر ثانیه حول محور مرکزی خود دوران می‌کند. خورشید با وجود چنین سرعت چشم‌گیری، برای تکمیل یک دور مداری کامل حول مرکز کهکشان، حدود ۲۳۰ میلیون سال زمان نیاز دارد. این مقیاسِ زمانی، نه‌تنها بیان‌گر گستردگی ابعاد کیهان است، بلکه نشان می‌دهد چرخش در هر مقیاسِ زمانی و مکانی، عنصری بنیادی در پویایی کیهان محسوب می‌شود.

از سویی، بررسی‌های اخترفیزیکی نشان داده‌اند چرخشْ ویژگی‌ای همگانی و مقیاس‌پذیر است؛ از اسپین شگفت‌انگیزِ ذرات زیراتمی گرفته تا دوران سیارات، ستارگان و کهکشان‌ها. این فراگیری موجب شده است چرخشْ نه‌تنها به‌عنوان ویژگی‌ای مکانیکی، بلکه به عنوان یکی از اصول سازمان‌دهنده در معماری کیهان تلقی شود. در چنین چهارچوبی انتظار می‌رود این اصل فراگیر بتواند رفتار دینامیکی ساختارهای بزرگ‌مقیاس را نیز به‌طور منسجم توضیح دهد؛ با این حال، هنگامی که چرخش در مقیاس کهکشانی با داده‌های رصدی سنجیده می‌شود، ناسازگاری‌هایی میان پیش‌بینی‌های نظری و مشاهدات آشکار می‌شود. این ناسازگاری‌ها در قالب پرسش‌هایی بنیادین خود را نشان می‌دهند: «چرا برخی کهکشان‌ها با الگوهایی می‌چرخند که با قوانین شناخته‌شده‌ی فعلی فیزیک هم‌خوانی ندارد؟» [۱] و «چرا منحنی‌های چرخش کهکشانی با پیش‌بینی‌های نیوتنی و نسبیتی اختلاف دارند؟» [۲]. چنین معماهایی زمینه‌ساز بحث‌های اساسی درباره‌ی ماهیت ماده‌ی تاریک، انرژی تاریک و حتی امکان بازنگری در بنیان‌های نظری گرانش شده است.

از این منظر، می‌توان نتیجه گرفت چرخش نه‌تنها در تکامل ساختارهای کیهانی نقش کلیدی دارد، بلکه ابزاری برای سنجش درستی یا ناکارآمدی نظریه‌های موجود فیزیک و کیهان‌شناسی نیز محسوب می‌شود. این امر پرسشی بنیادین در برابر ما قرار می‌دهد: «با توجه به این‌که چرخش در همه‌ی سطوح کیهان مشاهده می‌شود، آیا خود کیهان نیز به عنوان سیستم کلْ از قاعده‌ای مشابه تبعیت کرده و در حال چرخش است؟» این پرسش، نقطه‌ای برای ورود به بررسی‌های تاریخی و نظری درباره‌ی فرضیه‌ی «چرخش کیهان» خواهد بود.

August 2026 | Journal No.7
ISSN2817-7002

T-CONSCIOUSNESS COSMOLOGY

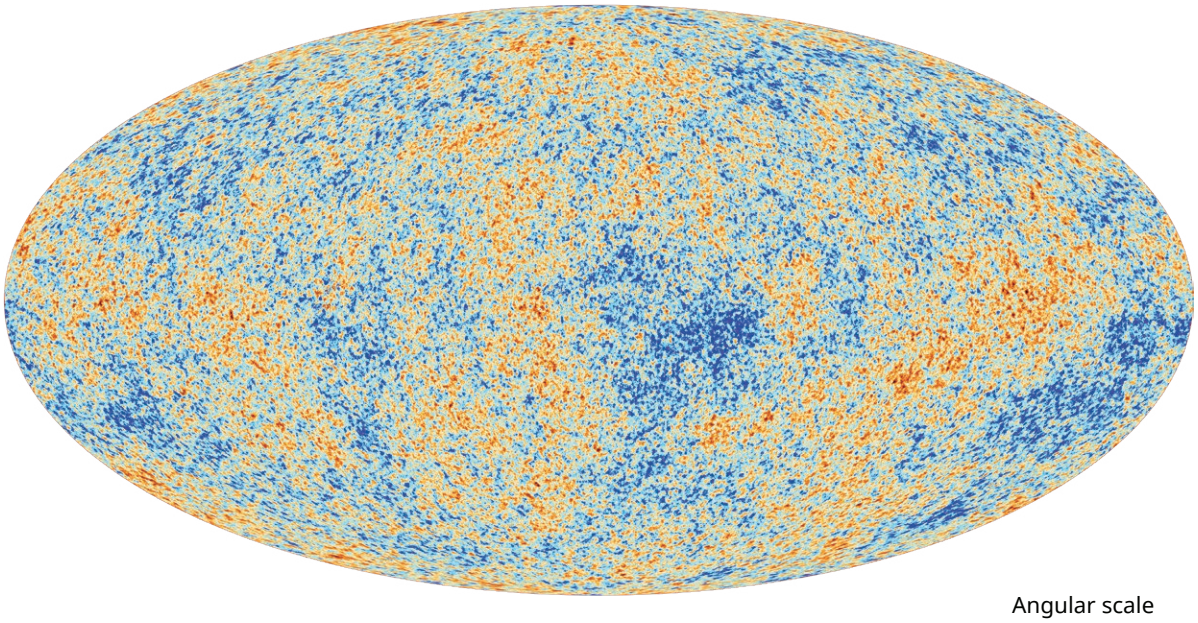
Mohammad Ali Taheri

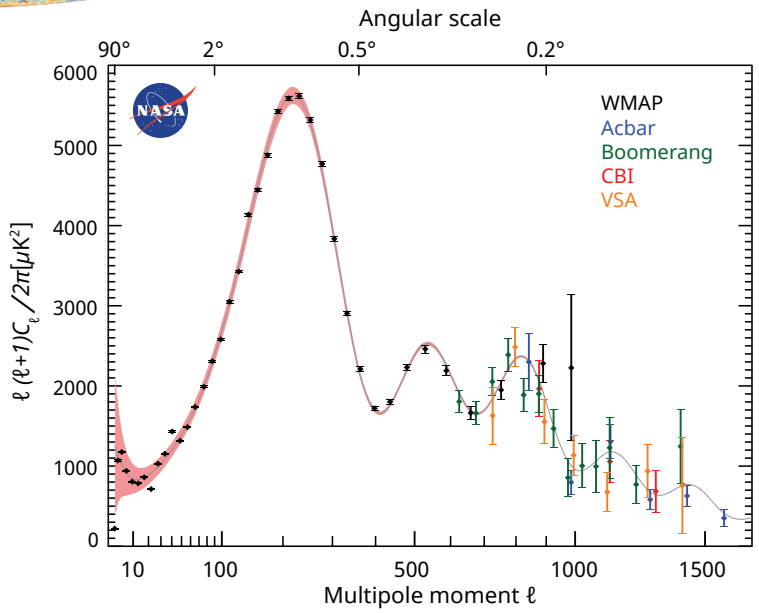


www.Journalofcosmointel.com
www.Cosmointel.COM

کیهان‌های دوار و جایگاه آن‌ها در تاریخ کیهان‌شناسی نظری

از آغاز قرن بیستم و با شکل‌گیری نسبیت عام اینشتین، این پرسش مطرح شد که «آیا کیهان می‌تواند در حال چرخش باشد؟» اگر بپذیریم از کوچک‌ترین مقیاس‌ها (اسپین ذرات) تا بزرگ‌ترین ساختارهای کیهانی (کهکشان‌ها و خوشه‌ها) همگی دارای نشانه‌های گسترده‌ای از حضور تکانه‌ی زاویه‌ای هستند یا این‌که ویژگی‌های ناهمسان‌گردی CMB (مانند هم‌راستایی چندقطبی‌های بزرگ‌مقیاس) چالش‌هایی برای فرض همسان‌گردی کل جهان ایجاد کرده (شکل ۱)، منطقی به نظر می‌رسد که امکان چرخش در مقیاس کلانِ کیهانی نیز مورد بررسی قرار گیرد. در طول تاریخ کیهان‌شناسی نظری، مدل‌های متعددی برای جهان در حال دوران پیشنهاد شده‌اند. برخی از این مدل‌ها اهمیت تاریخی دارند و برخی دیگر الهام‌بخش نظریه‌های نوین بوده‌اند. اما بسیاری از این مدل‌ها به‌دلیل ناسازگاری با داده‌های رصدی یا اصول بنیادین فیزیک کنار گذاشته شده‌اند.





شکل ۱- اختلاف دمایی در تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (راست): طیف توان ناهمسان‌گردی دمای CMB بر حسب مقیاس زاویه‌ای (یا گشتاور چندقطبی). داده‌ها از دستگاه‌های WMAP (۲۰۰۶)، Acbar (۲۰۰۴)، Boomerang (۲۰۰۵)، CBI (۲۰۰۴) و VSA (۲۰۰۴) به دست آمده‌اند. همچنین، مدل نظری (خط ممتد) نیز نشان داده شده است. چپ : نقشه‌ی دمای تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی که ماهواره‌ی پلانک آن را اندازه‌گیری کرده است.

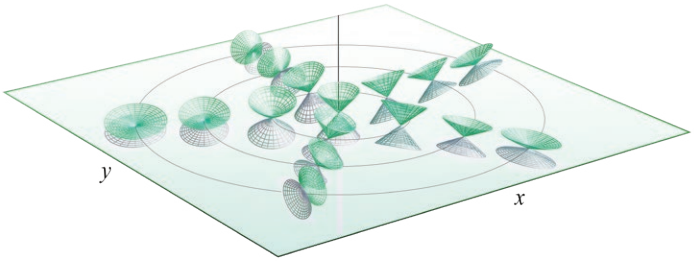
Credits : Right, ESA and the Planck Collaboration / Left, NASA/WMAP Science Team

۱- جهان چرخان گودل (Gödel Universe)

کـورت گـودل، ریاضـی‌دان مشـهور، سـال ۱۹۴۹ راه حـل چرخانی بـرای معـادلات میدان اینشـتین ارائـه داد [۱۲]. این جهان ایسـتا، همگن و ناهمسان‌گرد، دارای چرخش غیرصفر و ثابت کیهانی منفی اسـت. ویژگـی شـگفت‌انگیز این مدل، امـکان وجـود «منحنی‌های زمان‌مانندِ بسته (Closed Timelike Curves) (CTCs)» است. چنین منحنی‌هایی اجازه می‌دهند ناظرْ مسیر خود را در فضا-زمان طی کند و به گذشته بازگردد.

این ویژگی دو پیامد بنیادین داشت:

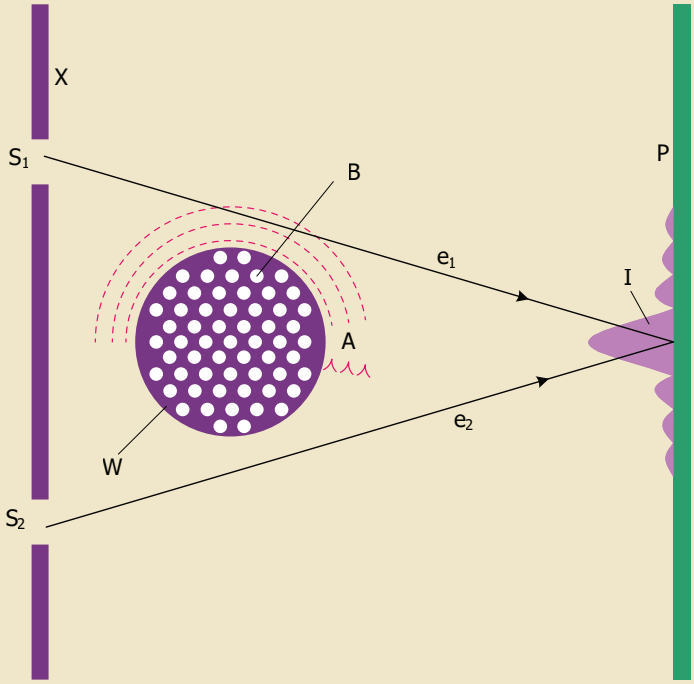
- **نقـض علیـت:** در جهان گودل ترتیب علّی رویدادها به‌صورت جهان یکتا نیسـت. بنابراین، این امر با برداشت کلاسیک از رابطه‌ی علت و معلول ناسازگار است.
- **امکان سفر در زمان:** این مدل نشان می‌دهد نسبیت عام، دست‌کم در سـطح معادلات بنیادین خود، محدودیت مطلقی بر بازگشـت به گذشته اعمال نمی‌کند.



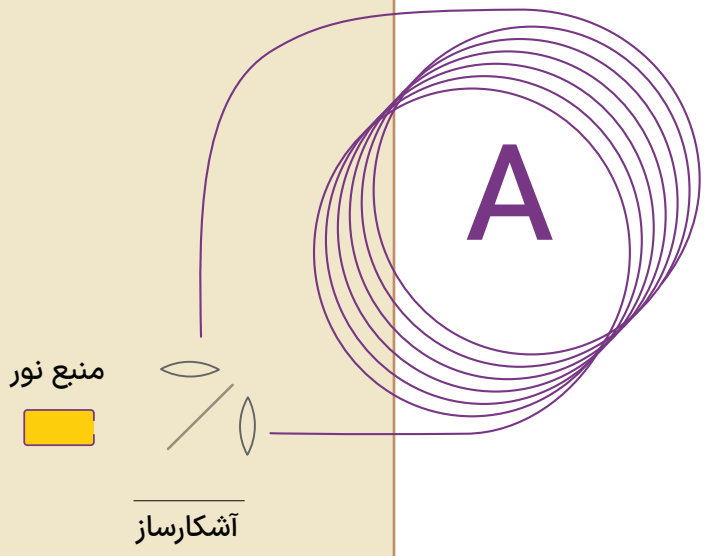
منحنی‌های بسته‌ی زمان‌مانند گودل

از نظـر ریاضـی، مـدل گـودل سـاختاری غنـی و پیچیـده دارد و فضا-زمـان آن می‌توانـد به‌صورت ایزومتریک در فضای شـش‌بعدی شبهِ‌اقلیدسـی غوطه‌ور شـود [۱۳]. از منظر تجربی برای آشکارسازی نشـانه‌های چرخـش احتمالـی کیهانـی، آزمون‌های نظـری مبتنی بر اثر سـاینـاک [۱۴] و اسـتفاده از ژیروسـکوپ‌های کوانتومی پیشنهاد شـده‌اند. اثـر سـاینـاک (Sagnac effect) اختـلاف زمـان پیمایـش پرتوهای نور را در مسـیرهای بسـته و خلاف جهت در چهارچوب‌های چرخان آشـکار می‌کنـد و در چهارچوب فضا-زمان گـودل می‌تواند در سطح نظری بازتابی از چرخش کیهانی تلقی شود. این اثر در مقایسه بـا اثـر آهارونوف-بوهـم (Aharonov-Bohm effect) نیـز به‌صـورت تحلیلی بررسـی شـده و چهارچوبی برای مطالعه‌ی نقش میدان‌های گرانشی-مغناطیسی در انتشار نور فراهم می‌کند [۱۵] (شکل ۲).

شکل۲



شماتیک دستگاه آهارانوف-بوهم



تداخل‌سنج ساینـاک (Ahtor: D-macfadden)

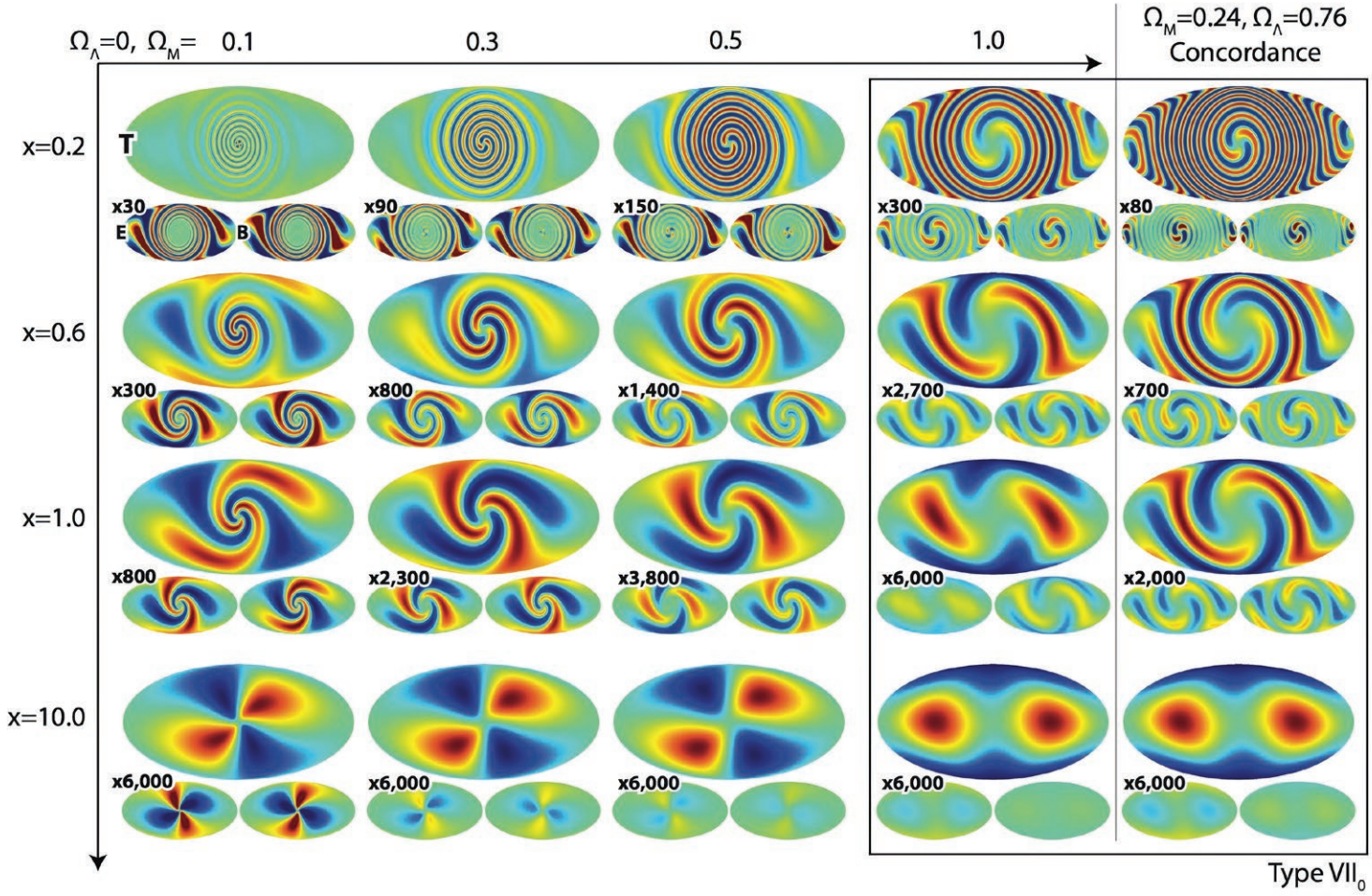
شکل ۲ نشان‌دهنده‌ی این است که در جهان چرخان گودل، منحنی‌های بسته‌ی زمان‌مانند در واقع حلقه‌هایی در بافت فضا-زمان هستند که به دور خود بازمی‌گردند و به ناظری که در امتداد آن‌ها حرکت می‌کند به‌صورت نظری توانایی آن را می‌دهند که به‌طور بالقوه به نقاطی از گذشته‌ی مسیر زمانی خود بازگردد. تصویر سمت راست نیز شماتیک تداخل‌سنج سایناک (Sagnac interferometer) یا ژیروسکوپ فیبر نوری را نمایش می‌دهد. این دستگاه می‌تواند با یک یا چند حلقه‌ی فیبر نوری ساخته شود که برای نشان‌دادن اختلاف زمان پیمایش نور در مسیر هم‌جهت و پادجهت دوران به کار می‌رود. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد در اثر ساییناک، چرخش دستگاه باعث می‌شود نور در جهت چرخش و خلاف آن با زمان‌های پیمایش متفاوتی حرکت کند که منجر به اختلاف زمانی یا فازی می‌شود. در چهارچوب نظری فضا-زمان گودل، می‌تواند پدیده‌ای مشابه مطرح شود؛ به این معنا که چرخش کل فضا-زمان باعث می‌شود مسیرهای نور در جهت‌های مختلف تحت تاثیر هندسه‌ی فضا-زمان قرار گیرند؛ امری که می‌تواند در سطح نظری به عنوان گونه‌ای از اثر ساییناک در مقیاس کیهانی تفسیر شود [۱۶]. در سمت چپ نیز دیاگرام آزمایش آهارونوف-بوهم ارائه شده است. اجزای آن شامل مانع مرکزی، شیارهای S_1 و S_2، مسیرهای الکترونی e_1 و e_2، شار مغناطیسی W، صفحه‌ی آشکارساز P، الگوی تداخل I، چگالی شار مغناطیسی B در بیرون از شکل و در نهایت پتانسیل برداری مغناطیسی A است. در این آزمایش اگرچه میدان مغناطیسی B در خارج از ناحیه‌ی شار مغناطیسی صفر است اما پتانسیل برداری A همچنان موجب تغییر در فاز الکترون‌ها می‌شود که خود را در الگوی تداخل I نشان می‌دهد. این ویژگی بیان‌گر اهمیت بنیادی پتانسیل‌ها در مکانیک کوانتومی است؛ زیرا می‌تواند به عنوان ابزاری نظری برای بررسی اثرات چرخش فضا-زمان در جهان گودل استفاده شود؛ به‌ویژه در زمینه‌هایی مانند نظریه‌ی میدان کوانتومی در فضا-زمان‌های منحنی.

۱- سه عامل مقیاس: (scale factors) در مدل‌های کیهان‌شناختی ناهمسان‌گرد مانند بیانچی IX، سه تابع زمانی مستقل a(t)، b(t) و c(t) اندازه‌ی فضا را در سه جهت اصلی (z،y،x) به‌طور جداگانه و نوسانی تغییر می‌دهند؛ این برخلاف مدل همسان‌گرد FLRW است که تنها یک عامل واحد دارد.

۲- جهان چرخان بیانچی IX (Bianchi IX Universe)

مدل‌های بیانچی دسته‌ای از فضا-زمان‌های همگن و ناهمسان‌گرد هستند که لوئیجی بیانچی در سال ۱۸۹۸ از نظر ساختار گروه‌های تقارنی طبقه‌بندی کرده است. میان آن‌ها، مدل Bianchi IX جایگاه ویژه‌ای دارد. چارلز میسنر در دهه‌ی ۱۹۶۰ نشان داد این مدل که با عنوان «جهان میکسمستر» (Mixmaster Universe) نیز شناخته می‌شود، می‌تواند دینامیکی بسیار پرنوسان و آشوب‌گونه، به‌ویژه در نزدیکی تکینگی اولیه، توصیف کند [۱۷] (شکل ۳). ویژگی‌های کلیدی Bianchi IX عبارت‌اند از:

- **ناهمسان‌گردی دینامیکی:** این جهان دارای سه عامل مقیاس[1] مستقل است که می‌توانند به‌صورت نوسانی و غیرهم‌زمان تحول یابند و به رفتار پیچیده‌ی زمانی منجر شوند.
- **پیوند با نظریه‌های اصلاح‌شده‌ی گرانش:** این مدل در بستر نظریه‌هایی همچون f(R,T) بررسی شده که در آن‌ها تانسور انرژی-تکانه نقشی فراتر از نسبیت عام کلاسیک ایفا می‌کند [۱۸].
- **گذار به فاز شبه‌دسیتر (de Sitter):** مطالعات نشان داده‌اند این مدل می‌تواند در حضور میدان‌های اسکالر، ثابت کیهانی یا اصلاحات گرانشی به حالتی نزدیک به دسیتر میل کند که این یادآور رفتار نوسانی نزدیک تکینگی است [۱۹].
- **ارتباط غیرمستقیم با داده‌های CMB:** الگوهای ناهمسان‌گرد مدل‌های بیانچی، همچون Bianchi IX، در بررسی نظری ناهنجاری‌های تابش پس‌زمینه‌ی مایکروویو کیهانی و محدودیت‌های همسان‌گردی کیهان مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲۰].
- **بنیاد کوانتومی:** در چهارچوب‌های کوانتومی گرانش، نوسانات کوانتومی اولیه می‌توانند در دینامیک ناهمسان‌گرد این مدل نقش داشته باشند و پرسش‌های بنیادینی درباره‌ی شرایط آغازین جهان مطرح کنند [۲۱].



شکل ۳- الگوهای دمایی CMB مورد انتظار در جهان بیانچی VII که در زمان‌های اولیه‌ی نزدیک به ایزوتروپی بوده است. تورم با کمی تنظیم دقیق می‌تواند در چنین جهانی رخ دهد که در مرتبه‌ی نخست، نوسانات تصادفی و ایزوتروپیک را روی این الگو قرار می‌دهد.

From Pontzen (2009), based on the dynamical analysis of Pontzen and Challinor (2010-2011).

۳- چهارچوب‌های ناهمگن LTB

مـدل LTB (Lemaitre-Tolman-Bondi)، جهانی ناهمگن با تقارن کـروی را توصیف می‌کند. به این معنا که ممکن اسـت همچنان که در هر پوسـته‌ی کروی با شعاع مشـخص، کمیت‌هایی مانند چگالی و زمان انبسـاط ثابت‌اند، در عین حال این کمیت‌ها بسته به شعاع تغییـر کنند. به عبارت دیگر چگالی ماده بدون الزام به همگن‌بودن در شـعاع‌های گوناگـون، تابعی از شـعاع و زمان بـوده $\rho = \rho(r,t)$، به‌طور ذاتی فاقد چرخش گردابی اسـت. با این حال، تعمیم‌هایی از ایـن مدل یا ترکیب آن با چهارچوب‌های ناهمسـان‌گرد دیگر، امکان مطالعـه‌ی سـناریوهای دوار یـا پیونـد با برخـی مدل‌هـای بیانچی را فراهـم کرده‌انـد [۲۲]. بنابراین، یکی از ویژگی‌های کلیدی مدل LTB این اسـت که ممکن است نرخ انبساط در هر شعاع متفاوت باشد. از سـویی این مدل برای مدل‌سـازی سـاختارهایی ماننـد حفره‌های کیهانی، نواحی خلاء و خوشه‌های عظیم به کار رفته است. به عنوان مثـال، برخـی مدل‌ها برای توضیح شـتاب انبسـاط مرتبـط به انرژی تاریک از طریق اثرات ناهمگنی LTB مطالعه شده‌اند، هرچند هنوز توافق نظریِ گسترده‌ای در این زمینه وجود ندارد.

۴- جهان اولیه‌ی چرخان شامیر (Shamir Rotating Universe)

لورنس شـامیر در سال ۲۰۲۰ با تحلیل داده‌های بررسی آسمان دیجیتـال اسـلون (SDSS)، شـواهدی از عـدم تقـارن آمـاری در توزیع جهت چرخش کهکشـان‌ها گزارش کرد [۲۳]. نتایج نشـان دادند در برخی نواحی آسـمان، تعداد کهکشان‌هایی که در جهتی خـاص می‌چرخنـد، به‌طور معنادار با تعداد کهکشـان‌های چرخان در جهـت مخالف متفـاوت اسـت. چنین ناهمسـان‌گردی‌هایی،



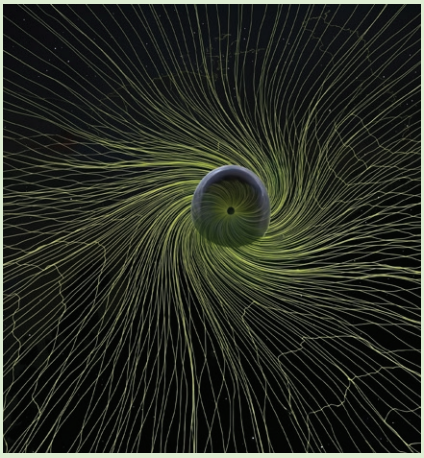
شکل ۴- کهکشان‌های مارپیچی تصویربرداری‌شده به وسیله‌ی JWST که نسبت به راه شیری هم‌جهت (قرمز) یا در جهت مخالف (آبی) می‌چرخند. تعداد کهکشان‌هایی که در جهت مخالف نسبت به راه شیری می‌چرخند، همان‌طور که از زمین مشاهده می‌شود، بسیار بیش‌تر است.

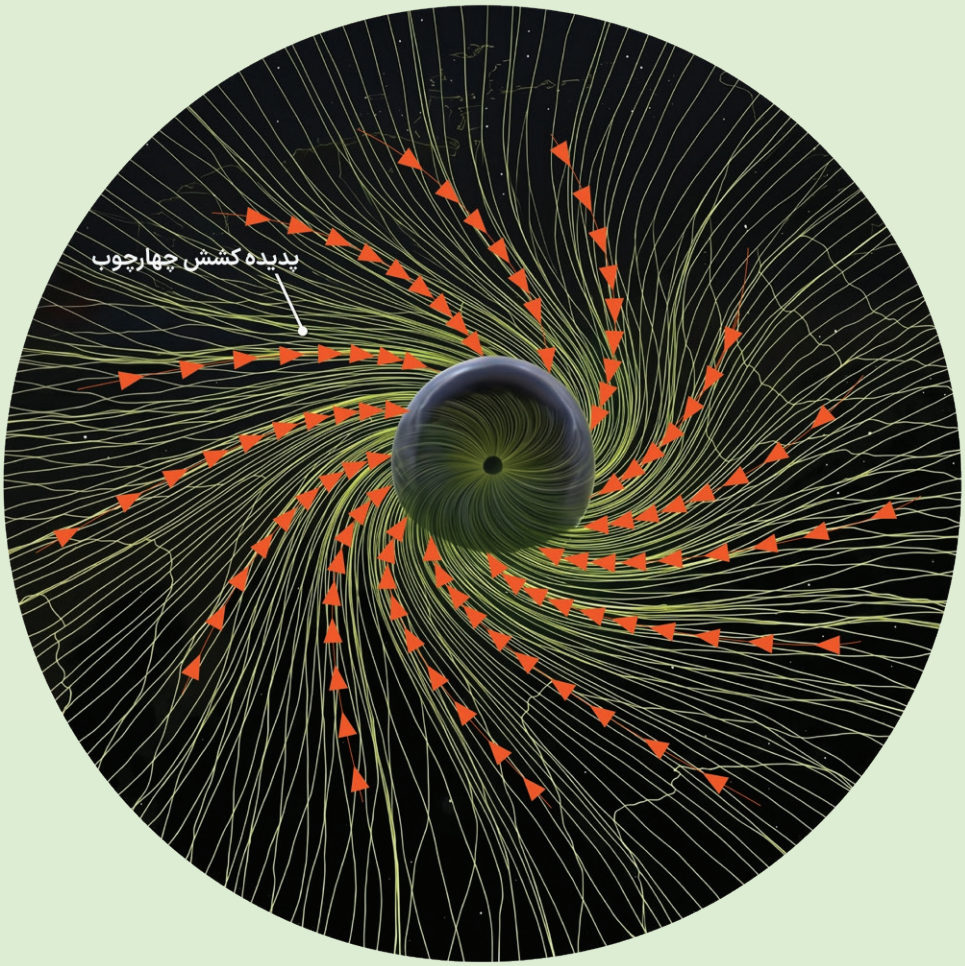
Credit: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2025). DOI: 10.1093/mnras/staf292

۱- مدل ACDM (Lambda-Cold Dark Matter) چهارچوب استاندارد کیهان‌شناسی است که با تکیه بر نسبیت عام و هندسه‌ی FLRW، انبساط کیهان را با Λ به عنوان مدل انرژی تاریک و CDM به عنوان ماده‌ی تاریک سرد توصیف می‌کند و در کنار ماده‌ی باریونی و تابش، از مدل‌های رشد ساختار برای توضیح شکل‌گیری ساختارهای بزرگ‌مقیاس بهره می‌گیرد.

در صورت تایید مستقل و کنترل کامل خطاهای سیستماتیک، می‌توانند به‌عنوان تنشی بالقوه با فرض همسان‌گردی آماری در مقیاس‌های بزرگ که یکی از مفروضات بنیادین مدل استاندارد کیهان‌شناسی (ΛCDM)[1] است تلقی شود. در برخی تفسیرهای نظری، این عدم تقارن به‌صورت فرضیه‌ای به عنوان بازمانده‌ای احتمالی از فرآیندهای اولیه‌ی شکل‌گیری کیهان مطرح شده است؛ هرچند این دیدگاه هنوز اجماع گسترده‌ای در جامعه‌ی کیهان‌شناسی ندارد.

مقاله‌ی شامیر به‌طور مشخص می‌کوشد با استفاده از داده‌های SDSS، گزارش‌های پیشین از عدم تقارن آماری در جهت‌گیری چرخش کهکشان‌ها را بازتولید و ارزیابی کند. تحلیل‌های انجام‌شده نشان‌دهنده‌ی وجود سیگنال آماری غیرمنتظره در توزیع جهت‌های چرخش کهکشان‌ها است که با برخی مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد. با این حال، ماهیت این ناهمسان‌گردی و منشاء فیزیکی احتمالی آن اعم از اثرات بنیادین کیهانی یا سوگیری‌های رصدی و روش‌شناختی همچنان موضوع بحث و بررسی فعال در ادبیات علمی است. در نتیجه نتایج شامیر نه به عنوان رد قطعی مدل استاندارد، بلکه به عنوان انگیزه‌ای برای تحلیل‌های مستقل‌تر، مجموعه‌داده‌های گسترده‌تر و بررسی دقیق‌تر فرض همسان‌گردی در کیهان‌شناسی رایج قابل تفسیر است [۲۴], [۲۵] (شکل ۴).





شـکل ۵- کشـش چهارچوب پدیده‌ای است که نظریه‌ی نسـبیت عام اینشتین آن را پیش‌بینی کرده است. در این پدیده اجرام در حال چرخش، فضای اطراف را با خود می‌کشند.

۵- سـایر نظریه‌ها و اثرات مرتبط با چرخش کیهان

عـلاوه بر مدل‌هـای بالا، چنـد چهارچوب نظری دیگـر نیز بـرای جهان‌های چرخان بررسی شده‌اند:

اثر لنز-تیرینگ (Lense-Thirring)

این اثر نتیجه‌ی چرخش جرم در نسبیت عام است که باعث پیچش فضا-زمان در اطراف آن جرم می‌شـود. به این معنا که چهارچوب‌های اینرسـی در نزدیکی جسم چرخـان به واسـطه‌ی حرکـت زاویه‌ای آن کشیده می‌شوند (شـکل ۵). این پدیده (کـه جوزف لنـز (Josef Lense) و هانس تیرینـگ (Hans Thirring) در سـال ۱۹۱۸ آن را پیش‌بینـی کردنـد) می‌توانـد در چهارچـوب مدل‌هـای نظـری چرخـان در مقیـاس کیهانی بـر حرکت کهکشـان‌ها و CMB تاثیـر داشـته باشـد کـه البتـه هنـوز در حـد فرضیـه و مدل‌سـازی اسـت، نـه مشـاهده‌ی مسـتقیم [۲۶].

بـه عبارتـی اگـر فـرض بر این باشـد که کل جهـان مطابـق بـا مدل‌هایـی ماننـد جهـان گـودل یـا برخـی از بیانچی‌هـا دارای چرخـش ذاتـی باشـد، آنـگاه ایـن اثـر در بزرگ‌مقیـاس نیـز برقـرار خواهد بـود. انتظار کیهان‌شناسـان بـا توجه به ویژگی‌هایـی کـه بر سـاختار جهـان قائل می‌شـوند بر این است که در این حالت، فضا-زمـان نه فقط به‌صورت محلی، بلکه به‌طـور کلی دچار کشـش‌های چهارچوب جهانـی می‌شـود. اثـر لنز-تیرینـگ در مقیـاس جهانـی می‌توانـد بـه معنـای وجـود مولفـه‌ای گردابـی در معـادلات کیهان‌شناسی باشد.

در واقـع انتظـاری کـه نظریه‌پـردازان از چنیـن مولفـه‌ای دارنـد ایـن اسـت کـه نه‌تنهـا روی حرکـت کهکشـان‌ها اثـر بگذارد (تغییر در هم‌ترازی و سرعت‌های جانبـی) بلکـه به‌صـورت سـیگنال‌های ضعیف در ناهمسان‌گردی‌های CMB نیز ظاهر شـود. درسـت اسـت که داده‌های Planck و WMAP نشان داده‌اند هرگونه چرخـش جهانـی (vorticity) باید بسـیار کوچـک باشـد امـا صفربـودن آن به‌طور قطعی ثابت نشده است [۲۷].

نظریه‌ی اینشتین-کارتان و پیچش فضا-زمان (Einstein-Cartan theory)

نظریه‌ی اینشتین-کارتان با تعمیم نسبیت عام، هندسه‌ی فضا-زمان را به گونه‌ای گسترش می‌دهد که علاوه بر انحنا، پیچش (torsion) نیز در توصیف هندسی لحاظ می‌شود. در حالی که در نسبیت عام، فضا-زمان یک منیفلد ریمانی است و ساختار هندسی آن را صرفا انحنا و منبع جرم-انرژی تعیین می‌کند. در حالی که در نظریه‌ی اینشتین-کارتان، فضا-زمان از نوع ریمانی-کارتانی بوده و دارای پیچش است. در این چهارچوب، پیچش فضا-زمان به‌طور مستقیم با اسپین ذاتی ذرات ماده جفت می‌شود؛ به گونه‌ای که همان‌طور که جرم-انرژی منبع انحنا محسوب می‌شود، اسپین ماده منبع پیچش به شمار می‌آید [۲۸].

Curvature ↔ Mass/Energy ,Torsion ↔ Spin

در کاربردهای کیهان‌شناسی نظری، حضور پیچش به‌ویژه در چگالی‌های بسیار بالای جهان اولیه می‌تواند به اصلاح دینامیک انبساط منجر شود و در سناریوهای خاص، رفتارهای موثری شبیه مولفه‌های گردابی یا ناهمسان‌گردی دینامیکی ایجاد کند. برخی مطالعات پیشنهاد کرده‌اند پیچش در مراحل آغازین تکامل کیهان ممکن است در شکل‌گیری چرخش موثر بزرگ‌مقیاس یا در پیدایش شواهد ضعیف ناهمسان‌گردی در CMB نقش داشته باشد، هرچند این نتایج تاکنون صرفا در سطح مدل‌سازی نظری باقی مانده‌اند و تایید رصدی مستقیمی ندارند [۲۹].

راه‌حل‌های «اوژوات-شوکینگ» و سکرش (Ozsváth-Schücking and Szekeres solution)

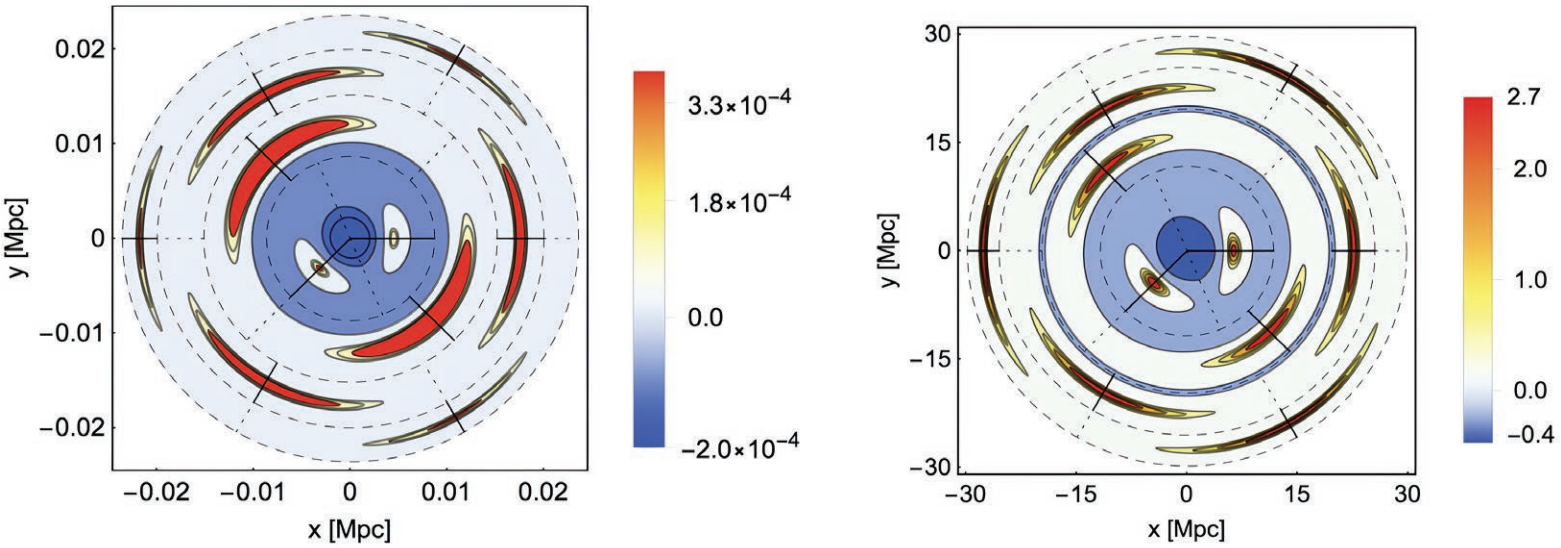
متریک اوژوات-شوکینگ یکی از راه‌حل‌های خلاء معادلات میدان اینشتین است؛ به این معنا که در آن هیچ توزیع ماده یا انرژی‌ای در فضا-زمان منظور نمی‌شود. این متریک با وجود خلاءبودن، فضا-زمانی غیرتخت را توصیف می‌کند و از ویژگی‌های شاخص آن می‌توان به تکینگی‌آزادبودن (به این معنا که در فضا-زمان، نقطه‌ی بی‌نهایت مانند مرکز سیاهچاله یا مه‌بانگ وجود ندارد) و دوم غیرهم‌ارزی با فضای مینکوفسکی اشاره کرد. به سبب همین ویژگی‌ها، این راه حل اغلب به عنوان نمونه‌ای ناسازگار با برخی تفسیرهای اصل ماخ در نسبیت عام معرفی می‌شود؛ زیرا بر اساس یکی از صورت‌بندی‌های اصل ماخ، اینرسی اجسام باید با توزیع کل ماده و انرژی جهان تعیین شود؛ طوری که اگر تمام ماده‌ی جهان را حذف کنیم، نباید چیزی به نام «چرخش» یا «اینرسی» باقی بماند. در صورتی که به وسیله‌ی این متریک، حتی در غیاب ماده نیز می‌توان راه‌حل‌هایی با ساختار هندسی غیربدیهی برای معادلات میدان یافت و نشان داد فضا-زمان می‌تواند ویژگی‌هایی همچون انحنا یا ساختار ویژه داشته باشد؛ حتی اگر هیچ ماده‌ای در جهان نباشد [۳۰]. علاوه بر این با تغییر مختصات، می‌توان متریک اوژوات-شوکینگ را به‌صورت فضا-زمانی از نوع موج تخت (pp-wave) (plane-fronted wave with parallel rays) که دسته‌ی خاصی از راه حل‌های موج گرانشی خلاء در معادلات اینشتین به شمار می‌رود، بازنویسی کرد.

از ویژگی‌های این دسته می‌توان به نخست، جبهه‌ی موج تخت (جبهه‌ی موج (wavefront) در این نوع فضا-زمان‌ها، سطحی تخت مانند موج تخت نوری در اپتیک است)، دوم، پرتوهای موازی (بردارهای نال (null vectors) مسیر انتشار موج را تعیین می‌کنند و همه موازی هستند) و سوم، ساختار متریک ساده ($ds^2 = H(u,x,y)\,du^2 + 2\,du\,dv + dx^2 + dy^2$) که در آن u و v همان مختصات نال (Null coordinates) هستند) اشاره کرد.

به بیان دیگر، زمانی که می‌گوییم متریک اوژوات-شوکینگ را می‌توان به شکل pp-wave نوشت، به این معنا است که این متریک در اصل مدل کیهان چرخان جهانی نیست، بلکه از دیدگاه فیزیک‌دانان نوعی از موج گرانشی با جبهه‌ی تخت و پرتوهای موازی است که صرفا از نظر ریاضی با اصل ماخ در تضاد است و به همین دلیل «anti-mach metric» نام گرفته [۳۱]. مدل سکرش نیز راه حلی ناهمگن و بدون تقارن جهانی است. به این معنا که بر خلاف مدل‌های همسان‌گرد (مانند FLRW (Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker) یا کروی مثل LTB) می‌توان در آن اختلاف‌های محلی در چگالی و هندسه بدون فرض هیچ‌گونه تقارن فضایی خاصی در نظر گرفت که برای مطالعه‌ی حفره‌ها و ابرخوشه‌ها یا ناهنجاری‌های CMB کاربرد دارد (شکل ۶). نکته‌ی مهم در مورد این مدل این است که چون تقارن ندارد و اجازه می‌دهد هندسه‌های پیچیده‌تری تعریف شوند در نتیجه می‌تواند بستری برای بررسی سناریوهایی باشد که در آن‌ها اثر چرخش یا گردابه‌های کیهانی (cosmic vorticity) مطرح می‌شود. به همین دلیل در برخی مقالات، مدل سکرش به عنوان جایگزینی برای مدل‌های کروی (مثل LTB) در تحلیل اثر چرخش بر ناهنجاری‌های CMB استفاده شده است [۳۲].

شکل ۶- نمای دوبعدی از تغییرات چگالی در مدل سِکرش. **چپ:** وضعیت جهان در زمان t_{LS} (زمان آخرین پراکندگی، حدود ۳۸۰ هزار سال پس از مه‌بانگ) کـه ناهمگنی‌هـای چگالـی بسـیار کوچک بودند. **راسـت:** وضعیت امروز t_0 که همان ناهمگنی‌های کوچک رشـد کرده‌اند و به‌صورت فضاهـای خالی (voids) و تراکم‌های کهکشانی (overdensities) دیده می‌شوند. این تصویر نشان می‌دهد مدل سکرش می‌تواند هم‌زمان تشکیل void و ابرخوشه را بازتولید کند.

Credit: Figure adapted from Sussman R.A., Delgado Gaspar I. & Hidalgo J.C., Coarse-grained description of cosmic structure from Szekeres models, arXiv:1507.02306 [gr-qc], 2016. Available under arXiv open-access license



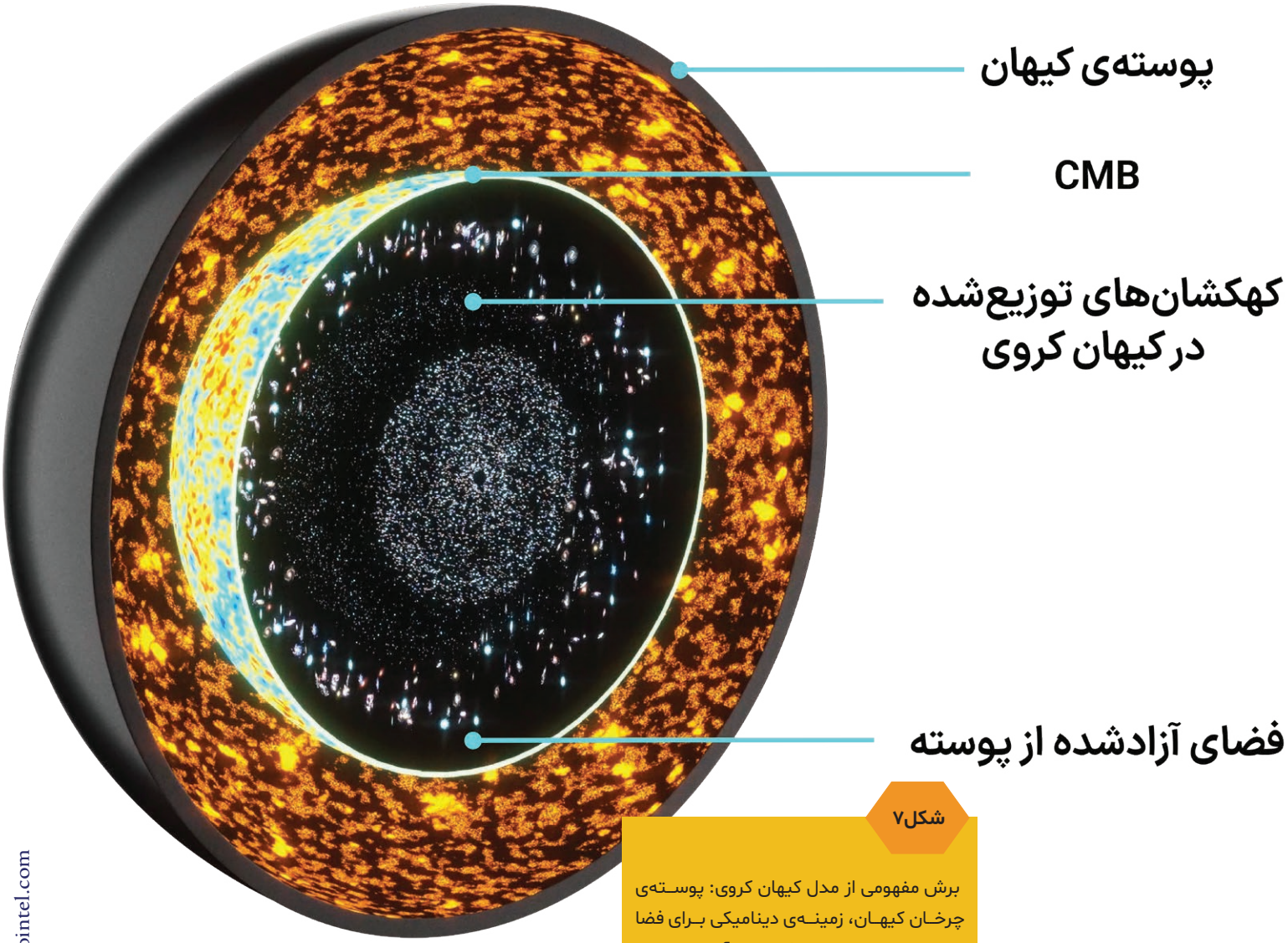
کیهان‌شناسی کوانتومی

در چهارچـوب برخـی مدل‌هـای کوانتومی جهـان به‌ویژه مدل‌های بیانچـی Bianchi IX یـا جهان‌هـای ناهمسـان‌گردی کـه به‌صـورت «Mixmaster Universe» شـناخته می‌شـوند، نوسـانات کوانتومـی اولیه می‌توانند نقشی اساسی در شکل‌گیری ویژگی‌های بزرگ‌مقیاس ایفـا کنند. این نوسـانات در برخی سـناریوهای نظـری می‌توانند در هندسـه‌ی فضا-زمان بـه بی‌نظمی‌های محلی یا بـه ظهور مولفه‌های دینامیکی موثر شبیه رفتارهای گردابی در تحول کیهان منجر شوند. در ایـن دیـدگاه، آنچه گاه به‌صورت «چرخـش موثر جهان» توصیف می‌شود به معنای یک دوران کلاسیک و پایدار نیست، بلکه رفتاری ناشی از برهم‌کنش فرآیندهای کوانتومی و گرانشی در مراحل آغازین شـکل‌گیری کیهان است. از این رو، مطالعه‌ی چنین رفتارهایی برای فهم شرایط آغازین عالم و ارتباط میان مکانیک کوانتومی و نسبیت عام اهمیت دارد. با این حال، داده‌های تابش پس‌زمینه‌ی مایکروویو کیهانـی محدودیت‌های بسـیار سـختی بـر هرگونه چرخـش واقعی بزرگ‌مقیاس اعمال می‌کنند و تاکنون شـواهد رصدی مسـتقیمی به سود وجود چرخش جهانی گزارش نشده است [۳۳].

نظریه‌ی کیهان دوار طاهری و سازوکار آن

میان مدل‌های گوناگون کیهان‌شناختی، «کیهان‌شناسی شعوری» کیهـان را سیسـتمی بـا چرخـش همه‌محـوری معرفی می‌کنـد. این رویکـرد در قالـب «مـدل کیهـان کـروی» ارائـه می‌شـود کـه به‌طور اساسـی بـا مدل‌هـای چرخانی که در چهارچوب نسـبیت عـام مانند جهـان گـودل یـا برخی کیهان‌هـای بیانچـی مطرح شـده‌اند، تفاوت دارد. در ایـن نظریـه، جهـان همواره در حال چرخش تلقی می‌شـود. بـه این معنـا که کل کیهـان، همچون سیسـتمی یکپارچـه در طول زمان دارای دَوران در همه‌ی جهات است و این ویژگی، تمامی سطوح سـاختاری آن، از بزرگ‌تریـن مقیاس‌ها تـا کوچک‌ترین اجزا را تحت تاثیـر قرار می‌دهد. هر جـزء از اجزای جهان نیز دارای چرخش ویژه‌ی خـود اسـت و این چرخش‌های محلـی علاوه بـر نیروی‌های موضعی همچـون الکترومغناطیـس و گرانش در حقیقت انعکاسـی از دَوران بزرگ‌مقیاس کیهان نیز به شمار می‌آیند (شکل ۷).

در این چهارچوب، مفهوم «حرکت» دارای جایگاهی بنیادی است که برای اولین بار در میان نظریه‌های گوناگون به‌صورت طبقه‌بندی‌شده مطرح می‌شود: ۱-حرکت طولی و ۲-حرکت عرضی. هر یک از این حرکت‌ها بیان‌گر نوع و جهت خاصی از پویایی در کیهان و اجزای آن هستند. بر اساس این دیدگاه، کیهان از بدو تولد با این چرخش همه‌محوری همراه بوده است. این ویژگی، خاستگاه تمامی چرخش‌ها و پویایی‌های درونی اجزای متشکله‌ی آن محسوب می‌شود.

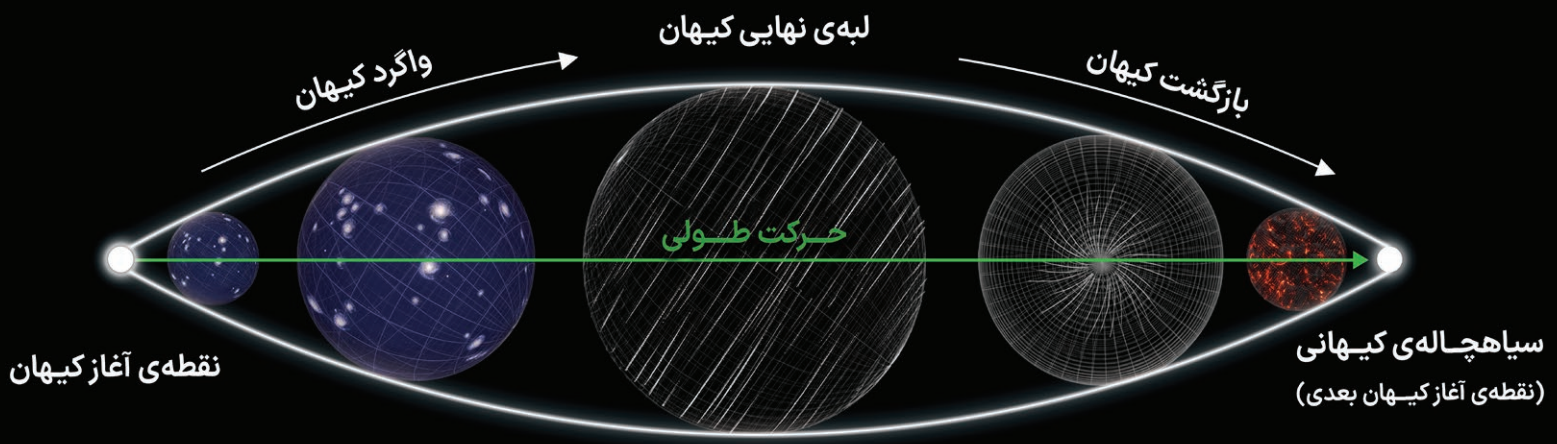


شکل۷

برش مفهومی از مدل کیهان کروی: پوسته‌ی چرخان کیهان، زمینه‌ی دینامیکی برای فضا ایجاد می‌کند و چرخش کلی آن به‌صورت غیرمحلی به کهکشان‌ها القا می‌شود. در این چهارچوب، هر کهکشان حاصل ترکیب دو تکانه است:

۱- چرخش محلیِ ناشی از گرانش و تعاملات ساختار داخلی آن‌ها و

۲- چرخش غیرمحلی که از دوران کل کیهان بر بستر فضا وارد می‌شود.



شکل ۸ - بر اساس نظریه‌ی کیهان دوار طاهری، حرکت طولی منجر به شکل‌گیری کیهان‌های متوالی می‌شود. این حرکت روندی است از یک شوک بزرگ به شوک بزرگ بعدی که پس از واگرد نهایی کیهان با فشردگی بزرگ آن و ایجاد سیاهچاله‌ی کیهانی جدید همراه است.

۱- حرکت طولی

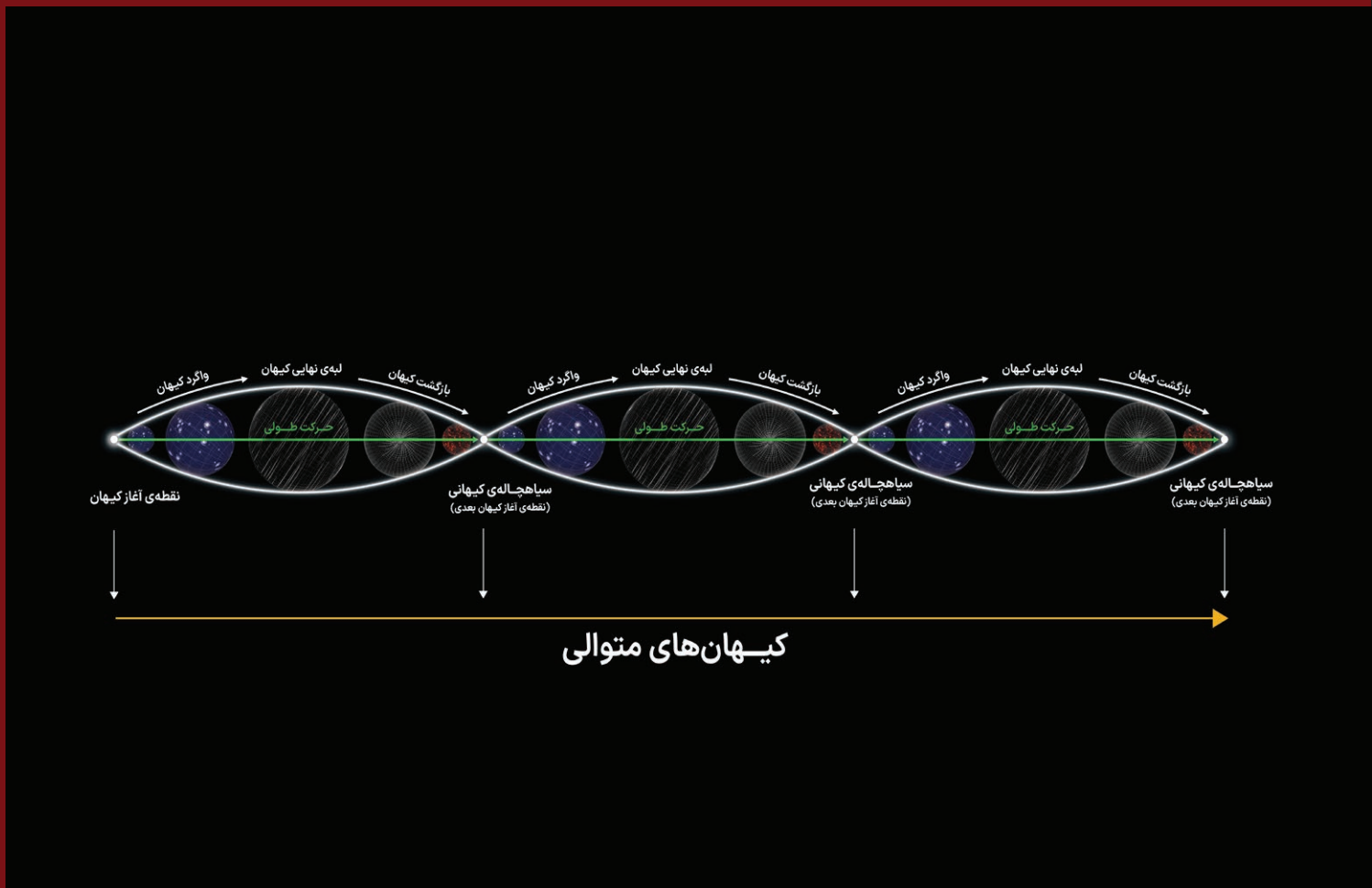
این نوع حرکت توصیف‌گر چرخه‌ی بنیادین کیهان از یک شوک بزرگ تا شوک بزرگ بعدی است. این چرخه با پیدایش جهان از یک «سیاهچاله‌ی کیهانی» آغاز می‌شود؛ نقطه‌ای با ابعاد بسیار کوچک و چگالی بسیار زیاد که به‌عنوان مبدا گسترش کیهان در نظر گرفته می‌شود. پس از وقوع شوک بزرگ در مرکز سیاهچاله‌ی کیهانی، فاز واگرد فضا به معنای بازگشت از حالت فشردگی به حالت عادی و بدون تنش آغاز می‌شود. جهان به‌طور پیوسته افزایش حجم می‌یابد و در نهایت به حداکثر گستردگی خود می‌رسد[۱]. در ادامه، فرآیند بازگشت یا فشردگی بزرگ کیهانی آغاز می‌شود که به شکل‌گیری سیاهچاله‌ی کیهانی جدیدی منتهی می‌شود. در این مرحله شوک بزرگ بعدی رقم خواهد خورد. نکته‌ی اساسی آن است که حرکت طولی هرگز به حالت سکون کامل نمی‌رسد؛ زیرا این حرکت بیان‌گر وجود فرآیند پایدارِ تغییر در ساختار کیهان است. توقف کامل این فرآیند به معنای از میان رفتن سازوکارهای پویایی خواهد بود که امکان شکل‌گیری و تداوم پدیده‌هایی مانند انتشار موج، ساختار فضایی و پیدایش اشکال گوناگون ماده و انرژی را فراهم می‌کنند. از طرفی در این دیدگاه، بازگشت کیهان به معنای بازگشت به نقطه‌ی آغازین قبلی نیست، بلکه سیاهچاله‌ی کیهانی همواره در موقعیت نامشخص جدیدی که دچار عدم قطعیت[۲] است، شکل می‌گیرد. این اصل،

مفهـوم «عدم تکرارپذیری» را به عنوان یکـی از بنیان‌های نظریـه‌ی کیهان دوار طاهـری مطرح می‌کند. بـه این ترتیب، هـر چرخه‌ی کیهانی با چرخه‌ی پیشـین متفـاوت خواهـد بـود. کیهان‌شناسـی شـعوری این چرخه‌هـای پی‌درپـی را با عنـوان نظریـه‌ی «کیهان‌هـای متوالی» معرفـی می‌کنـد و بـر این اسـاس بیان می‌کنـد تولد و مـرگ کیهان‌ها فرآیندی تکرارشـونده امـا غیریکسـان اسـت؛ بـه ایـن معنـا کـه هـر جهـان جدیـد، بـه واسـطه‌ی اطلاعـات جهـان قبـل، ویژگی‌هایـی متمایـز از جهـان پیشـین خواهد داشت[۳] (شکل ۸).

۱ـ فضا در این حالت غیر قابل تعریف می‌شود؛ به این معنا که طی واگرد فضا با تبدیل تمامی اجرام از کوچک‌مقیاس تا بزرگ‌مقیاس به امواج غیرمتراکم سازنده، گرانش و زمان آنتروپیایی در کل کیهان به صفر می‌رسند و تعیین مختصات برای فضا به دلیل عدم امکان تعریف حجم، غیرممکن خواهد بود.

۲ـ منظور از عدم قطعیت در این مبحث «عدم قطعیت طاهری» است.

۳ـ تفاوت کیهان‌های متوالی در مباحث دیگرِ کیهان‌شناسی شعوری ارائه خواهد شد.



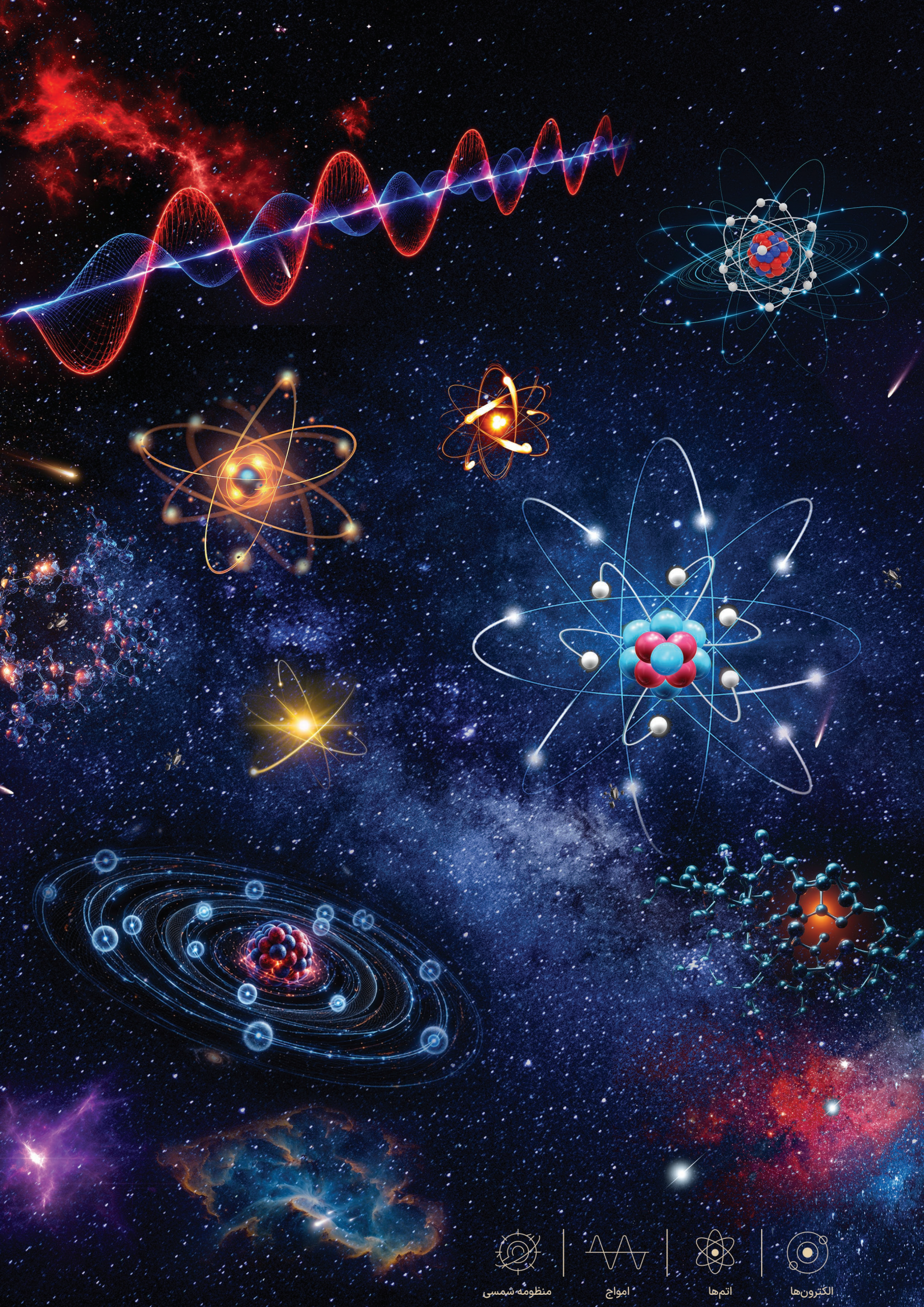
www.Journalofcosmointel.com



شـکل ۹- بر اسـاس نظریـه‌ی کیهـان دوار طاهری حرکت عرضـی شـامل همـه‌ی اجـزای کیهـان از ذرات بنیادین تا ساختارهای بزرگ و حتی امواج الکترومغناطیسی می‌شود.

جـهـــانِ در حـال چرخـــش

از کوچک‌ترین ذره تا بزرگ‌ترین کهکشان


منظومه شمسی
امواج
اتم‌ها
الکترون‌ها

۲- حرکت عرضی

این نوع حرکت بیان‌گر پویایی درونی اجزای کیهان است؛ پویایی‌ای که به‌صورت الگوهای موجی، مارپیچی و چندمحوره ظاهر می‌شود و در تمامی مقیاس‌ها قابل مشاهده است. جلوه‌های این حرکت از ریزترین ساختارهای فیزیکی تا سیستم‌های بزرگ کیهانی امتداد می‌یابد. در مقیاس‌های میکروسکوپی، نمونه‌های شاخص آن شامل انتشار امواج الکترومغناطیسی و رفتار دینامیکی الکترون‌ها در حالت‌های کوانتومی پیرامون هسته‌ی اتم است. در مقیاس‌های کلاسیک، حرکت مداری اجرام سماوی مانند حرکت ترکیبی و غیرخطی زمین در منظومه‌ی شمسی نمونه‌ای از این پویایی به شمار می‌رود. در مقیاس‌های کلان نیز گردش ستارگان و گاز میان‌ستاره‌ای پیرامون مرکز کهکشان‌ها تجلی دیگری از این الگوهای حرکتی است.

ویژگی بنیادین حرکت عرضی غیرتکراری‌بودن آن است؛ به این معنا که در توصیف دینامیکی دقیق، هیچ موج یا جرم فیزیکی‌ای مسیر خود را بیش از یک‌بار تحت شرایط کاملا یکسان طی نمی‌کند. این حرکت نه با مسیر ساده‌ی دایره‌ای توصیف می‌شود و نه دارای چرخه‌ی کامل است، بلکه در قالب الگوهای مارپیچی و تحول‌پذیر ظاهر می‌شود؛ به‌گونه‌ای که مسیر این نوع حرکت همواره تحت تاثیر هم‌زمانِ برهم‌کنش‌های گرانشی، چرخش‌های محلی سیستم‌ها و اثرات دینامیکیِ مقیاس‌های بزرگ‌تر تغییر می‌یابد.

در این چهارچوب، حرکت همه‌ی اجزای کیهان با الگوی واحدِ حرکت عرضی بیان می‌شوند. به عبارتی حرکت‌هایی که در تعاریف کلاسیکی به عنوان حرکت مداری شناخته می‌شوند، نوع جداگانه‌ای از حرکت نیستند، بلکه توصیفی ساده‌شده و محلی از همین الگوی حرکتی در کنار مولفه‌ی طولی آن به شمار می‌روند. منظور از مولفه‌ی طولی آن است که حرکت هر جرم یا موجی، تنها شامل مولفه‌های عرضیِ نوسانی یا چرخشی نیست، بلکه هم‌زمان دارای مولفه‌ای در راستای پیشروی مسیر حرکت است که موجب جابه‌جایی پیوسته‌ی سیستم در امتداد جهت کلی تحول آن می‌شود. وجود این مولفه سبب می‌شود مسیر حرکت در فضا هرگز به‌طور دقیق بر خود منطبق نشود و در نتیجه، الگوی حرکت به‌صورت مارپیچی و غیرتکراری توصیف‌پذیر باشد.

با تعمیم این توصیف به مقیاس کلان، می‌توان کیهان را به عنوان سیستمی یکپارچه در نظر گرفت که رفتار دینامیکی آن با ساختاری مارپیچی و چرخشیِ همه‌محوری مشخص می‌شود؛ ساختاری که اثر آن بسته به مقیاس مشاهده در رفتار اجزای مختلف کیهانی قابل پیگیری است (شکل ۹).

چرخش همه‌محوری کیهان، حرکتی همواره پویا

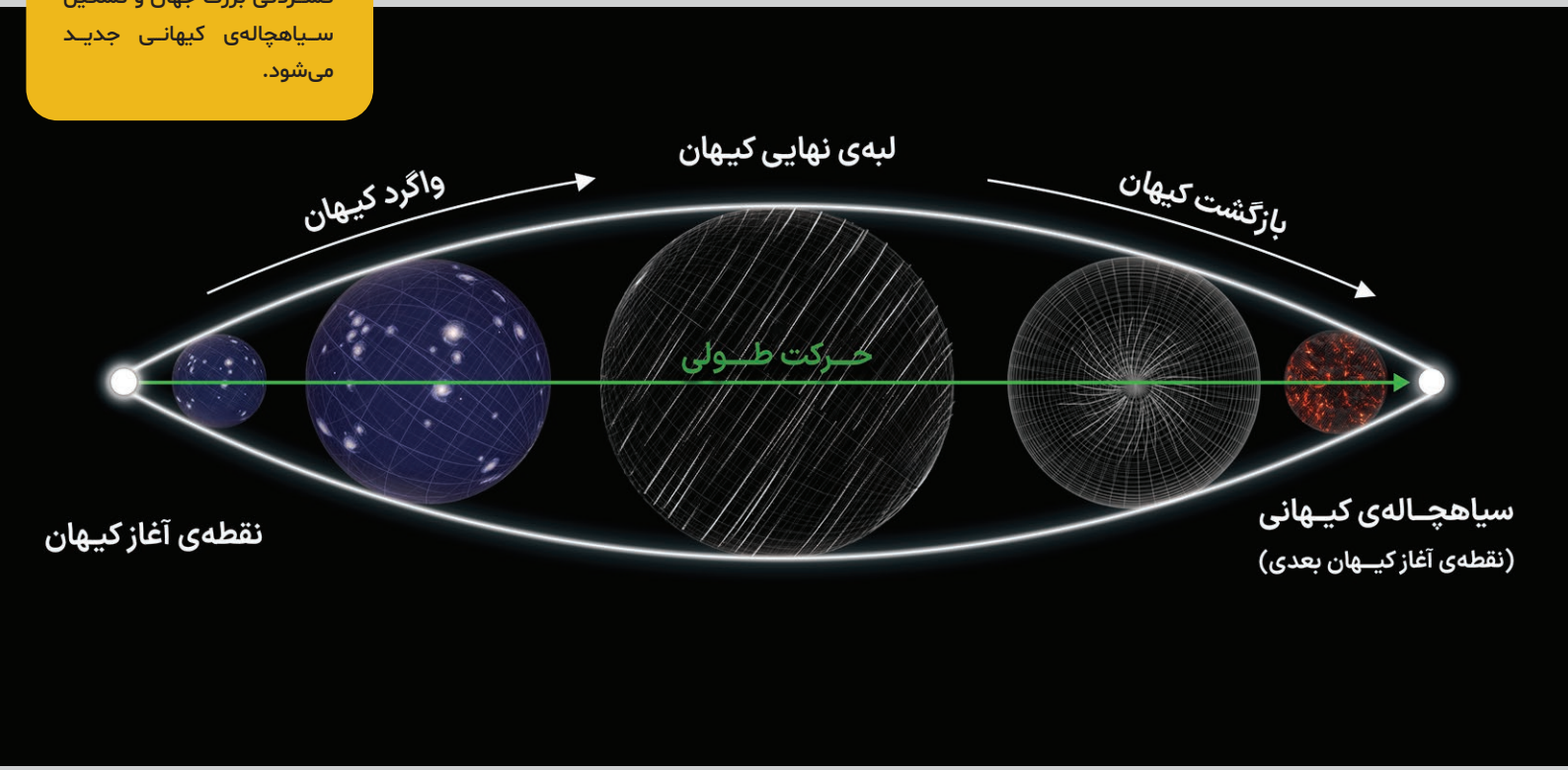
با در نظر گرفتن تعاریف حرکت طولی و حرکت عرضی، کیهان‌شناسی شعوری بیان می‌کند برهم‌کنش حرکت تمام اجزای کیهان با یکدیگر به پیدایش الگوهای پیچیده‌ی دینامیکی منجر می‌شود. در این چهارچوب، «چرخش همه‌محوری» به عنوان قاعده‌ای عمومی مطرح است؛ به این معنا که همان‌گونه که هر ذره، موج یا هر جرم آسمانی در مدار ویژه‌ی خود حرکت می‌کند، کل کیهان نیز به عنوان سیستمی واحد باید در چرخشی پیچیده و همه‌جانبه قرار داشته باشد. بر اساس این مدل، حرکت‌های چرخشی کلان به‌طور کلی از کیهان به اجزای آن منتقل می‌شوند و به همین دلیل هیچ حرکت چرخشی‌ای در سطح کیهان متوقف نمی‌شود.

این چرخش تبعات فیزیکی گوناگونی دارد؛ تبعاتی همچون پدیدآمدن نیروی گریز از مرکز که منجر به خالی‌شدن نواحی مرکزی کیهان می‌شود. افزون بر این، چنین حرکتی در رفتار تمام اجزای کیهان نیز اثرگذار است. از امواج و ذرات بنیادین تا ماده‌ی مرئی، ماده‌ی تاریک، انرژی تاریک و ساختارهای عظیم کیهانی. به بیان دیگر، چرخش همه‌محوری در جایگاه سازوکاری عمل می‌کند که بر سازمان‌دهی و پویایی کل ساختار کیهان تسلط دارد.

از منظر این چهارچوب نظری، چرخش همه‌محوری کیهان می‌تواند بستر مفهومی لازم برای تبیین یکی از مراحل چرخه‌ی تحول کیهان، یعنی مرحله‌ی فشردگی بزرگ و گذار به رویداد شوک بزرگ بعدی را فراهم کند. بر این اساس، در فاز نهایی واگرد کیهانی، فروپاشی تدریجی همه‌ی اجرام به پیدایش امواج مطلق منجر می‌شود که در راستای گسترش فضا تا حد نهایی آن یعنی حداکثر بازشدگی فضا پیشروی می‌کنند. با رسیدن این امواج به مرز نهایی فضا که در این توصیف به عنوان حد دینامیکی سیستم در نظر گرفته می‌شود، امکان ادامه‌ی انتشار به بیرون از این مرز وجود ندارد که در نتیجه بازتاب یا بازگشت آن‌ها به درون فضا رخ می‌دهد.

برخورد و تداخل این امواج در نواحی مرکزی کیهان منجر به تمرکز انرژی، ایجاد جرم و پیدایش مجدد میدان گرانشی می‌شود؛ فرآیندی که شرایط لازم برای آغاز مرحله‌ی فشردگی بزرگ کیهان را فراهم می‌سازد. در ادامه‌ی این روند، کل سیستم کیهان به‌صورت یکپارچه به سوی یک مرکز دینامیکی جدید منقبض می‌شود و در نهایت، ساختاری با چگالی بسیار بالا که در این چهارچوب به‌عنوان سیاهچاله‌ی کیهانی توصیف می‌شود، شکل می‌گیرد. این وضعیت، نقطه‌ی پایانی چرخه‌ی پیشین و هم‌زمانْ آستانه‌ی آغاز چرخه‌ای نوین از تحول کیهان در قالب شوک بزرگ بعدی تلقی می‌شود [۳۴] (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- خط زمانی تحولات کیهان: طی حرکت طولی، فضا به حد نهایی واگرد خود می‌رسد و امواج مطلقِ حاصل از اضمحلال همه‌ی اجرام، از لبه‌ی نهایی کیهان به درون آن باز می‌گردند. این امر منجر به آغاز فشردگی بزرگ جهان و تشکیل سیاهچاله‌ی کیهانی جدید می‌شود.



عوامل فیزیکی چرخش همه‌محوری کیهان در مدل کیهان کروی

بر اساس نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» سه عامل بنیادی برای چرخش کیهان مطرح می‌شود:

۱- تجزیه‌ی پوسته‌ی کروی و نقش ناهمسان‌گردی فشار داخلی

نخستین عامل موثر در تجزیه‌ی پوسته‌ی کیهان به فرآیندهای رخداده در سطح داخلی آن بازمی‌گردد. کیهان در این چهارچوب به عنوان یک سیستم بسته (ایزوله) در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس تکانه‌ی خطی کل آن پایسته است و مقدار برداری آن در طول تحول کیهانی ثابت می‌ماند. حال اگر تکانه‌ی خطی کل در شرایط اولیه صفر باشد، این وضعیت در ادامه نیز حفظ خواهد شد. در صورتی که در چهارچوب نظری «کیهان دوار طاهری» فرض بر آن است که کره‌ی کیهان از همان بدو پیدایش دارای تکانه‌ی زاویه‌ای غیرصفر بوده است؛ تکانه‌ای که به چرخش سیاهچاله‌ی کیهانیِ اولیه، به‌عنوان نقطه‌ی آغازین کیهان بازمی‌گردد. بنابراین، چرخش کیهان نه حاصل ایجاد تکانه‌ی زاویه‌ای در مراحل بعدی تحول، بلکه نتیجه‌ی تداوم و بازتوزیع تکانه‌ی زاویه‌ای اولیه در طول چرخه‌ی تکاملی کیهان است؛ فرآیندی که می‌تواند در مراحل مختلف، از جمله طی تجزیه‌ی TAM در پوسته‌ی کیهان، تشدید شود. از طرفی اگر نیروهای درونی طی تجزیه‌ی پوسته، به‌طور کامل متقارن و همسان توزیع شوند، برآیند نیروی خالص و گشتاور موثر بر پوسته صفر خواهد بود؛ هرچند چرخش کلی پوسته در صورت وجود تکانه‌ی زاویه‌ای اولیه می‌تواند همچنان ادامه یابد. اما در شرایط واقعیِ کیهان، فرآیند تجزیه‌ی پوسته از تقارن کامل برخوردار نیست. به این‌صورت که مطابق قانون سوم نیوتن، هر نیروی داخلی با واکنشی هم‌اندازه و در جهت مخالف همراه است؛ بنابراین، با توجه به این‌که فرآیند احتراق و آزادسازی انرژی در سطح داخلی کره‌ی کیهان به‌صورت ناهمسان‌گرد رخ می‌دهد، توزیع فشار حاصل بر دیواره‌ی داخلی کاملا متقارن نخواهد بود. این احتراق درونی با افزایش دما و فشار همراه است و هم‌زمان تجزیه‌ی TAM نیز منجر به تزریق انرژی تاریک با مولفه‌های غیرشعاعی درون سیستم می‌شود که شدت فشار داخلی را افزایش می‌دهد. به بیان دیگر اگر حالتِ ایده‌آلِ توزیع کاملا یکنواخت و شعاعیِ فشار بر سطح داخلی را در نظر بگیریم آنگاه گشتاور خالصِ وارد بر پوسته‌ی

www.Journalofcosmointel.com

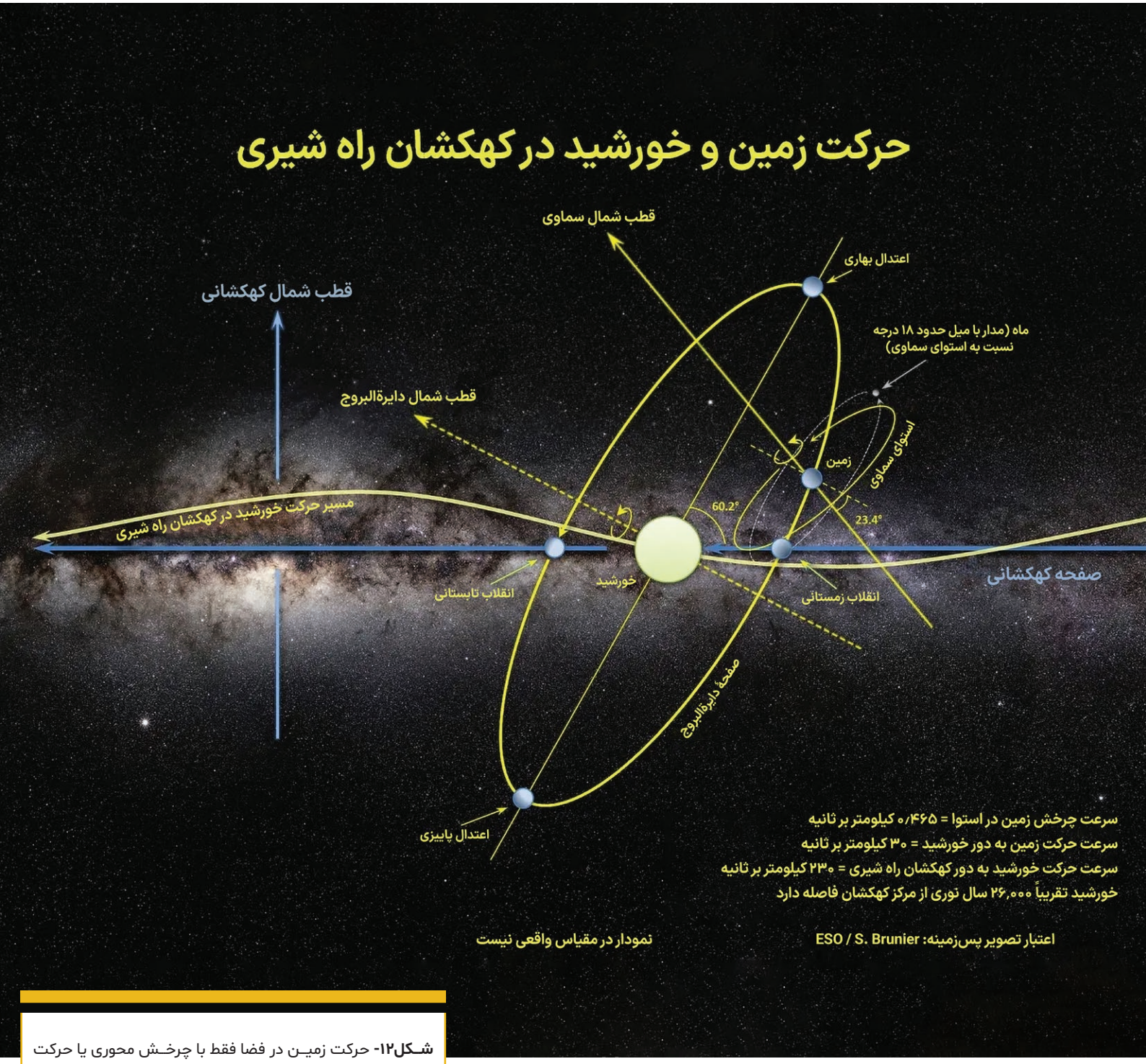
کیهـان صفـر خواهد بـود؛ زیـرا انتگرال گشـتاور نیروهای سـطحی ($\tau_{shell} = \int \vec{r} \times (-p\,\vec{r})\,dA$) به صفر می‌رسـد و در نتیجه گشـتاور موثری برای تغییر حالت چرخشـی پوسته ایجاد نمی‌شود. اما همان‌طور که بیان شـد در شرایط واقعی، ناهمسان‌گردی فشار، برای مثال تفاوت شـدت احتراق در نواحی مختلف سطح داخلی و پرتاب با مولفه‌های غیرشـعاعی انواع ماده و انرژی از جمله انرژی تاریک، سبب می‌شود این انتگرال صفر نباشـد و گشـتاور موثری بر پوسته اعمال شود. از طرفی این گشـتاور به ایجاد تکانه‌ی زاویه‌ای از صفر منجر نمی‌شود، بلکـه تکانـه‌ی زاویـه‌ای موجـود را میان پوسـته و محتویـات درونی سیسـتم بازتوزیـع می‌کنـد و می‌تواند سـرعت زاویه‌ای پوسـته را با توجـه بـه ($L = I\omega$) تغییـر دهـد، در حالی کـه تکانـه‌ی زاویه‌ای کل سیستم پایسته می‌ماند (شکل ۱۱).



شکل۱۱- هنگام تجزیه‌ی پوسته‌ی کیهان، نامتقارنـی در احتـراق TAM، یکـی از عوامل چرخش همه‌محـوری کیهان کروی به شـمار می‌رود؛ خـود این امـر منجر به انتقـال تکانـه‌ی زاویـه‌ای بیـن پوسـته و اجزای داخلی کیهان می‌شود.

۲- نشـانه‌های دینامیکـی از چرخـش فراگیـر در تمامـی مقیاس‌های کیهانی

عامـل دوم در تبییـن پویایـی کیهـان، مشـاهده‌ی الگوی فراگیر چرخـش در تمامی مقیاس‌هـای قابل بررسـی اسـت. ایـن الگو از ریزتریـن سـطوح فیزیکـی تـا بزرگ‌تریـن ساختارهای کیهانی امتداد دارد و به‌صورت‌های گوناگـون بـروز می‌یابـد. در مقیاس‌هـای بنیادیـن، وجود تکانه‌ی زاویه‌ای ذاتی ذرات و کمیت‌هایی مانند اسپین نشان‌دهنده‌ی آن اسـت که حتـی در بنیادی‌ترین توصیف‌های فیزیکـی، حرکـت صرفـا بـه جابه‌جایی خطی تقلیـل نمی‌یابـد. در مقیاس‌هـای اتمـی و مولکولی نیز سـاختارهای پایـدار با رفتارهای دورانـی و چندمحـوره توصیـف می‌شـوند و در مقیاس‌هـای کلاسـیکی، حرکـت مـداری منظومه‌ها، چرخش اجرام سماوی و دینامیک سـاختارهای کهکشـانی همگی بیانگر غلبه‌ی الگوهـای چرخشـی بـر حرکت‌هـای سـاده‌ی خطی هستند (شکل ۱۲).



شـکل۱۲- حرکت زمیـن در فضا فقط با چرخـش محوری یا حرکت بـه دور خورشـید تعریـف نمی‌شـود، بلکـه بـا حرکـت منظومه‌ی شمسـی در کهکشـان، حرکت راه شـیری در گروه محلی و حرکت گروه محلی در فضای بین کهکشانی نیز تعریف می‌شود. این نوع حرکـت نمونه‌ای از حرکت غیرمسـتقیم در جهت‌های گوناگون در کیهان‌اند که در مدل کیهان کروی تعمیم به عام می‌شود.

background Image creditbackground: ESO/S. Brunier

در این چهارچوب، حرکت خطی خالص نه به عنوان حالت بنیادی، بلکه صرفا به عنوان تقریب موضعی و محدود از حرکتی پیچیده‌تر در نظر گرفته می‌شود. به بیان دیگر، آنچه به‌صورت حرکت مستقیم مشاهده یا مدل‌سازی می‌شود در توصیف دقیق‌تر بخشی از مسیر غیرخطی و چرخشی است که تحت تاثیر میدان‌ها، برهم‌کنش‌ها و زمینه‌ی دینامیکی فضا شکل گرفته است. از این منظر، تمامی این نمونه‌ها علاوه بر عوامل چرخشی محلی، درجات گوناگونی از حرکت دورانی یا همه‌محوری اجزای کیهان را بازتاب می‌دهند. با لحاظ‌کردن افزایش حجم کیهان و تحول پیوسته‌ی هندسه و مقیاس فضا، می‌توان این الگوهای چرخشی را نه پدیده‌هایی مجزا، بلکه جلوه‌هایی از رفتار دینامیکی کلان‌تر تلقی کرد. در این توصیف، چرخش امواج، اجرام و حتی کمیت‌های زاویه‌ای در مقیاس‌های ریز، می‌توانند به عنوان پاسخ موضعی اجزا به زمینه‌ی چرخشی فراگیرتر فهم شود و همان‌طور که پیش‌تر بیان شد بر اساس نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» این زمینه‌ی چرخشی سراسری ریشه در شرایط اولیه‌ی کیهان دارد و به چرخش سیاهچاله‌ی کیهانیِ آغازین به عنوان هسته‌ی اولیه‌ی تولد کیهان بازمی‌گردد. در نتیجه، چرخش مشاهده‌شده در سطوح گوناگون نه حاصل سازوکارهای مستقل و تصادفی، بلکه پیامد بازتوزیع و تداوم تکانه‌ی زاویه‌ای اولیه در طول چرخه‌ی تحول کیهانی تلقی می‌شود.

۳- ویسکوزیته‌ی فضایی و هاله‌های پیرامون

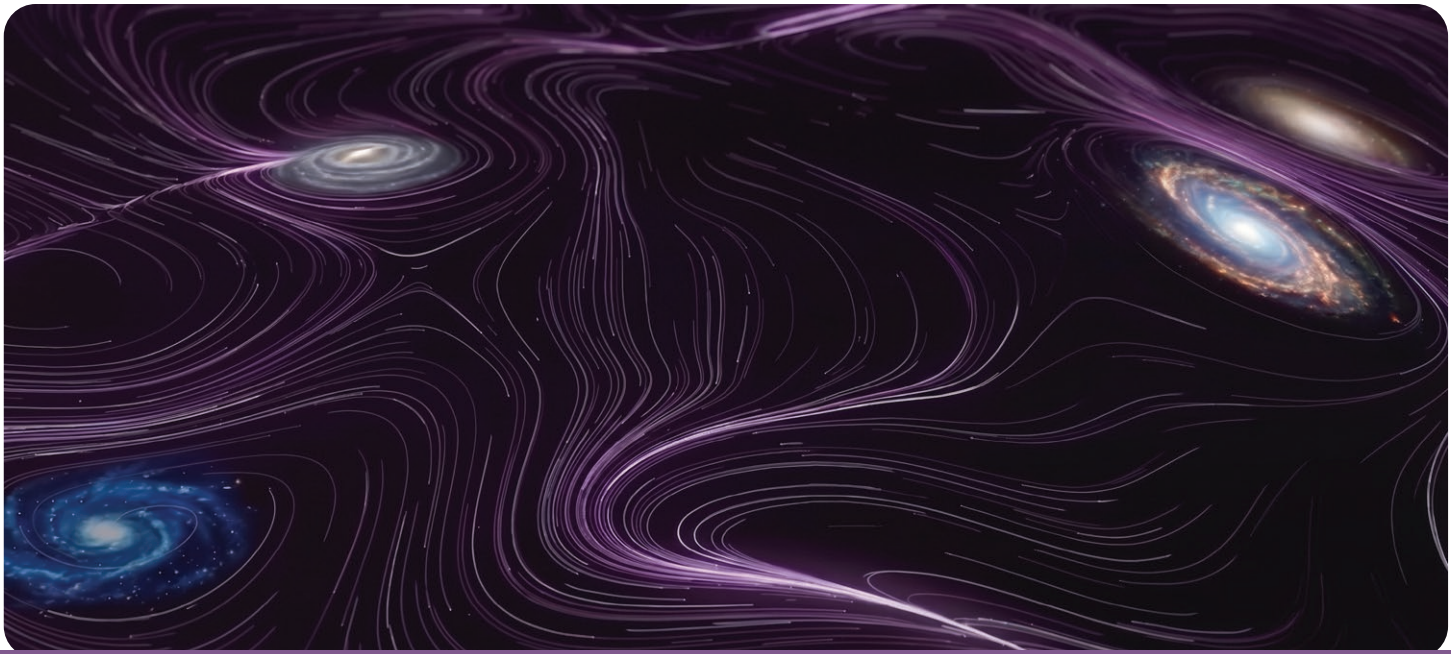
عامل سوم به نقش ماده‌ی تاریک و رفتار دینامیکی آن در پیرامون اجرام کیهانی بازمی‌گردد. در چهارچوب فیزیک و اخترفیزیک رصدی، وجود ماده‌ی تاریک به‌واسطه‌ی آثار گرانشی آن در مقیاس‌های کهکشانی و خوشه‌ای استنباط می‌شود؛ آثاری که نشان می‌دهند میدان گرانشی پیرامون اجرام تنها به ماده‌ی باریونی محدود نیست. حال این‌که در چهارچوب مدل کیهان کروی، این پدیده به‌صورت شکل‌گیری هاله‌هایی پیرامون اجرام تفسیر می‌شود که بیان‌گر تغییرات دینامیکی بستر فضا هستند.

در این توصیف، هاله‌های پیرامونی نه ساختارهایی ایستا، بلکه سیستم‌هایی پویا هستند که همراه با حرکت پیچیده‌ی اجرام که شامل حرکت‌های چرخشی، مارپیچی و همه‌محوری هستند تکامل می‌یابند. این هاله‌ها در حین حرکت اجرام، الگوی رفتار انقباضی یا واگردی فضا را در مقیاس‌های محلی و کلان تنظیم می‌کنند و به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از دینامیک سیستم عمل می‌نمایند. از این منظر، ماده‌ی تاریک نه صرفا محیط پس‌زمینه‌ی ثابت، بلکه عنصری همراه و هم‌حرکت با ساختارهای کیهانی تلقی می‌شود.

برای توصیف شهودی این رفتار، می‌توان از قیاس سیالی درون ظرف کروی در حال چرخش استفاده کرد؛ به این معنا که حرکت و چرخش سیال درون ظرف از حرکت و چرخش خود ظرف مستقل نیست، بلکه به‌طور مستقیم از آن نیز تاثیر می‌پذیرد. به‌طور مشابه در این چهارچوب، حرکت هاله‌های موثرِ پیرامون اجرام که همان ویسکوزیته‌ی متغیر فضا است (ماده و انرژی تاریک)، بازتابی از وضعیت دینامیکی بستر کلی کیهان است. بنابراین، مشاهده‌ی الگوهای چرخشی یا غیرخطی در ماده‌ی تاریک پیرامون اجرام، به عنوان جلوه‌ای محلی از زمینه‌ی چرخشی گسترده‌تری تفسیر می‌شود.

در ادامه‌ی این نگاه، امواج گرانشی نیز نه به عنوان حامل‌های مستقل کوانتومی، بلکه به عنوان پیامد نوسانات و تغییرات پی‌درپیِ حالت انقباض و واگرد موضعی فضا تعریف می‌شوند؛ زیرا در این چهارچوب، گرانشْ ماهیتی غیرفرکانسی دارد و رفتار موج‌گونه‌ی مشاهده‌شده، نتیجه‌ی پاسخ دینامیکی فضا به تغییرات چگالی ماده‌ی باریونی و توزیع آن است. به این ترتیب، امواج گرانشی به جای آن‌که به ذرات فرضی مجزا نسبت داده شوند، به عنوان تجلی مستقیم رفتار پیوسته (غیرفرکانسی) و میدان‌گونه‌ی خود فضا در نظر گرفته می‌شوند [۳۵] (شکل ۱۳).

شکل ۱۳- ماده‌ی تاریک اطراف تمامی اجرام -از جمله کهکشان‌ها- مانند سیالِ در حال چرخش عمل می‌کند و نشانی از دینامیک چرخشی کل کیهان است.

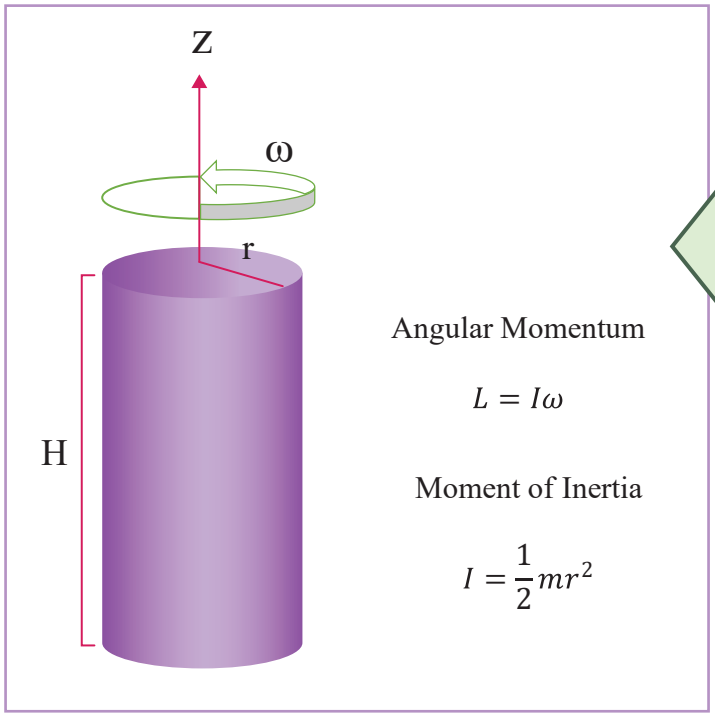


در جمع‌بندی کلی می‌توان گفت نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» جهانی پویا را ترسیم می‌کند که در آن همه‌ی رخدادها و همه‌ی انواع نیروها و حتی زمان درون بستر فضای چرخان و همه‌محوری جریان دارند.

اهمیت تکانه‌ی زاویه‌ای در کیهان

یکی از نکات بنیادی در مدل «کیهان کروی» آن است که پوسته‌ی کیهان به واسطه‌ی احتراق و در نتیجه چرخش ناشی از این احتراق، به اجرام و فضای آزادشده، تکانه‌ی زاویه‌ای منتقل می‌کند. این فرآیند به‌طور طبیعی مانع وجود حرکت خطیِ محض در کیهان می‌شود و می‌توان شواهد آن را در الگوهای مارپیچیِ حرکت تمامی اجرام از سیارات و ستارگان تا کهکشان‌ها و حتی در انتشار امواج مشاهده کرد. برای درک عمیق‌تر این مفهوم، ابتدا تعریف تکانه‌ی زاویه‌ای را مرور می‌کنیم.

تکانه‌ی زاویه‌ای (Angular Momentum) کمیت فیزیکی بنیادینی است که حرکت دورانی جسم را توصیف می‌کند و به‌صورت حاصل‌ضرب ممان اینرسی (Moment of Inertia) و سرعت زاویه‌ای (Angular Velocity) تعریف می‌شود. تکانه‌ی زاویه‌ای از نظر ریاضی به‌صورت $L = I\omega$ بیان می‌شود که در آن I ممان اینرسی و ω سرعت زاویه‌ای است. برای ذره‌ی نقطه‌ای نیز تکانه‌ی زاویه‌ای بر حسب بردار مکان r و تکانه‌ی خطی p به شکل $L = r \times p$ تعریف می‌شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- رابطه‌ی بین ممان اینرسی و سرعت زاویه‌ای در استوانه‌ی در حال چرخش

تکانه‌ی زاویه‌ای می‌تواند از طریق فرآیندهای مختلف (شامل برخوردها یا برهم‌کنش‌های گرانشی) از یک جسم به جسم دیگر منتقل شود. این انتقال در فیزیک کیهان اهمیت ویژه‌ای دارد و از چند سازوکار کلیدی پیروی می‌کند:

۱- برخورد مستقیم

وقتی دو جسم دوار با یکدیگر برخورد می‌کنند، تبادل تکانه‌ی زاویه‌ای صورت می‌گیرد. بر اساس اصل پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای، مجموع تکانه‌ی زاویه‌ای کل سیستم قبل و بعد از برخورد برابر است؛ مشروط بر آن‌که هیچ گشتاور خارجی‌ای بر سیستم وارد نشود. این اصل یکی از مهم‌ترین قوانین بنیادی مکانیک کلاسیک است [۳۶].

۲- برهم‌کنش‌های گرانشی

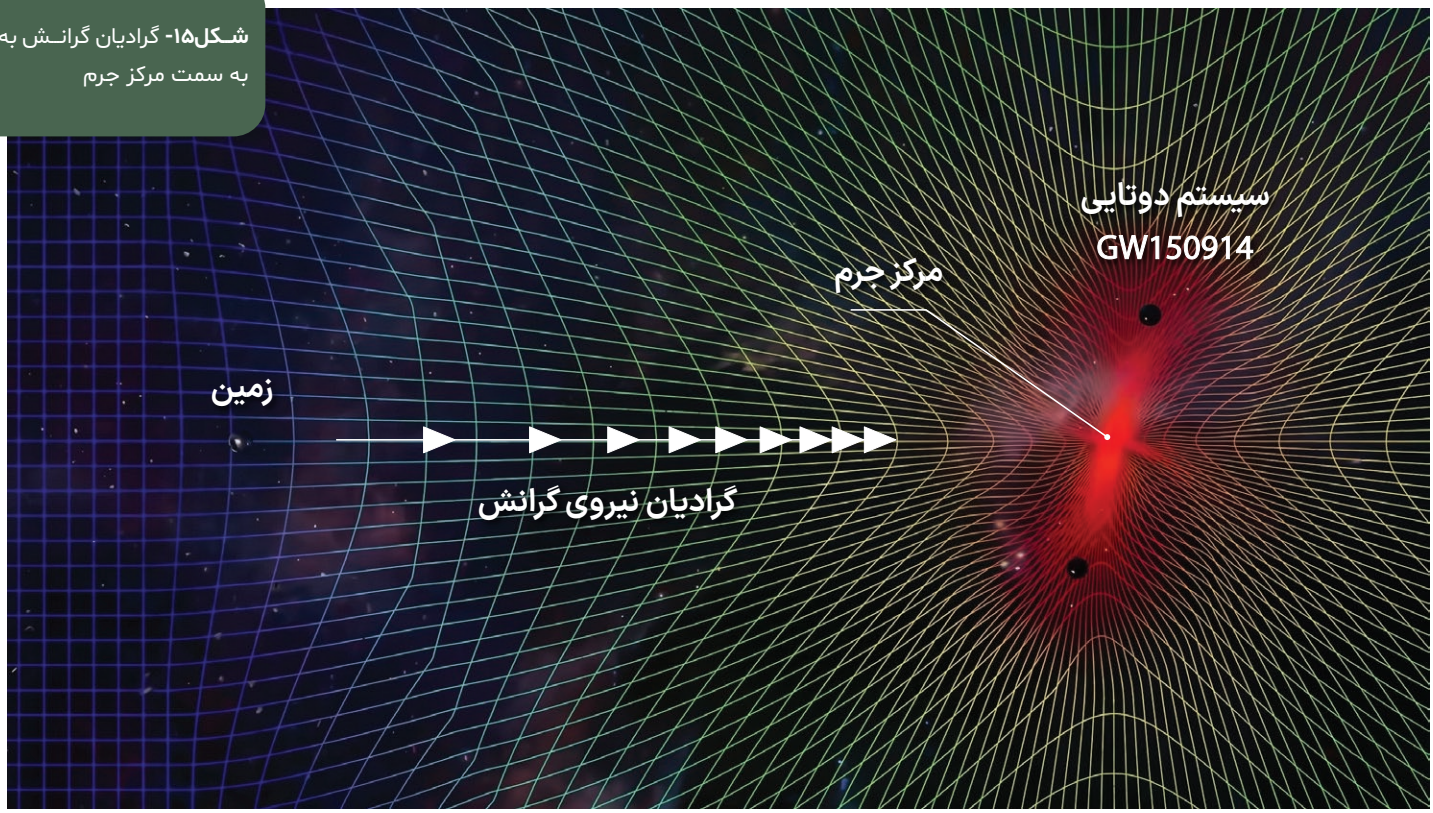
در سیستم‌های اخترفیزیکی مانند ستاره‌های دوتایی یا هنگام برهم‌کنش یک ستاره با محیط میان‌ستاره‌ای خود، انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای از طریق میدان گرانشی رخ می‌دهد. برای مثال، فرآیند انتقال جرم از یک ستاره به همدم آن می‌تواند موجب تغییر تکانه‌ی زاویه‌ای کل سیستم شود. این سازوکار در تحول دینامیکی دیسک‌های برافزایشی (Accretion disk) و سیستم‌های دوتایی اهمیت کلیدی دارد [۳۷], [۳۸].

www.Journalofcosmointel.com

۳- برهم‌کنش‌های موجی (Wave-Mediated Interactions)

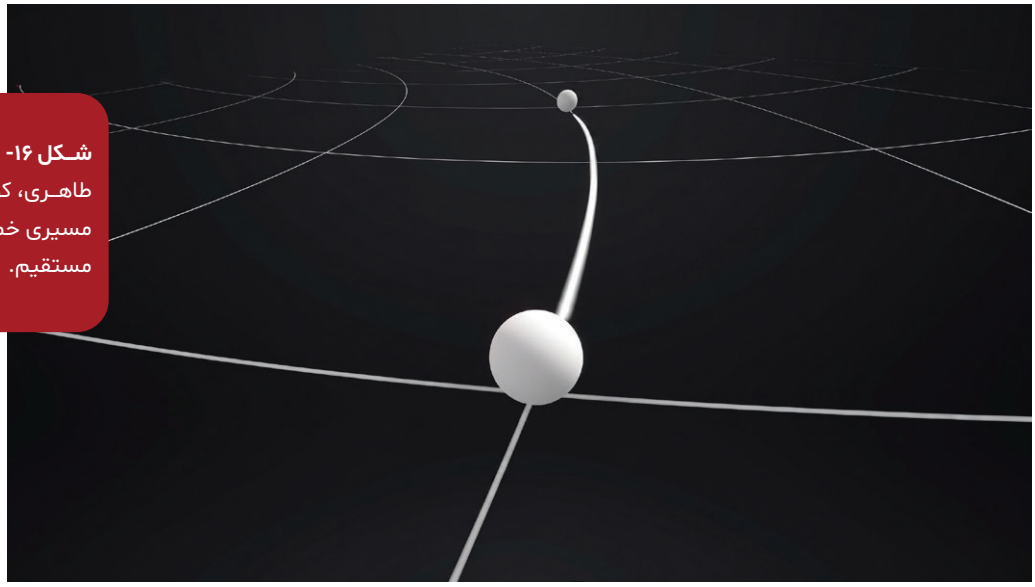
با توجه به پیش‌بینی‌های نسبیت عام، فیزیک‌دانان نشان داده‌اند در برخی پدیده‌های اخترفیزیکی، انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای می‌تواند از طریق انتشار امواج گرانشی صورت گیرد؛ زیرا این امواج قادرند انرژی و تکانه‌ی زاویه‌ای را از سیستم خارج کنند. علاوه بر این، در چهارچوب فیزیک درون‌ستاره‌ای، نوساناتی مانند امواج گرانشی درونی (Internal Gravity Waves) نیز می‌توانند در ستارگان، به‌ویژه ستارگان با چرخش سریع، تکانه‌ی زاویه‌ای را از نواحی درونی به لایه‌های بیرونی منتقل کنند. این سازوکارها نقش مهمی در تعیین پروفایل چرخش و تحول دینامیک ستارگان ایفا می‌کنند [۳۹], [۴۰], [۴۱].

نکته: در چهارچوب مدل کیهان کروی، گرانش به عنوان نیرویی با عملکرد میدانی (Field Force) در نظر گرفته می‌شود که به‌طور مستقیم از چگالی و توزیع ماده‌ی باریونی ناشی می‌شود. در این دیدگاه، گرانش از طریق فرآیند خطی و زنجیروارِ انقباض و رهایی از فشردگی فضا در گستره‌ی کیهان انتشار می‌یابد. این سازوکار، ماهیت گرانش را به‌صورت رفتار دینامیکی نیرو و چگالی وابسته به ماده‌ی باریونی در محیط توصیف می‌کند که در آن افزایش چگالی ماده‌ی باریونی موجب افزایش انقباض فضای پیرامون و در نتیجه تقویت میدان گرانشی می‌شود. به بیان دیگر گرانش به شکل موج در فضا-زمان (Ripples in space-time) یا به واسطه‌ی ذرات فرضی‌ای به نام گرویتون منتقل نمی‌شود، بلکه به شکل پیوستار دینامیکی میدان در فضا عمل می‌کند. تحلیل تفصیلی این رویکرد و تمایز آن از تبیین‌های فرکانسی و هندسی رایج در مبحث «جهان فرکانسی و غیرفرکانسی» ارائه می‌شود (شکل ۱۵).



شکل۱۵- گرادیان گرانش به عنوان نیرو به سمت مرکز جرم

همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، بر اساس مدل کیهان کروی، اثر سیستم چرخشیِ سیستم دوتایی سیاهچاله‌ای GW150914 در فضا، به‌صورت تغییر در گرادیان میدان گرانشی در اطراف این دو ابرجرم ظاهر می‌شود. در این مدل، انتقال اثر گرانشی از مرکز چرخشی این دو جرم عظیم تا کره‌ی زمین، به‌صورت غیرفرکانسی یا همان انتقال خطی نیرو در نظر گرفته می‌شود؛ به این معنا که گرانش نه به شکل موج‌های نوسانی فضا-زمان، بلکه به‌صورت تغییرات پیوسته و خطی در چگالی و انقباض خود فضا انتشار می‌یابد. دستگاه آشکارساز LIGO نیز این تغییرات در گرادیان میدان گرانشی را که در چهارچوب مدل کیهان کروی به عنوان سیگنال انتقال نیرو در محیط ویسکوز فضایی تفسیر می‌شود، ثبت می‌کند. سرعت انتقال این نیرو وابسته به میزان ویسکوزیته‌ی محلی فضا است. در نتیجه، آنچه به‌صورت «امواج گرانشی» در نسبیت عام شناخته می‌شود در این دیدگاه حاصل پاسخ غیرفرکانسی فضا به نیروی گرانشی نشات‌گرفته از سیستم‌های پرجرمِ در حال چرخش است، نه ارتعاش موجی فضا-زمان.



شـکل ۱۶- بر اسـاس نظریه‌ی کیهان دوار طاهـری، کوتاه‌تریـن فاصله میان دو ذره، مسیری خمیده از فضا است، نه یک خط مستقیم.

۴-اعمال گشتاور خارجی

اگر بر یک جسـم دوار، گشـتاور خارجی وارد شود، تکانه‌ی زاویه‌ای آن تغییر می‌کند. در سیستم‌های مکانیکی کلاسیک، این وضعیت زمانی رخ می‌دهد که نیرو در فاصله‌ای غیرصفر از محور دوران اعمال شـود. در مقیاس کیهانی نیز، ناهمسـان‌گردی میدان‌های گرانشـی محیـط اطـراف می‌توانند از طریق گشـتاورهای کشـندی نقش موثر گشـتاور خارجی را ایفا کرده و موجب تغییر یا ایجاد تکانه‌ی زاویه‌ای در اجرام در حال شکل‌گیری شوند [۴۲].

به این ترتیب در چهارچوب مدل کیهان کروی، درک دقیق نقش و انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای در مقیاس‌های گوناگون، از مکانیک کلاسیک تا اخترفیزیک و دینامیک کیهانی، اهمیت بنیادی دارد و نه‌تنها یکی از ویژگی‌های محلی اجسـام چرخان به شـمار می‌آید، بلکه پارامتری کلیدی در دینامیک کل کیهان است که از پوسته‌ی در حال دوران به تمام ساختارها و امواج حاصل از تجزیه‌ی آن منتقل می‌شود.

خمیدگی فضا در کیهان

پیش از تعریف ژئودزیک در کیهان‌شناسـی، لازم به درک مفهوم «حرکت» و «مسیر» است. در فیزیک کلاسیک، مسیر جسم معمولا خطـی یـا منحنی در فضای سـه‌بعدی اسـت که تحت تاثیـر نیروها تغییر می‌کند. اما در کیهان‌شناسی رایج و نسبیت عام، این مفهوم به‌طـور بنیـادی دگرگـون می‌شـود؛ چنان کـه از این دیـدگاه حرکت فقـط در فضا انجام نمی‌شـود، بلکه در بسـتر چهاربعـدیِ فضا-زمان رخ می‌دهـد. در این چهارچوب، جـرم و انرژی نه‌تنها تعیین‌کننده‌ی حرکت اجسـام‌اند، بلکه خودِ سـاختار فضا-زمان را هم خم می‌کنند. بنابرایـن، یـک ذره‌ی آزاد کـه هیچ نیروی غیرگرانشـی‌ای بـر آن وارد نمی‌شـود، در واقـع در مسـتقیم‌ترین مسـیر ممکـن نسـبت بـه هندسـه‌ی خمیده‌ی فضا-زمان حرکت می‌کند. این مسیر طبیعی که بدون اعمال هیچ نیرویی طی می‌شـود، ژئودزیک نام دارد. ژئودزیک در معنای هندسـی، تعمیم مفهوم خط راسـت بـه فضاهای خمیده اسـت؛ همان‌گونه که در سـطح یک کره، کوتاه‌تریـن فاصله بین دو نقطه نه یک خط راست بلکه قسمتی از یک دایره بر سطح آن است.

در نسـبیت عـام نیـز حرکـت ذرات و پرتوهای نور بر اسـاس چنین مسـیرهایی تعیین می‌شود. مسیرهایی که نه وجود نیرویی نامرئی بلکه خودِ هندسه‌ی جهان آن‌ها را مشخص می‌کند. در نتیجه، فهم ژئودزیک‌ها اسـاس درک گرانش در نسـبیت عام به شـمار می‌رود. گرانش در این نظریه نیروی فیزیکی در معنای نیوتنی نیست، بلکه بیان ریاضی و هندسی از خمیدگی فضا-زمان است که مسیر همه‌ی ذرات، نـور و حتی سـاختارهای کیهانـی را تعیین می‌کند. به عبارتی، مطالعـه‌ی ژئودزیک‌هـا یعنی فهمیدن این‌که اجسـام در غیاب نیرو بر اساس خمیدگی فضا-زمان چه مسیرهایی را طی می‌کنند [۴۳].

اما در کیهان‌شناسـی شـعوری، مفهـوم خمیدگی فضـا بازتعریفِ بنیادین پیدا می‌کند. در این دیدگاه، خمش فضا تنها پیامد حضور جرم-انـرژی نیسـت، بلکه از دو عامل اساسـی سرچشـمه می‌گیرد؛ یکی چرخش کیهان که منجر به انحنای خودِ فضای درون می‌شـود و دیگری میدان گرانشی ناشی از خودِ جرم باریونی است. حال این‌که امـواج الکترومغناطیسـیِ حامـل انرژی بـه دلیل عدم داشـتن جرم نمی‌توانند در فضا خمش ایجاد کنند و صرفا مسـیر خمیده‌ی ناشـی از جـرم را طـی می‌کنند. این دو عامل در کنار هم سـاختار فضا را در مقیاس‌های گوناگون تغییر می‌دهند و موجب می‌شوند حرکت هیچ ذره یا پرتوِ نوری در جهانْ مسیر کاملا مستقیم نداشته باشد.

تکانـه‌ی زاویـه‌ای، بـه عنوان شـاخص چرخـش درونی یـا بیرونی سیسـتم‌ها در این مدل نقش بنیادی دارد. همان طور که ذکر شـد فضا، به‌سان بستری پویا در اثر چرخش کیهان دچار پیچش و انحنا می‌شود. از سوی دیگر، جرم باریونی با ایجاد میدان گرانشی بر همان فضا اثر گذاشته و آن را فشرده‌تر و خمیده‌تر می‌کند. برآیند این دو پدیـده، یعنـی چرخش و گرانش، هندسـه‌ای پویـا و همواره در حال تغییـر را پدیـد می‌آورد کـه در آن، تمامی مسـیرهای حرکتی به جای خـط راسـت، تبدیل به منحنـی طبیعی و اجباری در فضا می‌شـوند. در نتیجـه، چه ذره‌ی مادی و چـه موج نوری، همگی مجبورند در این سـاختار خمیده حرکت کنند. به بیان دیگر، «مسـیر مسـتقیم» در کیهـان مفهومـی نسـبی و غیرواقعی اسـت؛ زیرا خود فضـا در حال چرخش و خمش است (شکل ۱۶).

بر اساس نظریه‌ی کیهان دوار طاهری پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای، یکی از اصول قدرتمند و جهانی در فیزیک است که رفتار سیستم‌های دوار و برهم‌کنش‌های آن‌ها را در مقیاس‌های خرد و کلان تعیین می‌کند. این اصل، نه‌تنها در تحلیل حرکت اجرام و امواج، بلکه در تبیین پویایی چرخشِ همه‌محوریِ کیهان نیز نقش اساسی دارد. به منظور درک شهودی این اصل، می‌توان از مثال‌های مکانیکی ساده مانند پرتاب توپ روی صفحه‌ی چرخان یا پرتاب دیسک استفاده کرد؛ این مثال‌ها نمایان‌گر تاثیر مستقیم تکانه‌ی زاویه‌ای بر مسیر و پایداری حرکت‌اند.

۱- پرتاب توپ روی صفحه‌ی چرخان

یکی از مثال‌های کلاسیک که نشان می‌دهد هیچ حرکتی در کیهان، در اثر چرخش همه‌محوری آن کاملا مستقیم نیست، پرتاب توپ در چهارچوب صفحه‌ای در حال چرخش است. فرض کنید دو ناظر روی صفحه‌ای که حول محور مرکزی خود با سرعت زاویه‌ای ثابت می‌چرخد قرار گرفته‌اند و یکی از آن‌ها توپی را به‌سوی دیگری پرتاب می‌کند. از دید این دو ناظر که در دستگاه مرجع غیرلَخت یا شتاب‌دار قرار دارند، مسیر توپْ خمیده به نظر می‌رسد؛ این انحراف ناشی از وجود نیروی ظاهری کوریولیس (Coriolis Force) است که تنها در چهارچوب‌های چرخان ظاهر می‌شود [۳۶], [۴۴]. اما اگر همین پدیده از دید یک ناظر ساکن در چهارچوب لخت بررسی شود، توپ در مسیری مستقیم حرکت می‌کند و هیچ نیروی واقعی‌ای بر آن وارد نمی‌شود. این تمایز میان مشاهدات، بیان‌گر اهمیت انتخاب دستگاه مرجع در تحلیل حرکت‌های چرخشی است. طوری که در مقیاس کیهانی، بر اساس نظریه‌ی کیهان دوار طاهری همان‌گونه که بیان شد، کوتاه‌ترین مسیر میان دو نقطه در فضا نیز نه یک خط راست، بلکه مسیر خمیده‌ی ناشی از چرخش کیهان است. به عبارت دیگر، چرخش کلی کیهان موجب می‌شود تمامی حرکت‌ها از دید ناظر محلی به‌ظاهر به شکل خط راست دیده شود در صورتی که در مقیاس کیهانی این مسیر دارای انحنا است.

۲- پرتاب دیسک

نمونه‌ی دیگر برای درک انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای، پرتاب دیسک است. در این فرآیند، چرخش بدن پرتاب‌کننده و نحوه‌ی اعمال نیرو به دیسک نقش مهمی در القای تکانه و تکانه‌ی زاویه‌ای به آن دارد. اگر دیسک به‌گونه‌ای پرتاب شود که نیروی وارد شده از مرکز جرم آن عبور نکند، گشتاور خالصی به دیسک اعمال می‌شود که در این صورت دیسک حرکت دورانی حول مرکز جرم خود خواهد داشت. در این حالت، اگرچه مسیر مرکز جرم دیسک در میدان گرانشی همچنان یک مسیر سهمی ساده باقی می‌ماند اما نقاط مختلف روی دیسک مسیرهای پیچیده‌تری طی می‌کنند که حاصل ترکیب حرکت انتقالی مرکز جرم و حرکت دورانی حول آن است. بنابراین، شکل کلی حرکت دیسک در فضا از دید ناظر می‌تواند غیرخطی و پیچیده به نظر برسد، بی‌آن‌که این پیچیدگی به معنای نیروی اضافی بر مرکز جرم باشد. با در نظر گرفتن این مثال به عنوان یک قیاس فیزیکی شهودی، می‌توان تصور کرد که در برخی مدل‌های کیهان‌شناختی چرخان یا ناهمسان‌گرد، حرکت اجرام نیز نه به واسطه‌ی نیروهای مکانیکی اضافی، بلکه به دلیل ساختار هندسی و اثرات موثر تکانه‌ی زاویه‌ای در مقیاس جهانی از مسیرهای ساده‌ی خطی فاصله می‌گیرد. در این دیدگاه، انحنای مسیرها بازتابی از هندسه‌ی فضا و ویژگی‌های چرخشی آن است، نه حاصل اعمال یک نیروی کلاسیک مستقیم و همان‌طور که مولفه‌های بیان‌شده موجب پیچیده‌بودن مسیر دیسک در فضا می‌شود، چرخش کیهان نیز باعث می‌شود حرکت اجرام در کیهانِ بزرگ‌مقیاس از مسیرهای غیرخطی پیروی کند. به بیان دیگر، انحنای مسیر حرکت اجرام در این مدل محصول تکانه‌ی زاویه‌ای القاشده از فرایند تجزیه‌ی TAM در پوسته‌ی کیهان است که چرخش کل فضا را نیز سبب می‌شود.

بنابراین، مطابق نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری»، مفهوم چرخش همه‌محوری کیهان می‌تواند از دیدگاه پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای نیز توصیف شود. همان‌گونه که در مکانیک کلاسیک، نیروی کوریولیس باعث انحراف حرکت در چهارچوب‌های چرخان می‌شود در مقیاس کیهانی نیز چرخش فضا موجب می‌شود مسیر حرکت اجرام و امواج از حالت خطی به حالت منحنی تغییر کند. به این ترتیب، اصل پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای نه‌تنها در مقیاس‌های محلی بلکه در پویایی چرخش کیهان به عنوان «کل واحد» موثر است.

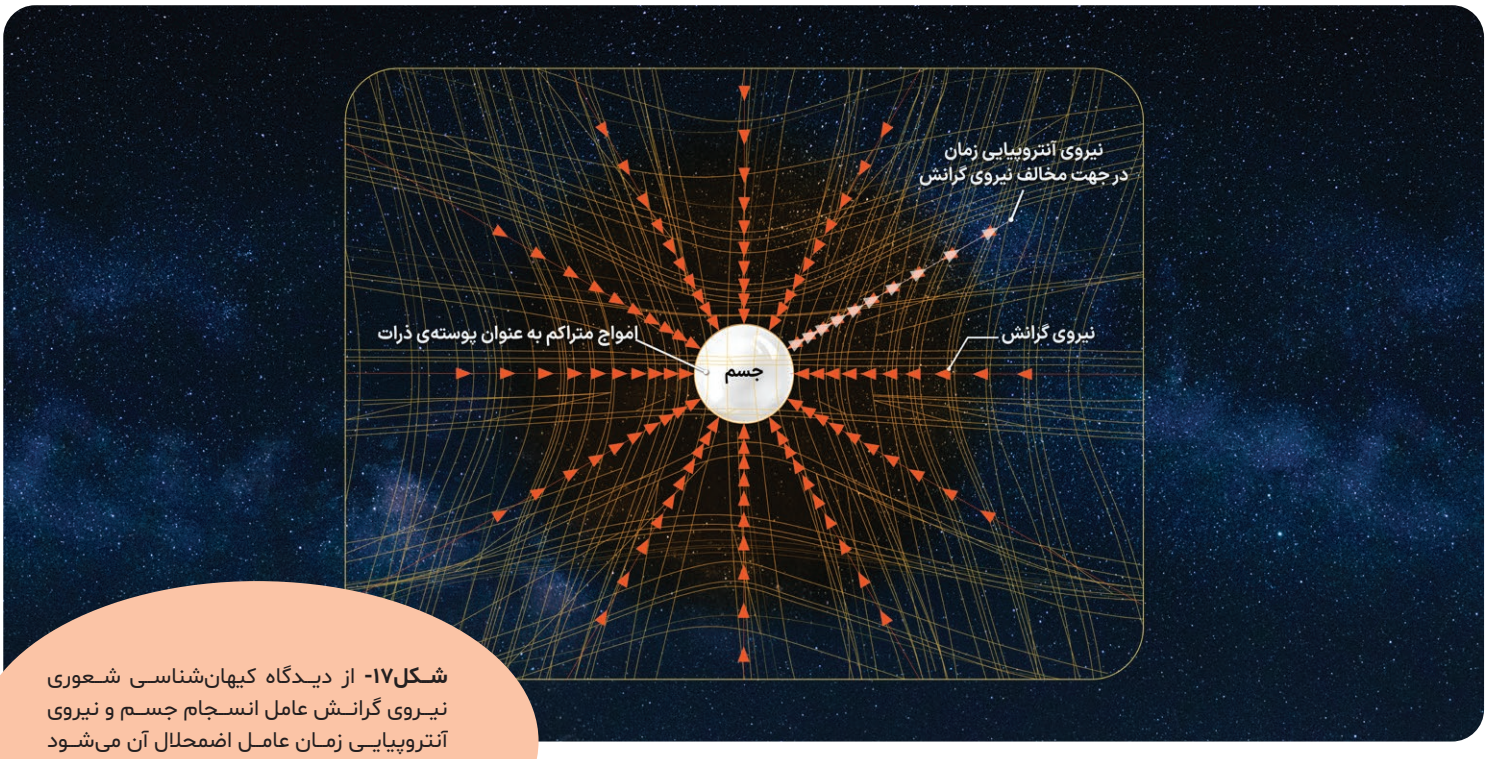
انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای به عنوان یکی از سازوکارهای پیدایش اسپین در چهارچوب نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری»

در بیش‌تر نظریه‌های کلاسیک کیهان‌شناسی، چرخش ذرات و اسپین آن‌ها به‌عنوان ویژگی ذاتی و بنیادی در نظر گرفته می‌شود، بی‌آن‌که منشاء کیهانی آن به‌صورت یکپارچه و فیزیکی تبیین شود. اما در چهارچوب نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» اسپین ذرات نه به عنوان ویژگی تصادفی و صرفا کوانتومی، بلکه پیامدی از چرخش کل کیهان تلقی می‌شود. در این دیدگاه، چرخش پوسته‌ی کیهان موجب پیدایش تکانه‌ی زاویه‌ای کلان‌مقیاس می‌شود؛ تکانه‌ای که به تمامی انواع ماده، انرژی و حتی به خود فضای آزادشده که حاصل تجزیه‌ی پوسته است منتقل می‌شود.

در این مدل، فضا بستری است با ویژگی‌های شبه‌سیال و شبکه‌مانند که در شرایط دینامیکیِ خاص، رفتاری معادل با محیط سیال در انتقال نیرو، توزیع چگالی و انقباض از خود بروز می‌دهد، بی‌آن‌که به‌طور ذاتی دارای ساختاری واقعی از این نوع باشد. از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری، زمان نیز نه به عنوان بُعدی از جهان، بلکه به عنوان نیرویی آنتروپیایی (Entropic Force) در نظر گرفته می‌شود که از ماده‌ی معمولی در فرآیند شکل‌گیری آن پدید می‌آید. این نیرو در جهت مخالف میدان گرانش عمل کرده و با میل ذاتی به واگرایی، موجب از هم‌گسیختگی جرم و تبدیل آن به امواج

غیرمتراکم سازنده‌ی خود و آزادسازی انرژی می‌شود. نتیجه‌ی این فرآیند، کاهش تنش و رهایی فضا از فشار ناشی از جرم است؛ به گونه‌ای که میان انقباض گرانشی و رهایی آنتروپیایی، تعادل دینامیکی در کیهان برقرار می‌شود. به این ترتیب، فضا به عنوان بستر وقایع کیهانی در انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای از پوسته‌ی کیهان به ذرات در حال پیدایش، نقش واسط ایفا می‌کند (شکل ۱۷) و همان‌طور که اشاره شد به این دلیل که این بستر همچون ویژگی‌های سیال‌گونه رفتار می‌کند، طبیعی است که قوانین دینامیک سیالات و گرداب‌ها (Vortex Dynamics) نه‌تنها در مقیاس‌های محلی، بلکه در مورد کل کیهان نیز صادق باشند.

برای تبیین بهتر رفتار چرخشی کیهان، می‌توان از قیاس دینامیکی بهره گرفت. فرض کنیم سیالی مانند آب، در حال چرخش باشد و در



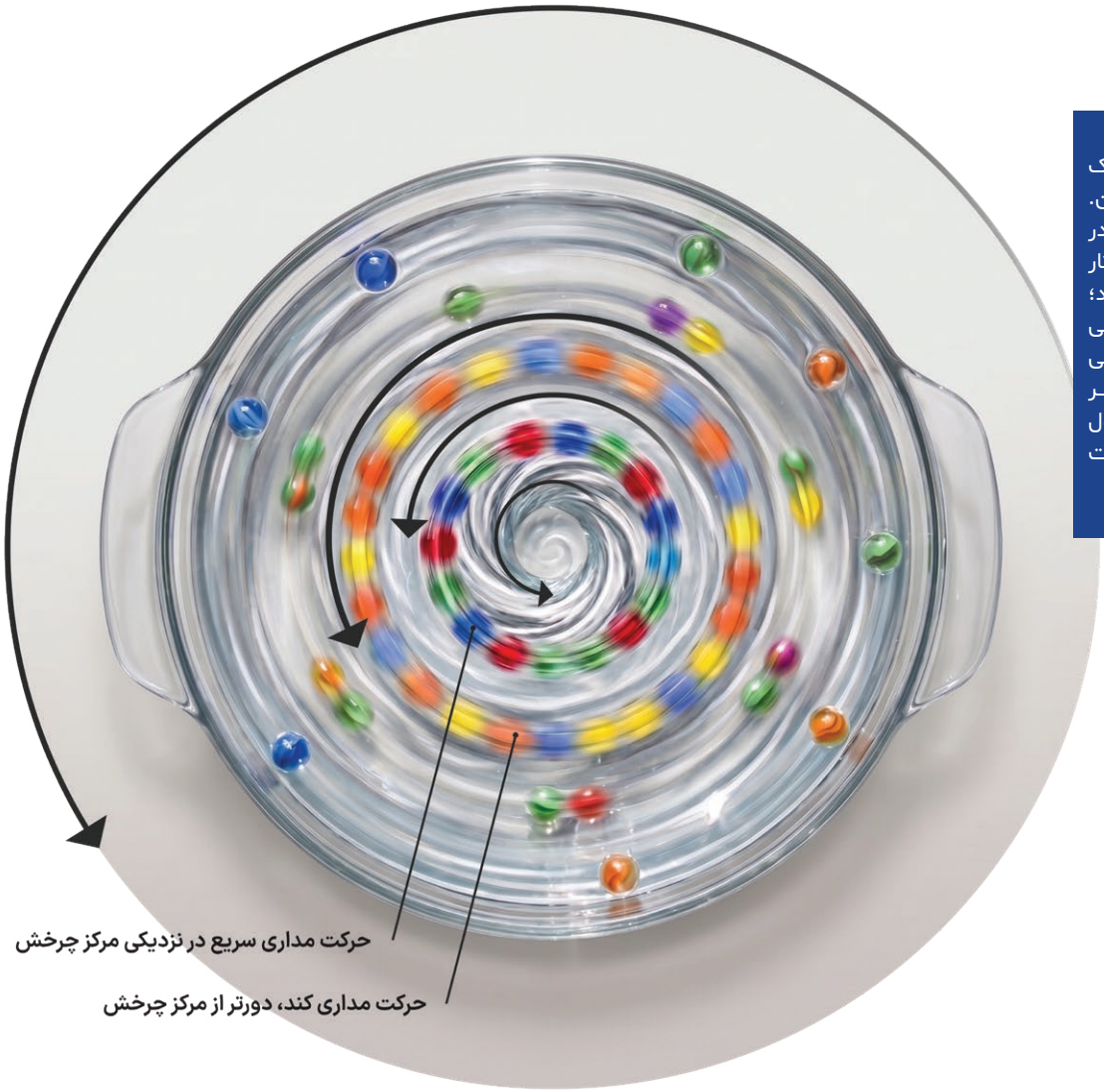
شکل۱۷- از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری نیروی گرانش عامل انسجام جسم و نیروی آنتروپیایی زمان عامل اضمحلال آن می‌شود که هر دو نیرو، هم‌زمان از خود جسم نشات می‌گیرند.

آن گردابی شکل بگیرد. در چنین سیستمی، رفتار سرعت مماسی جریان به نوع گرداب وابسته است. در گرداب آزاد (Free Vortex) که در آن اثر گران‌روی و گشتاور خارجی ناچیز فرض می‌شود، سرعت مماسی با نزدیک‌شدن به محور چرخش گرداب افزایش می‌یابد و به‌طور تقریبی از رابطه‌ی $(V_\theta \propto \frac{1}{r})$ پیروی می‌کند. این رفتار را می‌توان به‌صورت شهودی با مثال اسکیت‌بازی مقایسه کرد که با جمع‌کردن بازوهای خود، ممان اینرسی را کاهش می‌دهد و در نتیجه سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد؛ هرچند در سیالات، این تشبیه صرفا جنبه‌ی قیاسی دارد و منشاء دقیق رابطه به قوانین دینامیک سیالات و پایستگی گردش مربوط است. حال اگر درون این گرداب ذراتی با چگالی کم‌تر از چگالی سیال (مانند تیله‌ها یا شناورها) وجود داشته باشند، آن ذراتْ تحت تاثیر چند سازوکار فیزیکی قرار می‌گیرند.

گرادیان فشار شعاعی ناشی از جریان چرخان تمایل دارد ذرات را به سمت نواحی کم‌فشارتر هدایت کند، در حالی که نیروی شناوری مانع از فرورفتن آن‌ها در عمق سیال می‌شود. علاوه بر این چون سرعت جریان سیال در اطراف ذره یکنواخت نیست، سطح ذره در نواحی مختلف با سرعت‌های متفاوتی از سیال تماس دارد. این اختلاف سرعت باعث می‌شود نیروهای برشی نامتقارنی بر سطح ذره وارد شوند که در مجموع، گشتاور ایجاد کرده و ذره را وادار به چرخش حول محور خود می‌کنند.

بر این اساس، رفتار هر ذره درون گرداب را می‌توان به‌طور هم‌زمان در دو مولفه توصیف کرد: چرخش ذره حول محور خود که ناشی از گشتاورهای برشی سیال است و چرخش مداری مرکز جرم ذره که از الگوی مارپیچی کلی جریان پیرامون محور گرداب، پیروی می‌کند. از دیدگاه فیزیکی، این سیستم نمونه‌ای گویا از حالتی است که در آن دینامیک موضعی ذرات و ساختار کلی میدان جریان، به‌طور هم‌زمان تعیین‌کننده‌ی رفتار حرکت هستند [۴۵] (شکل ۱۸).

www.Journalofcosmointel.com



شـکل۱۸- بازنمایـی تمثیلـی دینامیـک حرکت ذرات در سیسـتم گردابی چرخان. در ایـن تصویـر، ذراتِ قرارگرفتـه در فاصله‌هـای مختلف از مرکز گرداب، رفتار دینامیکـی متفاوتـی نشـان می‌دهنـد؛ به‌گونه‌ای که نه‌تنها دارای اسـپین ناشـی از گشـتاورهای حاصـل تنش‌های برشـی سـیال هسـتند، بلکـه ذرات نزدیک‌تـر بـه مرکز با سـرعت زاویـه‌ای بالاتری حول محـور مرکـزی حرکـت می‌کننـد و ذرات دورتر چرخش کندتری دارند.

در قیـاس بـا مـدل کیهـان کروی، سـیالِ چرخـان معـادل فضـا و تیله‌هـای شـناور معـادل ذراتی‌انـد کـه از درهم‌بافتگـی امواج غیرمتراکـم شـکل می‌گیرنـد. این امـواج که حاصـل تجزیه‌ی پوسـته‌ی کیهان‌انـد در آغاز به‌صـورت مـاده‌ی روشـنِ تاریـک از پوسـته آزاد شـده، به درون فضـای در حال واگرد که آن نیـز به مـوازات از پوسـته آزاد می‌شـود، تزریق می‌شـوند. این مـاده با افزایش حجم کـره‌ی کیهـان از حالـت فشـرده بـه حالـت موجـیِ غیرمتراکـم گـذر می‌کنـد و برخورد و درهم‌بافتگی این امواج در مرحله‌ای که دمای محیـط بـه واسـطه‌ی فاصله‌گرفتـن پوسـته کاهـش می‌یابد، سـبب شـکل‌گیری گرانش محلـی و افزایش ویسـکوزیته‌ی فضـا در آن نواحـی می‌شـود. این ارتباط مسـتقیم میان چگالـی جرم و ویسـکوزیته‌ی فضا، پدیده‌ای است که در مدل کیهان کروی با عنوان انرژی تاریکِ پیرامون ذرات شناخته می‌شود؛ یعنی همـان ناحیه‌ی فضایی با فشـردگی ناچیز که بـه منزله‌ی داربسـت، جهت پایـداری ذرات عمل می‌کند و مانع از فروپاشـی ساختارهای موجی می‌شـود. در این فرآیند، هرچه امواج درهم‌بافته متراکم‌تر شـوند، نیروی گرانشی القاشده به شکل میدان نیز قوی‌تر می‌شود.

از سـوی دیگر، نوسـان جزء جدایی‌ناپذیر تعریـف هر موج اسـت؛ بنابرایـن، فرکانس و انـرژی تنهـا در صورتـی معنـا دارنـد کـه میـدان موجی، دارای تغییرات زمانی باشـد. در نتیجـه، هنگامـی کـه بسـته‌های موجـیِ غیرمتراکـم، وارد فرآینـد درهم‌بافتگی در اثر برخـورد بـا یکدیگـر می‌شـوند، تحـت تاثیر دینامیک بسـتر فضـا که در ایـن چهارچوب رفتـاری شبه‌سـیال دارد و حامـل تکانـه‌ی زاویـه‌ای اسـت، بـه حالت‌هایـی بـا مولفه‌ی زاویه‌ای گذار می‌کنند.

در زبـان کوانتومـی، ایـن امـر بـه معنای شـکل‌گیری حالت‌هایـی اسـت کـه دارای تکانـه‌ی زاویه‌ای‌انـد و سـاختار فـازیِ میدان موجـی به‌صورت پیچشـی سـازمان می‌یابد. منظـور از سـاختار فـازی، الگـوی توزیـع و تغییـر فاز تابـع موج در فضا اسـت؛ الگویی که می‌تواند شـامل پیچش زاویه‌ای فاز حول محـور موثری باشـد؛ بـدون آن‌که مسـتلزم دوران کلاسـیکی ذره دور خـود باشـد. بـه عبارتـی در این توصیف، چرخـش به معنای دوران مکانیکی یک جسـم سـخت نیسـت، بلکـه بـه معنای ظهـور سـاختار زاویـه‌ای در تابـع مـوج و تغییر منظـم فـاز آن در اطراف محور موثر اسـت؛ سـاختاری که می‌تواند به شـکل‌گیری حالت‌هـای پایدارتـر و متراکم‌تر

بینجامد. با افزایش فشردگی بسته‌های موجی در این فرآیند، لایه‌ی متراکم و پوسته‌ای موجی (Wave-Shell Layer) شکل می‌گیرد که در چهارچوب این مدل، مبنای فیزیکی گذار از حالت موجی غیرمتراکم و پراکنده به ساختارهای ماده‌گونه و در نهایت پیدایش ماده‌ی معمولی تلقی می‌شود.

با توجه به این‌که کیهان مطابق SCM، سیستم بسته تلقی می‌شود، اصل پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای اقتضا می‌کند این تکانه در سراسر این سیستم از پوسته‌ی کیهان تا کوچک‌ترین اجزای آن حفظ و منتقل شود. از آن‌جا که فضا نه‌تنها درون ذره، بلکه پیرامون آن نیز به شکل انرژی تاریک حضور دارد در مرز تماس بین فضای فشرده‌ی پیرامونی و پوسته‌ی متراکم امواج، نوعی اصطکاک ظریف اما موثر پدید می‌آید. این اصطکاک حاصل نفوذ تدریجی فضای فشرده به خلل‌وفرج ساختار موجی پوسته‌ی ذرات است؛ فرآیندی که موجب اعمال گشتاور موضعی بر سطح ذره شده و در نتیجه بخشی از تکانه‌ی زاویه‌ای فضا به درون ذره منتقل می‌شود. به این ترتیب، می‌توان منشاء اسپین ذرات را علاوه بر نیروهای حاکم بر آن‌ها به چرخش فضا نیز نسبت داد که خود از چرخش پوسته‌ی کل کیهان سرچشمه می‌گیرد. در نتیجه، تمامی ذرات نه‌تنها دارای اسپین‌اند، بلکه دارای حرکت زاویه‌ای در مقیاس کیهانی نیز هستند. بنابراین، در کل می‌توان گفت هر دو مولفه‌ی اسپین ذرات و حرکت مداری اجرام بازتابی از چرخش پوسته‌ی کیهان و ساختار مارپیچی امواج در فضا هستند. بدین‌سان، از کوچک‌ترین ذرات بنیادین تا بزرگ‌ترین ساختارهای کیهانی همچون اقمار، ستارگان، کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی، همگی در چهارچوب الگوی دینامیکی پیوسته و هم‌ریشه قابل تبیین‌اند که این بر اصل چرخش کل کیهان استوار است.

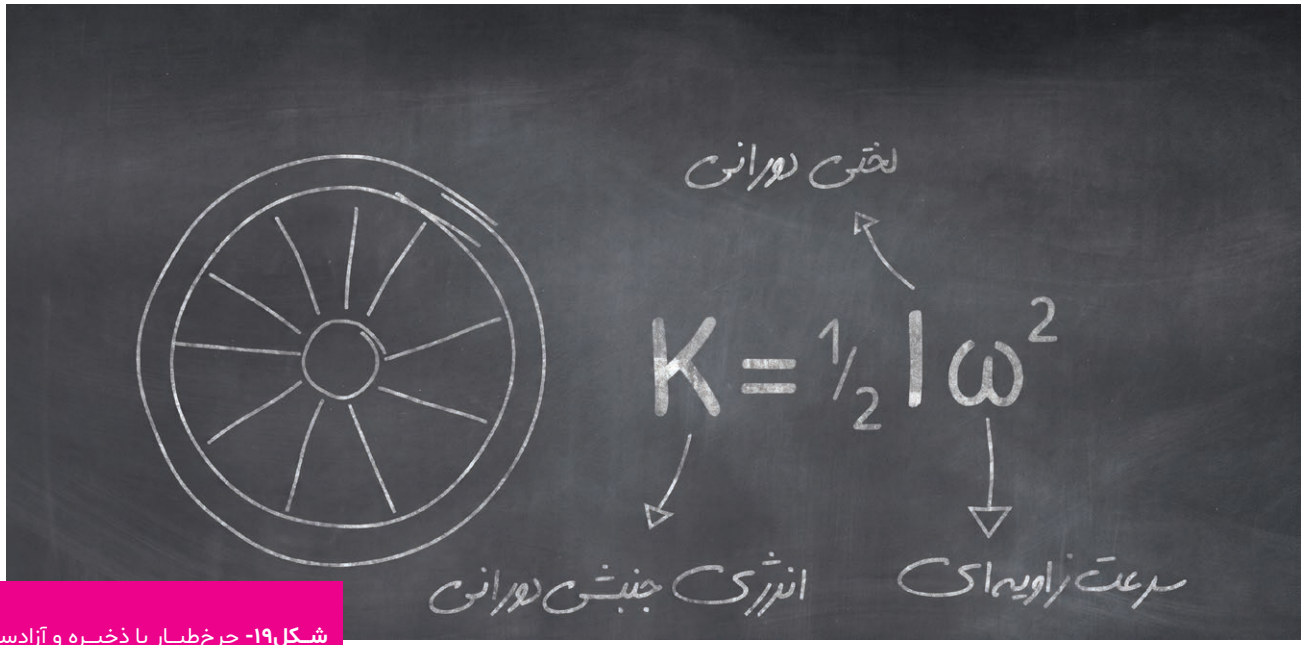
پوسته‌ی کیهان: چرخ‌طیار کیهانی

در نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» چرخش همه‌محوریِ پوسته‌ی کیهان با عملکرد چرخ‌طیار در مکانیک کلاسیک مقایسه می‌شود. چرخ‌طیار وسیله‌ای چرخان است که برای ذخیره‌سازی انرژی دورانی به کار می‌رود و نقش آن حفظ یکنواختی سرعت زاویه‌ای و پایداری سیستم در برابر تغییرات گشتاور و توان است. در ساده‌ترین تعریف می‌توان بیان کرد چرخ‌طیارْ انرژی جنبشی خود را بر اساس رابطه‌ی $E = \frac{1}{2} I\omega^2$ ذخیره می‌کند که در آن E انرژی دورانی، I ممان اینرسی و ω سرعت زاویه‌ای است. چرخ‌طیار در اثر اعمال گشتاور خارجی خالص، شتاب می‌گیرد و انرژی را در قالب چرخش ذخیره می‌کند؛ طوری که هنگام افت توان، همان انرژی ذخیره‌شده را آزاد می‌کند تا پایداری و یکنواختی سیستم حفظ شود. این ویژگی باعث می‌شود جهت چرخش و تکانه‌ی زاویه‌ای کل سیستم در برابر اغتشاش‌ها ثابت باقی بماند [۳۶].

چرخ‌طیارها معمولا از موادی با نسبت استحکام به جرم بالا ساخته می‌شوند تا در برابر تنش‌های ناشی از چرخش سریع مقاومت کنند و دارای سه وظیفه‌ی کلیدی‌اند:

۱- تامین گشتاور پیوسته هنگامی که منبع انرژی ناپیوسته عمل می‌کند.
۲- انتقال آنی انرژی دورانی با آهنگی بیش از توان منبع اولیه.
۳- حفظ جهت و جلوگیری از حرکات ناخواسته از طریق گشتاور لختی (Moment of inertia) بالا.

به همین دلایل، چرخ‌طیارها سیستم‌های پایداری هستند که انرژی را به‌شکلی موثر ذخیره و در لحظه‌ی نیاز آزاد می‌کنند (شکل ۱۹).



شکل۱۹- چرخ‌طیار با ذخیره و آزادسازی انرژی جنبشی، نوسانات گشتاور را در موتور کاهش داده، سرعت چرخش را یکنواخت نگه می‌دارد.

www.Journalofcosmointel.com

بـا درنظر گرفتن این ویژگی‌هـا، در نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» بیان می‌شـود پوسـته‌ی کیهان مانند چرخ‌طیار عظیمی عمل می‌کند و بـا چرخـش همه‌محوری خود، تکانـه‌ی زاویه‌ای را بـه اجزای درونی کیهـان منتقل کرده، موجب پایـداری دورانی و یکنواختی حرکت کل کیهان می‌شـود. از سویی نیز با فراهم‌کردن جریان پیوسته‌ی انرژی زاویـه‌ای، نه‌تنها گشـتاور کل کیهان را حفظ می‌کنـد، بلکه با تثبیت جهت چرخش از حرکات نامتقارن و نوسـانات ناخواسته‌ی پوسته‌ی کیهان جلوگیری می‌کند.

در مـدل کیهـان کـروی، این پوسـته همان‌طور که قبـلا نیز بیان شـد از TAM سـاخته شـده اسـت. مفهومـی که نخسـتین بـار در کیهان‌شناسـی شـعوری معرفی شـد کـه بـه عنـوان بنیادی‌ترین و صلب‌ترین ماده‌ی موجود در کیهان، ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارد کـه آن را بـه محور پایداری و انرژی کیهان تبدیل می‌کند؛ ویژگی‌های همچون:

۱- ماهیـت مطلـق: TAM وحدتـی از «مـاده‌ی روشـن تاریـک» و «مـاده‌ی تاریـک تاریـک» اسـت؛ دو جنبـه‌ای کـه از یکدیگر قابل تفکیـک نیسـتند. ایـن ترکیـب، TAM را بـه صلب‌تریـن و نفوذ ناپذیرتریـن ماده تبدیل کرده و با ایزوله‌کردن کیهان، سیسـتمی بسته تشکیل داده است.

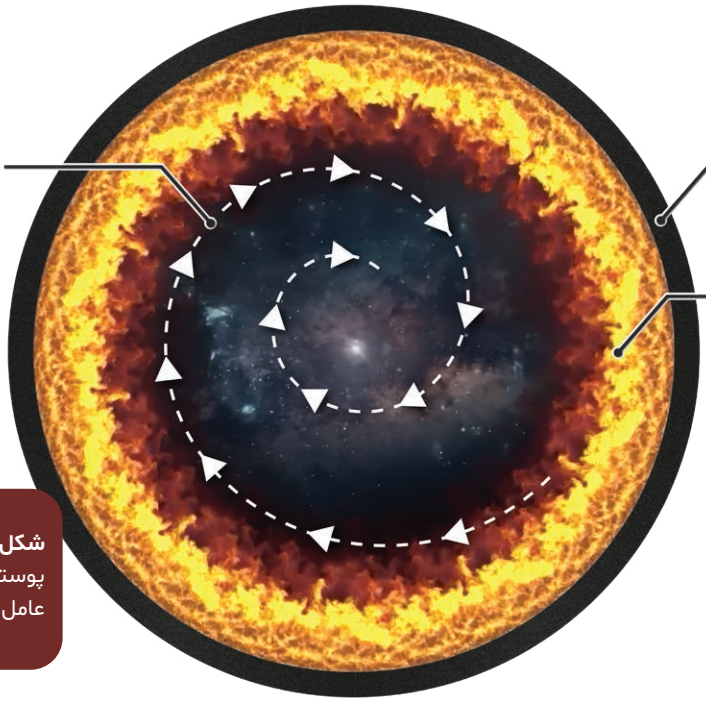
۲- ویژگـی کشسـانی و تجزیه‌پذیـری: TAM در واکنـش به فشـار می‌توانـد کش بیایـد و در اثر تجزیه، انواع مـاده و انرژی از جمله انـرژی تاریـک را آزاد کند و به این دلیـل که انرژی تاریک خاصیت گازگونـه دارد، موجـب افزایش حجم کیهان می‌شـود. درعین‌حال همین خاصیت، سبب ایجاد کشش پوسته‌ای نیز می‌شود.

۳- جـرم و چگالـی بسـیار بـالا: TAM دارای جرم و چگالی بسـیار بالایی اسـت که این امر به آن نیروی گرانش فوق‌العاده شـدید و به تبع آن، نیروی زمان آنتروپیایی عظیمی می‌بخشد.

۴- صلبیت و نفوذ ناپذیری مطلق: ساختار TAM چنان مستحکم اسـت کـه نه‌تنها هیچ‌گونـه خلل و فرجی ندارد، بلکـه در برابر هر گونه تنش نیز بسیار مقاوم است.

در نتیجـه بر پایه‌ی ویژگی‌های بنیادینِ TAM و ماهیت چرخشـی کیهان، می‌توان عملکرد پوسته‌ی کیهان را در قالب اصول زیر تبیین کرد:

- به‌واسـطه‌ی چگالـی مطلـق و اسـتحکام بـالای خـود در برابـر تنش‌هـای چرخـش سـریع مقـاوم اسـت.
- بـه دلیـل لختی دورانـی و تکانه‌ی زاویه‌ای بـالا، انرژی دورانی را به‌صـورت مکانیکـی ذخیـره می‌کنـد و همچنیـن موجـب یکنواختی سرعت چرخش کل کیهان می‌شود.
- با انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای میان پوسته و اجزای آزادشده از آن که شامل انواع ماده، انرژی و فضا است، سبب می‌شود رفتار چرخشی در ذرات و امواج نیز حفظ شود. این انتقال می‌تواند از طریـق نیـروی گرانشـی پوسـته انجـام گیـرد امـا برخلاف نسـبیت عام، گرانـش در مدل کیهان کروی نه به واسـطه‌ی امواج گرانشـی، بلکه از طریق عملکرد پیوسته و غیرفرکانسی ایـن نیـرو یا عملکرد میدانـی در فضا که همراه بـا انقباض و رهایی پی‌درپی آن است، انتقال می‌یابد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- TAM، ماده‌ی مطلق تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی کیهان با توجه به ویژگی‌هایی که دارد، عامل موثر در چرخش کلی کیهان است.

به این‌ترتیب، پوسته‌ی کیهان در چهارچوب SCM همان کارکردی را دارد که چرخ‌طیار در سیستمی مکانیکی ایفا می‌کند؛ به این معنا که به منزله‌ی عنصری عمل می‌کند که انرژی دورانی را در مقیاس کلان ذخیره، منتقل و تثبیت می‌نماید. این فرآیند موجب پایداری چرخش کیهان می‌شود و تکانه‌ی زاویه‌ای را در تمامی سطوح علاوه، از بنیادی‌ترین ذرات تا عظیم‌ترین ساختارهای کهکشانی بر عوامل موضعی موثر حاکم بر خود این اجزاء، منتقل می‌کند. بدین‌سان، سازوکار چرخ‌طیار کیهانی نه‌تنها تبیینی برای یکنواختی و نظم حرکت جهانی ارائه می‌دهد، بلکه نشان می‌دهد چه‌گونه پوسته‌ی چرخان کیهان منبع اصلی تکانه‌ی زاویه‌ای یا گشتاور برای تمام اجزای درون آن است.

رویکردهای نوین در شناسایی چرخش کیهان از منظر کیهان‌شناسی شعوری

در کیهان‌شناسی شعوری، مفهوم «چرخش کیهان» تنها به دوران مکانیکی فضا منتهی نمی‌شود، بلکه نشانه‌ای از پویایی درونی و هماهنگی کل ساختار کیهان نیز است. این دیدگاه با بازنگری در روش‌های نوین و کلاسیک کیهان‌شناسی، به‌ویژه مشاهدات مبتنی بر ناهمسان‌گردی‌های تابش زمینه‌ی کیهانی (CMB)، قطبش نور کهکشان‌ها، هم‌خطی محوری چرخش کهکشان‌ها، ناهنجاری‌های آماری در داده‌های نقشه‌برداری‌های عمیق آسمان و... بر این است که پاسخ تازه‌ای برای این پرسش که «آیا جهان دارای چرخش است یا خیر؟» ارائه دهد. در این چهارچوب، تحلیل مجدد داده‌های رصدی و نتایجی که پژوهش‌گران در سال‌های اخیر منتشر کرده‌اند، مجموعه‌ای از شواهد را مورد توجه قرار می‌دهد که در مدل استاندارد ΛCDM تاکنون به عنوان نویز آماری یا انحراف‌های محلی در نظر گرفته می‌شدند. از منظر این دیدگاه، این شواهد می‌توانند بازتابی از چرخش بنیادی کیهان باشند؛ چرخشی که در مقیاس‌های بزرگ، خود را در جهت‌گیری هم‌بسته‌ی کهکشان‌ها، الگوهای قطبش تابش زمینه‌ی کیهانی و توزیع ناهمسان انرژی تاریک نشان می‌دهد. به این ترتیب، کیهان‌شناسی شعوری نه‌تنها روش‌های مدرن سنجش و مدل‌سازی چرخش کیهان را تفسیر دوباره می‌کند، بلکه آن‌ها را به عنوان نشانه‌هایی از نظم درونی و شعوری در ساختار فضا و زمان معرفی می‌کند؛ نظمی که تا امروز میان داده‌های آماری گسترده‌ی کیهان، اغلب از دید تفسیرهای متعارف پنهان مانده است.

۱- سنجش چرخش کیهان با ژیروسکوپ‌ها و اثر کشش چهارچوب

یکی از روش‌های مدرن برای بررسی امکان چرخش کیهان استفاده از ژیروسکوپ‌های دقیق است؛ ابزارهایی که برای اندازه‌گیری تغییرات زاویه‌ای و نرخ چرخش طراحی شده‌اند. در فیزیک کلاسیک، ژیروسکوپ‌ها صرفا جهت محور اسپین را نسبت به چهارچوب لخت حفظ می‌کنند. اما در نسبیت عام از آن‌ها برای آزمون پدیده‌ای بنیادی‌تر به نام کشش چهارچوب (Frame dragging) استفاده می‌شود [۴۶]. در تعریف این پدیده می‌توان گفت بر اساس نسبیت عام، جسم چرخان سبب بروز مولفه‌های غیرصفر در متریک $(g_{0\varphi})$[۱] می‌شود که به چرخش فضا-زمان تعبیر می‌شود. در واقع، این پدیده که نخستین بار لنز و تیرینگ (Lense-Thirring effect) در سال ۱۹۱۸ آن را پیش‌بینی کردند، نشان می‌دهد فضا-زمان در اطراف اجسام پرجرم به‌صورت مارپیچی پیچیده می‌شود و این پیچش بر مسیر حرکت ذرات و نور تاثیر می‌گذارد. به عبارتی به بیان ریاضیاتی، خطوط ژئودزیک اطراف جرم چرخان مانند سیاه‌چاله‌ی کر (Kerr black hole) دارای مولفه‌های زاویه‌ای اضافی‌اند و مسیر ذرات به‌صورت پیچشی در مختصات فضایی ظاهر می‌شود. حال اگر خود کیهان دارای چرخش باشد، انتظار می‌رود چنین اثراتی در مقیاس‌های بسیار بزرگ نیز هرچند با شدتی ناچیز آشکار شوند. در واقع، این انتظار منطقی از اصول مدل‌های چرخان گودل و Bianchi VIIh [۲] است که نشان می‌دهند در صورتی که کل فضا-زمان دارای چرخش باشد، بردارهای کشش چهارچوب در مقیاس کیهانی نیز ظاهر می‌شوند؛ البته شدت آن محدود است.

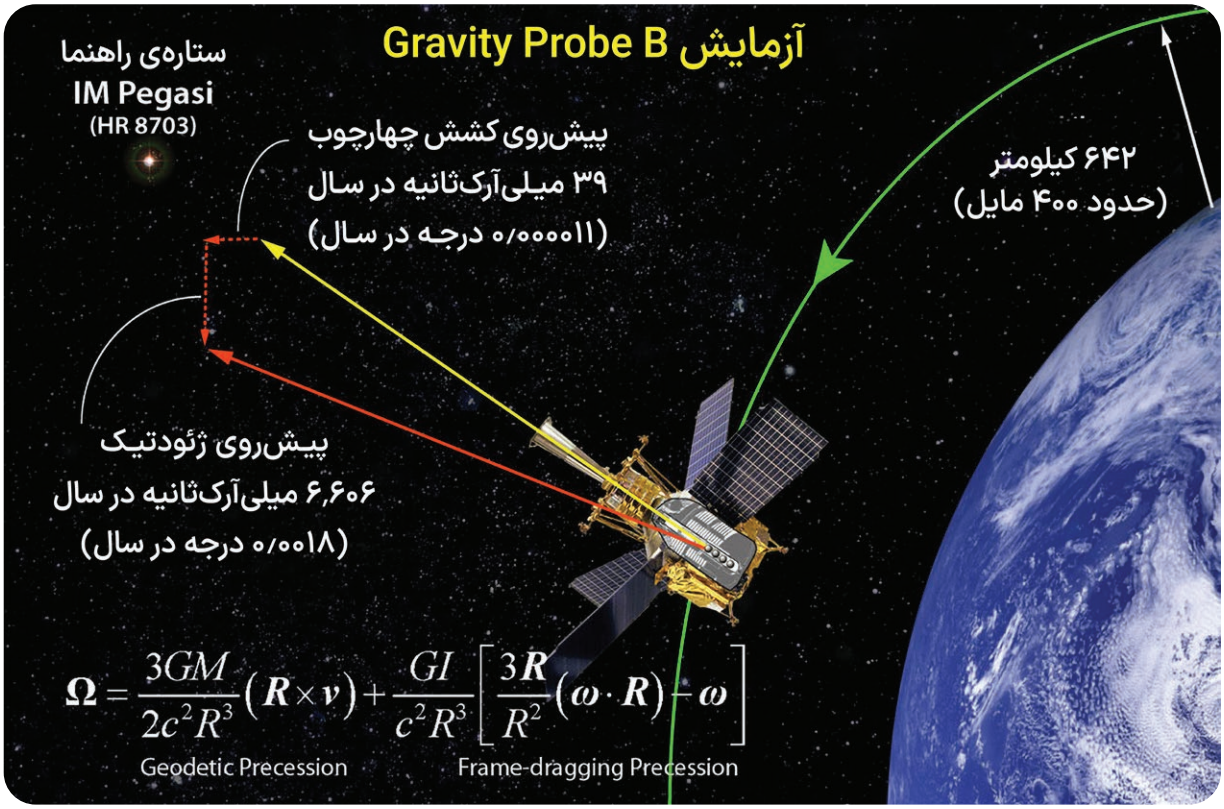
۱- $g_{t\phi} = g_{0\phi} = -\frac{2GM\,ar\sin^2\theta}{\Sigma c^2}$ این مولفه باعث «پیچش فضا-زمان» می‌شود. اگر a=0 باشد (به معنای این‌که جرم نچرخد) این مولفه صفر می‌شود و متریک به حالت شوارتزشیلد (غیرچرخان)برمی‌گردد.

۲- اندیس h شدت انحنا یا vorticity در فضا-زمان را تعیین می‌کند.

www.Journalofcosmointel.com

۱-۱- کاربرد ژیروسکوپ‌ها در سنجش فضا-زمان چرخان

ژیروسکوپ‌های فوق دقیق توانایی آن را دارند که تغییرات بسیار کوچک در جهت‌گیری محوری را آشکار کنند. هنگامی که ژیروسکوپ در میدان گرانشی چرخان قرار بگیرد، محور چرخش آن دچار «تقدم محوری» (Precession) می‌شود که بازتاب مستقیم کشش چهارچوب است. این تغییر زاویه‌ای را می‌توان در حد میلی‌ثانیه‌ی قوسی در سال اندازه گرفت. یکی از آزمایش‌های شاخص در این زمینه، ماهواره‌ی Gravity Probe B بود که ناسا سال ۲۰۰۴ آن را پرتاب کرد و چهار ژیروسکوپ فوق دقیق را برای آزمون مستقیم پیش‌بینی‌های نسبیت عام در مدار زمین قرار داد (شکل ۲۱). نتایج نهایی آن نیز در *Physical Review Letters* [۴۶] منتشر شد و کشش چهارچوب را با دقتی در حد ۱۹٪ نسبت به مقدار نظری تایید کرد. این نتایج، صحت بنیادی‌ترین پیش‌بینی‌های اینشتین را نشان داد و از لحاظ نظری چهارچوبی برای تعمیم اثرات چرخش محلی به مقیاس‌های کیهانی فراهم کرد.



شکل ۲۱- Gravity Probe B آزمون مستقیم لنز-تیرینگ در مدار زمین که نشان‌دهنده‌ی اثرات ژئودتیک و کشش چهارچوب پیش‌بینی‌شده‌ی اینشتین است و برای محاسبه‌ی آن‌ها از معادله‌ی شیف استفاده می‌شود.

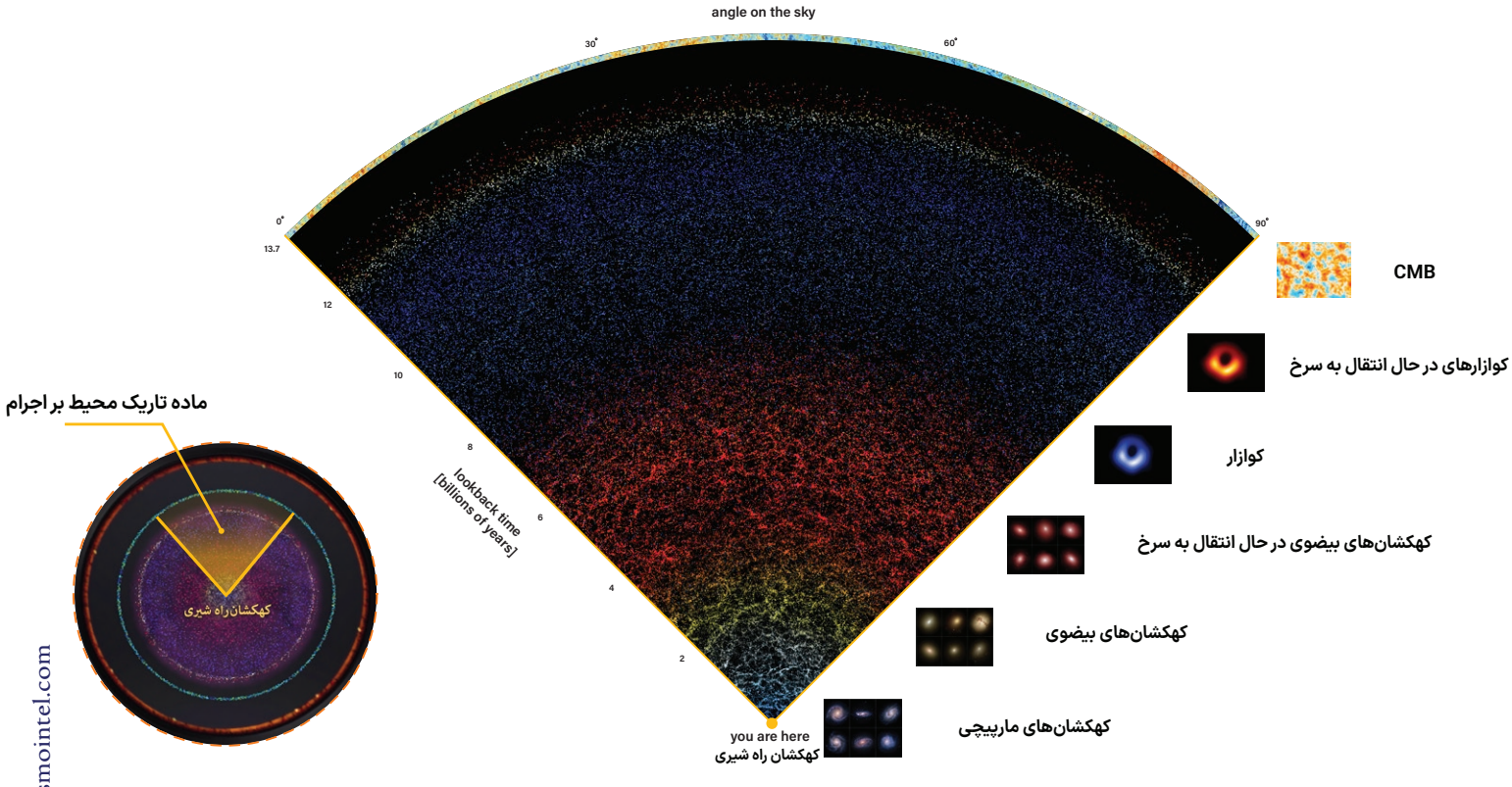
Credit: NASA / Gravity Probe B Team

۲-۱- پیامدهای کیهان‌شناختی

در ادامه، پژوهش‌های نظری متعددی کوشیده‌اند اثرات مشابه را برای بررسی چرخش جهانی فضا-زمان به‌کار بگیرند. میان این پژوهش‌ها، مطالعه‌ی کلاسیک گودل (۱۹۴۹) نخستین راه حل صریح چرخان معادلات اینشتین را ارائه داد و مسیر را برای بررسی مدل‌های چرخشی Bianchi VIIh و Bianchi V گشود [۴۷]. در دهه‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در نشریه‌های تخصصی‌ای همچون *Astronomy & Astrophysics* و برخی مجله‌های فیزیک نظری در خصوص مدل‌های چرخان و ناهمسان‌گردی داده‌های CMB منتشر شده‌اند که به تحلیل پیامدهای این نوع مدل‌ها بر تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی و توزیع کهکشان‌ها پرداخته‌اند. داده‌های دقیق ماهواره‌های WMAP و Planck نیز برای جست‌وجوی ردپای چرخش جهانی در قالب مدل‌های Bianchi VIIh استفاده شده‌اند. نتایج داده‌های ماموریت پلانک (۲۰۱۵) (The Planck Mission 2015) نتوانست هیچ شواهد قطعی‌ای از چنین چرخشی پیدا کند و محدودیت‌های بسیار دشواری بر دامنه‌ی Vorticity کیهانی ($\Omega_\omega < 10^{-9}$) وضع کرد [۴۸]. بعدها تحلیل مدل مستقل‌تر در *Physical Review Letters* این نتیجه را تقویت کرد و نشان داد جهان در حد حساسیت فعلی مشاهداتْ ایزوتروپیک است و اثری از چرخش جهانی در داده‌های CMB دیده نمی‌شود [۴۹]. به این ترتیب، مطالعات رصدی موجود نشان می‌دهند هر چند ژیروسکوپ‌ها ابزارهای کارآمدی برای بررسی کشش چهارچوب در مقیاس‌های محلی‌اند اما در مقیاس کیهانی، اثرات چرخش جهانی -اگر وجود داشته باشند- بسیار ضعیف‌تر از حد آشکارسازی فعلی هستند.

۱-۳- دیدگاه کیهان دوار طاهری در تفسیر ژیروسکوپی چرخش کیهان

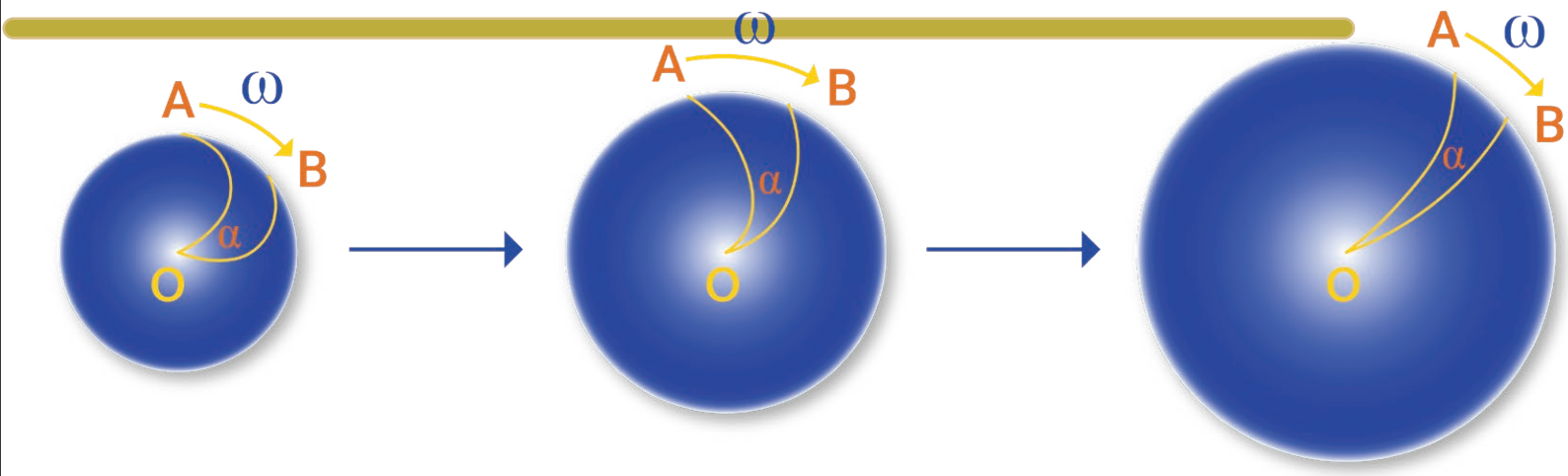
با وجود ارزش تجربی روش بالا، نظریه‌ی کیهان دوار طاهری، زاویه‌ی دید متفاوت و بنیادین‌تری ارائه می‌دهد. در این چهارچوب، مشاهده‌ی مستقیم چرخش کیهان از طریق ژیروسکوپ‌ها یا آزمون‌های مشابه به دلایل هندسی و مقیاسی امکان‌پذیر نیست؛ طوری که بر اساس این نظریه، جهان ساختاری کروی و بسته دارد که در آن تمام اجزاء از پوسته تا مرکز در چرخشی پایدار در حال حرکت‌اند. حال این‌که موقعیت ما به عنوان ناظر نیز در نواحی نزدیک به مرکز این کره‌ی عظیم سبب می‌شود اندازه‌گیری‌های ژیروسکوپی، صرفا تغییرات محلی را ثبت کنند، نه چرخش کلی فضا. افزون بر این، به سبب وجود ویسکوزیته‌ی بسیار بالای فضا که در این نظریه به عنوان «ماده‌ی‌تاریک» تفسیر می‌شود، رشته‌های شبکه‌ی کیهانی (Cosmic Web Filaments) در مقیاس عظیم، چرخشی تقریبا یکپارچه دارند. این ویژگی مانند نقش ماده‌ی تاریک در کهکشان‌ها است که از افت آشکار سرعت چرخش ستارگان بر حسب دور شدن از مرکز کهکشان جلوگیری می‌کند؛ به بیان دیگر، آشکارسازی مستقیم از طریق ژیروسکوپ‌ها یا ابزارهای مشابه نیازمند بازه‌های زمانی در مقیاس میلیاردها سال خواهد بود و هرگونه تلاش برای سنجش سرعت زاویه‌ای ساختارهای بزرگ‌مقیاس از نظر تجربی با محدودیت شدید روبه‌رو است (شکل ۲۲).



شکل ۲۲- تمامی کهکشان‌های توزیع‌شده در کیهان مانند ستارگان تشکیل دهنده‌ی یک کهکشان، به عنوان جرم واحد کیهانی دارای ماده‌ی تاریک عظیم در اطراف خود است که این امر منجر به هماهنگی در جهت حرکت اجزاء، درون کره‌ی عظیم کیهان می‌شود.

Backgroung image Credit: by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

www.Journalofcosmointel.com

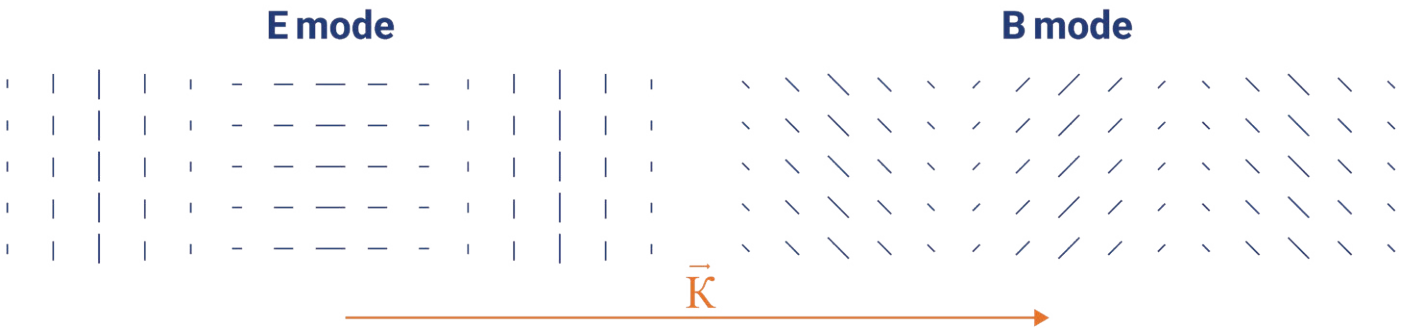


از طرفی در این دیدگاه، با وجود افزایش حجم کیهان، تکانه‌ی زاویه‌ای کل برای آن ثابت می‌ماند و با افزایش شعاع، سرعت زاویه‌ای کاهش می‌یابد. به عبارتی پوسته‌ی کیهان با سرعت زاویه‌ای کم‌تر به چرخش خود ادامه می‌دهد (شکل ۲۳). این چرخش تا زمان واگرد نهایی کیهان ادامه می‌یابد و پس از رسیدن فضا به حداکثر بازشدگی نیز منجر به بازگشت چرخشی کیهان می‌شود؛ منظور از «بازگشت کیهان»، مرحله‌ای است که پس از رسیدن کیهان به حداکثر حجم خود رخ می‌دهد؛ در این مرحله، بر اثر پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای در مقیاس کیهانی و نیز تجزیه‌ی کامل همه‌ی اجرام به امواج غیرمتراکم و تشکیل امواج مطلق و بازگشت آن‌ها به درون کره‌ی کیهان با برخورد به یکدیگر در نواحی مرکزی این کره‌ی عظیم منجر به ایجاد مجدد میدان گرانشی می‌شوند. در نتیجه، روند تکاملی کیهان از حالت واگرد به سوی فاز همگرایی و رمبشی[1] که همان بازگشت کیهان است تغییر می‌کند و در نهایت، زمینه برای شکل‌گیری یک «سیاهچاله‌ی کیهانی» جدید فراهم می‌شود. مطابق این چهارچوب، مکان دقیق تشکیل سیاهچاله‌ی کیهانی در چرخه‌ی جدید از پیش تعیین‌شده نیست و با عدم قطعیت همراه است. از طرفی، با توجه به ابعاد کیهان که قطر آن حدود ۹۳ میلیارد سال نوری برآورد شده، دوره‌ی کامل یک چرخش کیهانی می‌تواند میلیاردها سال طول بکشد. از این رو، به دلیل بازه‌ی زمانی کوتاه تمدن انسانی، رصد مستقیم چنین چرخشی با ژیروسکوپ‌ها به‌صورت آشکار عملا غیرممکن است. بنابراین، کیهان‌شناسی شعوری در نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری» تاکید می‌کند باید به تحلیل پویایی هماهنگ ساختارهای کلان (large-scale coherent motions) که همان رفتار چرخش منظومه‌ای غیرگرانشی کهکشان‌ها در مقیاس‌های بزرگ است پرداخت؛ نه به سنجش چرخش‌های محلی.

۲- الگوی قطبش B-mode در فوتون‌های تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی

یکی از روش‌های مهم برای بررسی این‌که آیا جهان دارای چرخش است یا خیر، مطالعه‌ی تابش پس‌زمینه‌ی مایکروویو کیهانی است. این تابش از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج، قدیمی‌ترین پرتو ثبت‌شده از جهان اولیه است که از سطح آخرین پراکندگی یعنی حدود ۳۸۰,۰۰۰ سال پس از مه‌بانگ به ما رسیده. بنابراین، نزدیک‌ترین چهارچوب مرجع جهانی و همسان‌گرد به شمار می‌رود که می‌توان حرکت‌ها یا چرخش‌های بزرگ‌مقیاس را نسبت به آن سنجید. در صورتی‌که فضا دارای چرخش یا پیچش هندسی باشد، انتظار می‌رود این ویژگی در قطبش CMB اثر بگذارد و در نقشه‌ها، الگویی ویژه به نام «قطبش حالت B» (B-mode polarization) ایجاد کند [۵۰]. این الگوها ساختاری چرخشی یا مارپیچی در جهت‌گیری بردارهای قطبش دارند و در مقابلِ «قطبش حالت E» (E-mode polarization) که تقارن الکتریکی دارد، به‌صورت شبه‌مغناطیسی ظاهر می‌شوند. از نظر هندسی E-mode دارای قطبشی است که بردارهای آن موازی یا عمود بر گرادیان دما هستند، در حالی که B-mode دارای ساختار چرخشی با انحراف زاویه‌ای تقریبا ۴۵ درجه است. این دو نوع حالت (Mode) از تجزیه‌ی تانسوری میدان قطبش روی کره‌ی آسمان به دست می‌آیند. شدت این قطبش‌ها تنها در حد چند میکروکلوین یعنی کم‌تر از یک ۰/۰۱٪ از کل شدت تابش پس‌زمینه‌ی کیهان با دمای میانگین حدود ۲/۷ کلوین است [۵۱] (شکل ۲۴).

۱- رمبش کیهان در چهارچوب SCM با توجه به تعریف بیان‌شده با مفهوم رمبش در چهارچوب ΛCDM متفاوت است. به این‌صورت که در مدل استاندارد رمبش به سناریویی گفته می‌شود که سرعت انبساط کیهان به‌تدریج کاهش پیدا می‌کند و در نهایت به صفر می‌رسد. سپس کیهان وارد فاز انقباض سراسری می‌شود که در پایان، همه‌ی ماده و انرژی دوباره به حالت بسیار چگال و داغ فرو می‌ریزد. اما در سناریوی مدل کیهان کروی در نهایت واگرد فضا، کیهان نه دارای جرم و نه گرانش و نه زمان (نیروی زمان آنتروپیایی) است. بنابراین، روند بازگشت کیهان با سازوکاری متفاوت صورت خواهد گرفت.



شکل ۲۴- الگوی قطبش E-mode با بردارهای موازی یا عمود بر گرادیان دما و B-mode با ساختار چرخشی و انحراف زاویه‌ای ۴۵ درجه

مدل استانداردِ ΛCDM دو منبع اصلی برای ایجاد B-mode در تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی در نظر می‌گیرد:

۱- امواج گرانشی اولیه (Primordial Gravitational Waves) که در دوران تورم کیهانی ایجاد شده‌اند. این امواج فضا-زمان را در مقیاس‌های بسیار بزرگ خم می‌کنند و ردپایی تانسوری به‌صورت B-mode در CMB باقی می‌گذارند (در فیزیک مدرن و مدل استاندارد ΛCDM، گرانش به شکل موج منتشر می‌شود و فضا و زمان به‌صورت درهم‌تنیده در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که در کیهان‌شناسی شعوری گرانش دقیقا نیروی نشأت‌گرفته از ماده‌ی باریونی با عملکرد غیرفرکانسی یا غیرموجی که در فضا به‌صورت خطی انتشار می‌یابد در نظر گرفته می‌شود و زمان نیز نیرویی آنتروپیایی است که بر خلاف گرانش عامل اضمحلال ماده‌ی باریونی و مستقل از فضا است).

۲- اثر عدسی‌گونه‌ی گرانشی (Gravitational Lensing) که موجب می‌شود الگوهای E-mode هنگام عبور از نواحی پرجرم به B-mode تبدیل شوند [۵۲].

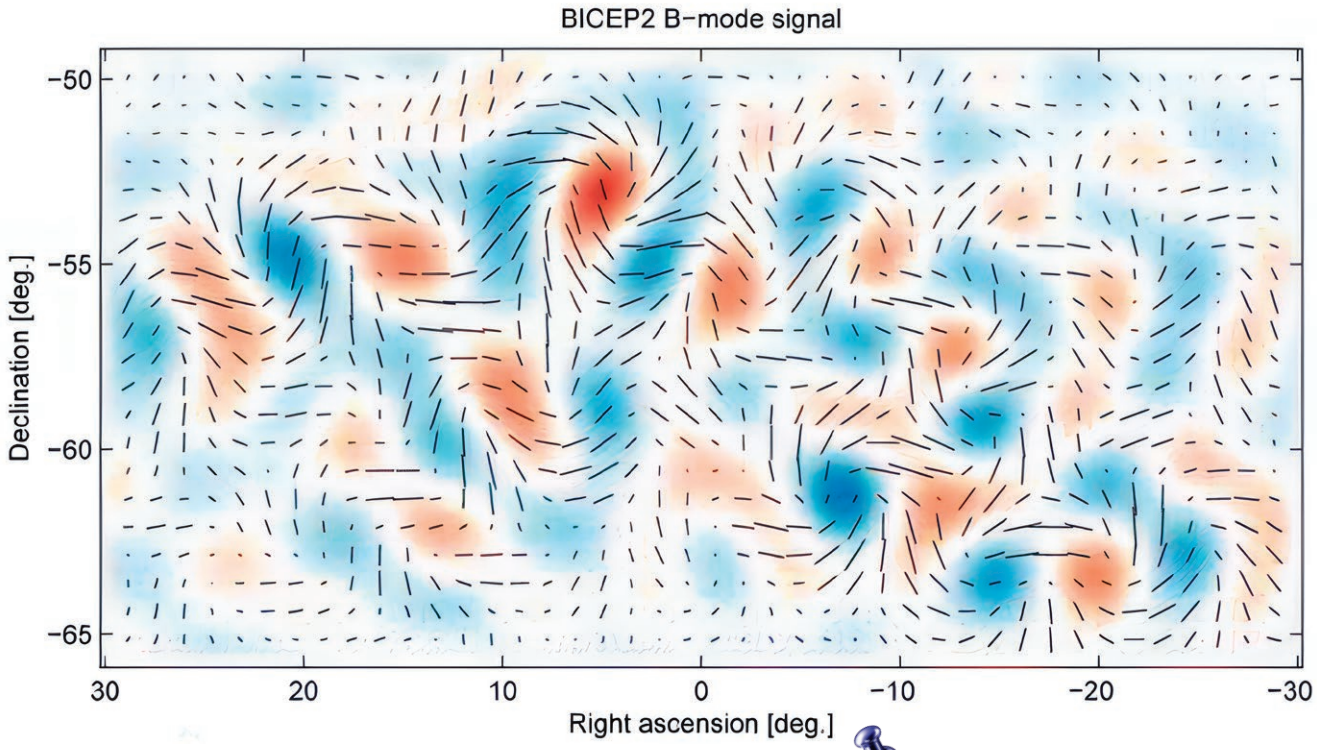
علاوه بر این دو، نه‌تنها منابع محلی مانند هم‌ترازی دانه‌های غبار میان‌ستاره‌ای در میدان‌های مغناطیسی کهکشان می‌توانند سیگنال‌های B-mode کاذب ایجاد کنند، بلکه به گفته‌ی برخی کیهان‌شناسان، این قطبش می‌تواند نشانی از پیچش فضا در اثر چرخش کیهان باشد.

نتیجه‌ی آزمایش BICEP2 در سال ۲۰۱۴ در قطب جنوب نشان داد برای نخستین‌بار الگوهای قطبش B-mode را در مقیاس‌های زاویه‌ای (Degree angular scale) حدود یک تا چند درجه روی آسمان (یعنی در اندازه‌هایی هم‌تراز با قطر قرص ماه در آسمان) شناسایی کرده است [۵۳]. این یافته ابتدا به عنوان نشانه‌ای از امواج گرانشی اولیه و تایید مستقیم نظریه‌ی تورم تعبیر شد اما بعدها با داده‌های پلانک نشان داده شد بخش عمده‌ای از این سیگنال از گرد و غبار کهکشانی ناشی شده است، نه امواج گرانشی [۵۴]. درست است که از آن زمان، آزمایش‌های متعددی در SPT pol، POLARBEAR و BICEP/Keck Array (South Pole Telescope Polarimeter) کوشیده‌اند با تفکیک دقیق‌تر میان سیگنال‌های پیش‌زمینه و CMB، منشاء واقعی مولفه‌های B-mode را شناسایی کنند و رصدخانه‌ی فضایی هرشل (Herschel) نیز با داده‌های فروسرخ خود در آشکارسازی الگوهای گرد و غبار کهکشانی و مدل‌سازی تصحیح پیش‌زمینه‌ها نقش کلیدی‌ای داشته است، با این حال، مقوله‌ی چرخش کیهان اولیه همچنان از دیدگاه‌های نظری و تحلیلی به قوت خود باقی است؛ زیرا اگرچه داده‌های BICEP2 و Planck منشاء گرد و غبار را در سیگنال B-mode تایید کردند اما هیچ‌یک از این نتایج وجود احتمالی چرخش (vorticity) ذاتی در فضا را به‌طور قطعی رد نمی‌کنند. از این رو، بررسی اثرات چرخش جهانی بر قطبش CMB، هم در قالب جست‌وجوی مولفه‌های B-mode و هم در الگوهای هم‌خطی محوری کهکشانی، یکی از مسیرهای بازپژوهش کیهان‌شناسی مدرن باقی مانده است (شکل ۲۵).

در جمع‌بندیِ آشکارسازی‌های مربوط به این الگو از دیدگاه محققان و کیهان‌شناسان، می‌توان گفت الگوهای B-mode در CMB می‌توانند حاصل یکی از چند فرآیند فیزیکی باشند:

۱- چرخش یا پیچش بزرگ‌مقیاس فضا-زمان (اگر وجود داشته باشد).
۲- اثر عدسی گرانشی که E-mode را به B-mode تبدیل می‌کند.
۳- هم‌ترازی مغناطیسی دانه‌های غبار میان‌ستاره‌ای.
۴- امواج گرانشی اولیه‌ی ناشی از تورم کیهانی.

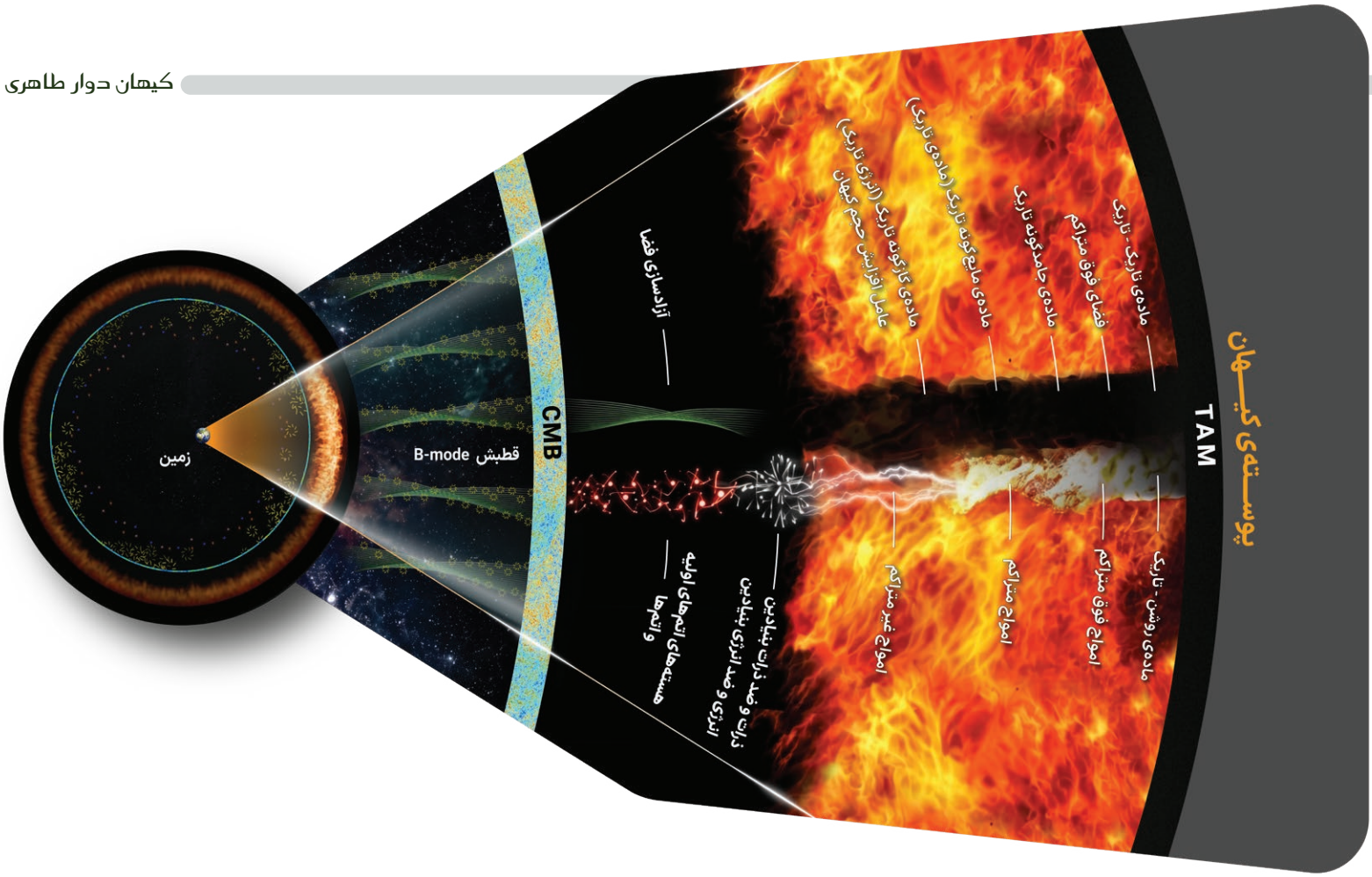
www.Journalofcosmointel.com



شـکل ۲۵- الگـوی قطبـش تابـش پس‌زمینـه‌ی کیهانی (CMB) ناشـی از پراکندگـی تامسـون در دوران بازترکیب، شامل مولفه‌های E-mode و B-mode بـا دامنـه‌ای در حـد چند میکروکلوین است.

۲-۱- تابش پس‌زمینه‌ی مایکروویو کیهانـی و الگوهـای B-mode در SCM

بر اسـاس چهارچوب ΛCDM، فوتون‌های CMB از آخریـن سـطح پراکندگـی در دوران اولیـه‌ی کیهان جدا شـده، پس از طی حدود ۱۳/۸ میلیارد سـال امـروزه با دمای میانگین ۲/۷۲۵ کلوین و طیف تقریبی جسـم سـیاه بـه مـا می‌رسـند [۵۵]. اما در SCM تفسـیر متفاوتـی ارائـه می‌شـود. در ایـن دیـدگاه، CMB بازمانـده‌ای از زمان‌هـای آغازیـن کیهـان نیسـت، بلکه حاصـل پویایی مداوم «پوسـته‌ی چرخان کیهان کروی» است. این پوسـته در اثر احتراق‌های پیوسـته و فرآیند تجزیه‌ی TAM، در حال آزادسـازی انواع ماده و انـرژی بـه شـکل مولفه‌هـای غیرشـعاعی اسـت. در نتیجـه بـر ایـن اسـاس، CMB تابشـی خاموش‌شـده از گذشـته نیسـت، بلکـه پرتـوِ زنده و دائمی از فعـل و انفعالات سـطح داخلی پوسته به شـمار می‌آید که در طـول مسـیر خود تحـت تاثیـر نواحـی‌ای با چگالی متفاوت فضا دچار تغییراتی می‌شود. بـه عبارتـی CMB در هر لحظـه، تحت تاثیر حرکت چرخشـی پوسته انتشـار می‌یابد. در نتیجـه، مجموعه‌ی فوتون‌هـا از همان مبداء تـا آشکارسـازی در موقعیت کـره‌ی زمین که نزدیـک بـه نواحـی مرکـزی کیهان اسـت در معـرض اثر تکانـه‌ی زاویه‌ای منتقل‌شـده به درون کیهـان قـرار می‌گیرنـد. ایـن تکانـه‌ی زاویـه‌ای کـه همـراه بـا پیچش فضا اسـت، می‌تواند موجب پیدایش مولفه‌های قطبش در آن‌هـا از نـوع B-mode شـود؛ پدیـده‌ای کـه بر اسـاس داده‌های کنونـی در طول موج مایکروویـو مشـاهده می‌شـود. بنابرایـن در حالـی کـه مـدل اسـتاندارد کیهان‌شناسـی منشـاء B-mode را در عدسـی‌های گرانشـی، امواج گرانشـی تورمـی و همچنین گرد و غبار کهکشان‌ها جسـت‌وجو می‌کند، مدل کیهان کروی با نقض دوران تورم که دلایل آن به‌طور جداگانـه در مبحثـی جداگانـه مرود بررسـی قـرار خواهـد گرفت، ایـن مولفه را عـلاوه بر عدسی‌های گرانشـی و گرد و غبار کهکشانی، حاصل احتراق و آزادسازی انواع ماده و انرژی به شـکل مولفه‌های غیرشـعاعی و در نتیجه انتقـال تکانـه‌ی زاویه‌ای از پوسـته‌ی در حال تجزیـه و چرخـش به مجموعـه‌ی فوتون‌های منتشرشده در فضا در نظر می‌گیرد. بنابراین از این دیدگاه، فرآیندهای دینامیکی پوسـته و عملکـرد پیچشـی فضای ناشـی از چرخش همه‌محـوری، عامـل حفظ سـاختار قطبی در مقیاس‌های بزرگ هستند (شکل ۲۶).



شکل ۲۶- نمای شماتیکی از تفسیر تابش پس‌زمینه‌ی ریزموج کیهانی در چهارچوب مدل کیهان کروی که کره‌ی زمین در نواحی مرکزی آن قرار دارد. در این تصویر، احتراق پوسته‌ی چرخان کیهان به عنوان منبع فعال فوتون‌های CMB نمایش داده شده است که در حین انتشار در بستر فضای پیچش‌یافته، تحت میدان‌های القایی ناشی از چرخش همه‌محوری پوسته قرار می‌گیرند. خطوط زرد حلقوی، انتقال موثر تکانه‌ی زاویه‌ای و ایجاد الگوهای قطبش چرخشی (B-mode) را به‌صورت مفهومی در مجموعه‌ی فوتون‌ها نشان می‌دهد؛ به این معنا که در SCM، مولفه‌ی B-mode علاوه بر منشاءهای پذیرفته‌شده‌ای همچون عدسی گرانشی و گرد و غبارهای کهکشانی، می‌تواند به برهم‌کنش دینامیکی بین پوسته‌ی در حال تجزیه که با آزاد سازی فضا، تکانه‌ی زاویه‌ای را به آن و اجزای درون کیهان (از جمله مجموعه‌ی فوتون‌های CMB) انتقال می‌دهد نسبت داده شود.

۲-۲- اثر عدسی گرانشی

پدیده‌ی عدسی گرانشی در کیهان‌شناسی استاندارد به انحراف مسیر نور هنگام عبور از پتانسیل‌های گرانشی ساختارهای پرجرم اطلاق می‌شود؛ پدیده‌ای که به‌طور مستقیم از نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین نتیجه می‌شود و امروزه در ساختارهای بزرگ‌مقیاس (Large-Scale Structure) و نیز در نقشه‌های دما و قطبشِ CMB به‌طور تجربی اندازه‌گیری شده است [۵۶], [۵۷], [۵۸]. در چهارچوب مدل ΛCDM، عدسی گرانشی با نقشه‌برداری مجددِ مکانی (Remapping) میدان قطبش، موجب تبدیل بخشی از الگوهای قطبش از نوع E به مولفه‌های B می‌شود؛ پدیده‌ای که نقش غالب را در طیف توان زاویه‌ای (C_ℓ^{BB})[۱] در مقیاس‌های زاویه‌ای کوچک و میانی ایفا می‌کند [۵۶], [۵۸], [۵۹].

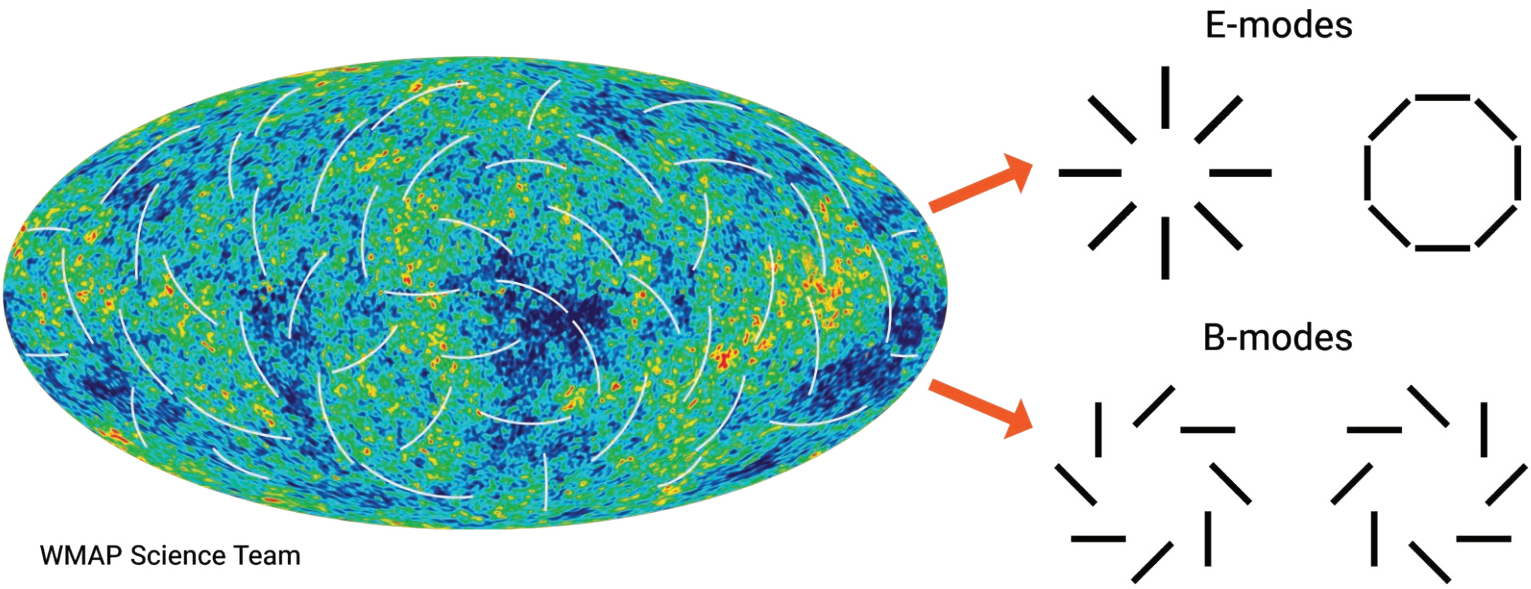
در توصیف متداول کیهان‌شناسی، B-mode ناشی از عدسی گرانشی، از بازآرایی هندسی الگوهای قطبش به‌وجود می‌آید، نه از چرخش واقعی بردار قطبش فوتون‌ها در طول مسیر انتشار. این تمایز از لحاظ نظری و در تحلیل‌های مدرن قطبش تابش پس‌زمینه‌ی ریزموج کیهانی به‌طور کامل تثبیت شده است [۵۸].

درصورتی که این پدیده در چهارچوب مدل پیشنهادی کیهان کروی به منشاءهای گوناگونی برمی‌گردد. در این مدل، اثر عدسی نه فقط نتیجه‌ی خمیدگی مسیر نور در میدان گرانشی، بلکه پیامد ویسکوزیته‌ی بالای فضا در نواحی نزدیک به اجسام پرجرم یا پوسته‌ی کیهان نیز است. به‌طوری که فضا در نزدیکی پوسته چگال‌تر، فشرده‌تر و از نظر دینامیکی درهم‌تنیده‌تر است؛ زیرا همان‌گونه که SCM بیان می‌کند در این نواحی فضا در حال آزادسازی و بازآرایی است. با فاصله گرفتن پوسته از این نواحی و کاهش دما (به واسطه‌ی افزایش حجم کیهان) پس از گذار از «پراکندگی تامسون» (Thomson scattering)، فوتون‌ها قابل رویت شده و با توجه به اثر موثر ناشی از پیچش فضا که حاصل تکانه‌ی زاویه‌ایِ اعمال شده از چرخش پوسته‌ی کیهان مطابق SCM است، چرخشِ جهت قطبش آن‌ها

۱- C_ℓ^{BB} در واقع طیف توان زاویه‌ای مولفه‌ی B-mode است. این کمیت نشان می‌دهد در هر مقیاس زاویه‌ایِ تعیین‌شده‌ی ℓ چه مقدار توان از قطبش B-mode وجود دارد.

www.Journalofcosmointel.com

تقویـت و به حالـت B-mode در می‌آیـد. به عبارتی انتقـال تکانه‌ی زاویـه‌ای از پوسـته‌ی در حـال چرخش بـه فضایی که ویسـکوزیته‌ی آن در حضور اجرام عظیم مانند کهکشـان‌های جدید ایجادشـده در نزدیکـی پوسـته بـالا رفته اسـت، می‌تواند اثـر لنز گرانشـی در این نواحـی را تقویـت کنـد. این اثر باعث می‌شـود نور در اطـراف اجرام عظیـم به‌صـورت منظم دچـار چرخش سـاعت‌گرد یا پادسـاعت‌گرد شـود. لازم به تاکید اسـت که انحراف‌های مشاهده‌شـده در مسیر و قطبـش فوتون‌هـای CMB در حضـور سـاختارهای بزرگ‌مقیـاس، در کیهان‌شناسـی اسـتاندارد به‌طور کامل با عدسی گرانشی ضعیف توضیـح داده می‌شـوند [۶۰] امـا در چهارچـوب SCM می‌تـوان ایـن داده‌ها را به‌عنوان بستری برای آزمون تفسیرهای جایگزین مرتبط با چرخش موثر فضا-زمان بررسی کرد (شکل ۲۷).



شـکل ۲۷- الگوی چرخش فوتون‌های CMB که دچار قطبش حالت B-mode شـده‌اند، سـاعت‌گرد یا پادساعت‌گرد است.

Credit: CMB Polarization (harvard.edu)

بنابراین، تجزیه و چرخشِ متناوب پوسـته در طول زمان نه‌تنها منجر به ایجاد تابش مایکروویو می‌شـود، بلکه منجر به تشـدید قطبش B-mode در مجموعه‌ی فوتون‌های گسیل‌شده از این تابش می‌شود که همواره متاثر از چرخش کلی کیهان است. از سوی دیگر، خوشه‌های کهکشانی نزدیک به پوسته نیز به‌عنوان عدسی‌های گرانشی ثانویه عمل می‌کنند و باعث افزایش این قطبش می‌شوند.

۳- جاذب بزرگ (Great Attractor)

از دیـدگاه کیهان‌شناسـی اسـتاندارد (ΛCDM)، پویایی‌هـای بزرگ‌مقیـاس جهـان را می‌تـوان بـه برهم‌کنـش میـان انبسـاط تقریبـا همگـن هابـل و اختـلالات چگالی موضعی نسـبت داد.

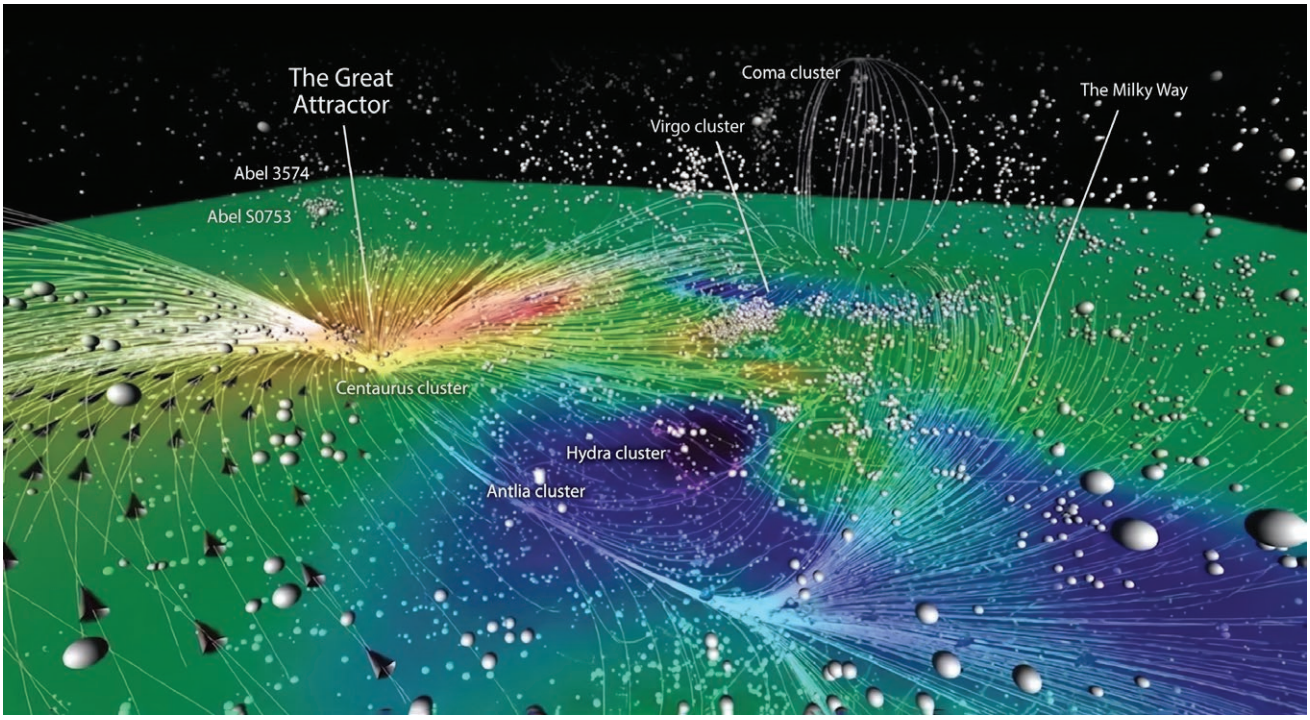
در این چهارچوب، ناحیه‌ای موسـوم به «جاذب بزرگ» به عنوان تمرکز گرانشـی عظیم در «local universe» با انتقال به سرخ تقریبی $z<0.05$ [۱] شناخته می‌شود که ساختار میدان سرعت کهکشان‌های پیرامون را به‌طـور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تاثیر قرار می‌دهد [۶۱], [۶۲], [۶۳], [۶۴].

۱ـ در این محدوده، فاصله‌ها حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ مگاپارسک (حدود ۶۵۰ تا ۸۰۰ میلیون سال نوری) هستند.

بازسازی‌های جدید میدان‌های چگالی و سرعت نشان می‌دهند که کهکشان راه شیری، گروه محلی و بخش عمده‌ای از کهکشان‌های واقع در حوضه‌ی ابرخوشه‌ی لانیاکیا، دارای سرعت‌های ویژه‌ی چندصد کیلومتر بر ثانیه از مرتبه‌ی $600\ kms^{-1}$، در جهت ناحیه‌ای در صورت فلکی قنطورس هستند که با جاذب بزرگ و نواحی پرجرمی مانند خوشه‌ی نورما و ساختار هیدرا-قنطورس مرتبط است [۶۱], [۶۴], [۶۵]. در مدل ΛCDM، این حرکت به‌صورت پاسخ دینامیکی محلی به توزیع ناهمگن جرم در ساختار بزرگ‌مقیاس تفسیر می‌شود؛ به این معنا که نواحی چگال‌تر مانند Shapley Concentration [۱] و Centaurus Wall [۲] به‌واسطه‌ی پتانسیل گرانشی خود، جریان‌های ماده را در محدوده‌ی چند ده مگاپارسک هدایت و هم‌راستا می‌کنند [۶۱], [۶۲]. بنابراین در ΛCDM، جاذب بزرگ و نواحی هم‌بسته با آن، مولفه‌ای محلی-ناحیه‌ای در میدان گرانشیِ local universe به‌شمار می‌آیند که بر سرعت‌های ویژه و ناهمسان‌گردی‌های محیطی اثر می‌گذارند اما به‌تنهایی تعیین‌کننده‌ی ساختار یا دینامیک کیهان در مقیاس‌های جهانی نیستند [۶۲], [۶۵] (شکل ۲۸).

۱- نواحی Shapley Supercluster ابرخوشه‌ی بزرگی از کهکشان‌ها است که یکی از بزرگ‌ترین تمرکزهای جرم شناخته‌شده در local universe است.

۲- یکی از ساختارهای عظیمِ رشته‌مانند در ابرخوشه‌ی لانیاکیا است.

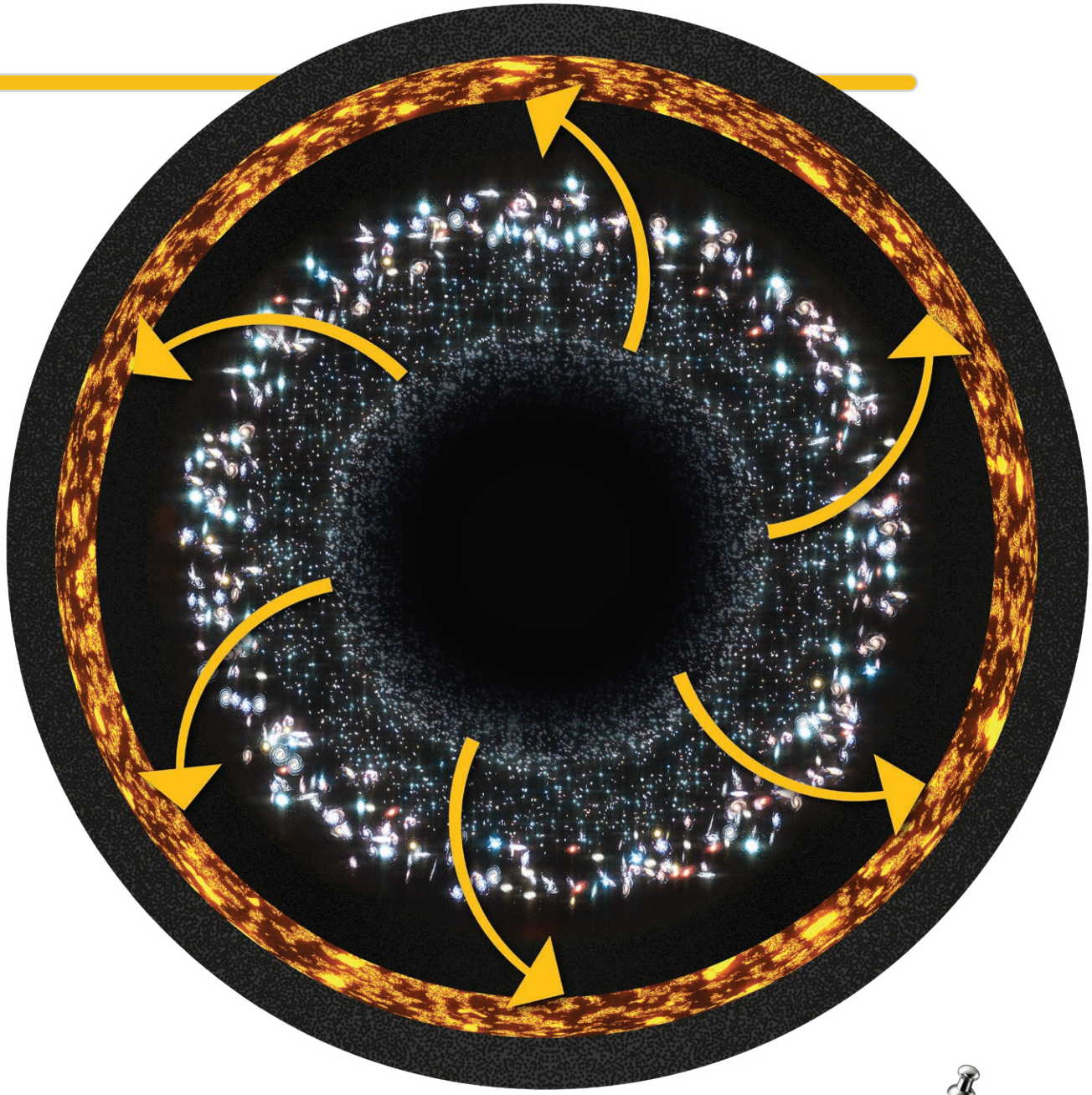


شکل ۲۸- تصویر شبیه‌سازی‌شده از حرکت کهکشان‌ها به سمت جاذب بزرگ. در این تصویر جهت حرکت کهکشان‌ها با فلش‌های مخروطی شکل نشان داده شده است.

Credit: Outer Space Central

اما در چهارچوب نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری»، این پدیده از زاویه‌ای دیگر تفسیر می‌شود. مطابق این نظریه، کیهان دارای پوسته‌ای است که در حال چرخش بوده و با گسترش شعاعی نسبت به مرکز کره همراه است. چرخش پوسته ضمن حفظ تکانه‌ی زاویه‌ای کل، سبب کاهش تدریجی چگالی در نواحی مرکزی و مهاجرت ماده‌ی باریونی به سوی لایه‌های بیرونی به واسطه‌ی نیروی گریز از مرکز می‌شود. بنابراین از این منظر، جاذب بزرگ نه ناهنجاری محلی، بلکه حرکت کلان ماده از مرکز به سمت پوسته است. در نتیجه سرعت‌های مشاهده‌شده در جاذب بزرگ صرفا ناشی از کشش گرانشی ناحیه‌ای پرجرم نیست، بلکه بخشی از الگوی کلی حرکت ماده در راستای محور چرخش کیهان تلقی می‌شود. به عبارت دیگر، همان جریانی که در ΛCDM به‌صورت گرانش محلی تعبیر می‌شود در SCM علاوه بر این امر، بازتابی از جریان پیوسته‌ی شعاعی چرخشی جهان نیز است که به‌طور طبیعی موجب کاهش چگالی در نواحی مرکزی کیهان و افزایش اجرام در نواحی نزدیک به پوسته می‌شود و از آن‌جا که ناظر درون کیهان در موقعیتی نزدیک به مرکز قرار دارد، حرکت عمومی ماده به بیرون از مرکز از دید او به‌صورت گرایش به سوی ناحیه‌ی به نام جاذب بزرگ ظاهر می‌شود؛ در حالی‌که این حرکت بخشی از جریان کلان به سوی پوسته است (شکل ۲۹).

www.Journalofcosmointel.com

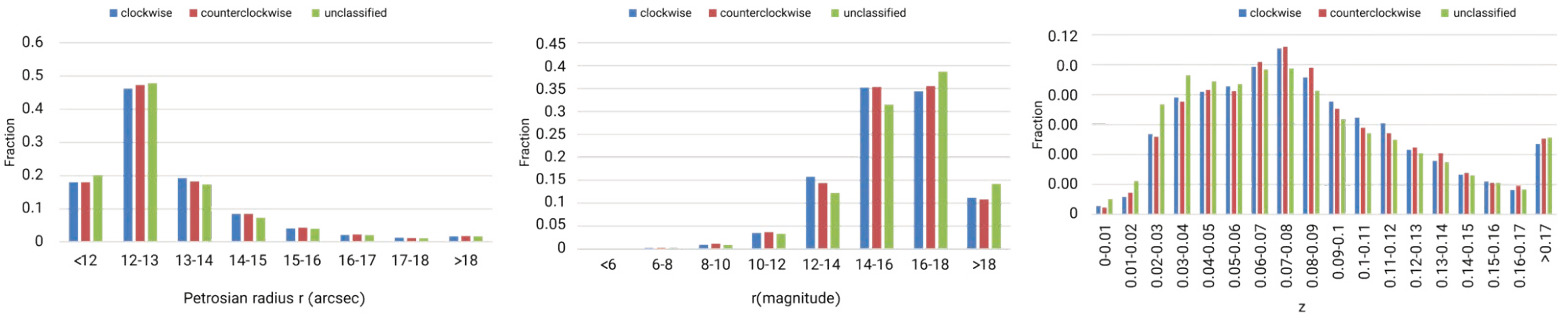


شکل ۲۹- تصویر شبیه‌سازی‌شده از نحوه‌ی حرکت کهکشان‌ها به سمت پوسته‌ی کیهان که همراه با خالی شدن کیهان از نواحی مرکزی است. مطابق تفسیر مدل کیهان کروی کهکشان راه شیری و گروه محلی با سرعت قابل توجهی به سمت تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی در حال حرکت هستند که این سرعت همان سرعت نزدیک شدن ما به پوسته‌ی کیهان در اثر چرخش همه‌محوری کیهان است.

۴- جهت چرخش محوری کهکشان‌های دوردست

مشاهده‌ی جهت چرخش محوری کهکشان‌های دوردست در مقایسه با کهکشان راه‌شیری، یکی از چالش‌های تجربی نوین برای مدل استاندارد (ΛCDM) به شمار می‌آید. در این مدل، فرض بر آن است که کهکشان‌ها در فضا به‌طور تصادفی و همسان‌گرد توزیع شده‌اند و جهت چرخش ترجیحی ندارد. در نتیجه انتظار می‌رود در مقیاس‌های بزرگ میانگین تکانه‌ی زاویه‌ای جهان صفر باشد. اما اگر فرض شود جهان دارای چرخش کلان‌مقیاس است، آنگاه باید میان موقعیت فضایی و سرعت زاویه‌ای کهکشان‌ها هم‌بستگی آماری قابل رصد وجود داشته باشد.

در حالی‌که مدل ΛCDM همسان‌گردی آماری در مقیاس‌های کلان و نبودِ هرگونه جهت‌گیری ترجیحی در چرخش محوری کهکشان‌ها را پیش‌بینی می‌کند، نتایج رصدی اخیر تصویر متفاوتی ارائه می‌دهند و نشانه‌هایی از ناهمسان‌گردی ضعیف اما معنادار در توزیع چرخش کهکشان‌ها را آشکار کرده‌اند. تحلیل‌های آماری انجام‌شده روی داده‌های حاصل از پیمایش دیجیتال آسمان اسلون (SDSS) (Sloan Digital Sky Survey) و تلسکوپ پانورامیک Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System) نشان داده است جهت چرخش ده‌ها هزار کهکشان در مقیاس چندصد مگاپارسکی، الگوی غیرتصادفی را شکل می‌دهد. به عبارتی اگر جهان به‌واقع همسان‌گرد باشد، انتظار می‌رود توزیع کهکشان‌های دارای چرخش ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد به شکل۵۰-۵۰ باشد. با این حال، آمار رصدی نشان می‌دهد نسبت واقعی ۴۹-۵۱ است؛ به‌گونه‌ای که کهکشان‌های ساعت‌گرد کمی بیش‌تر از پادساعت‌گردها هستند. هرچند این اختلاف تنها حدود یک یا دو درصد است [۶۶] اما احتمال وقوع چنین ناهماهنگی‌ای در جهانی که تصادفی باشد، شاید کم‌تر از یک در میلیارد برآورد شده باشد (شکل ۳۰).

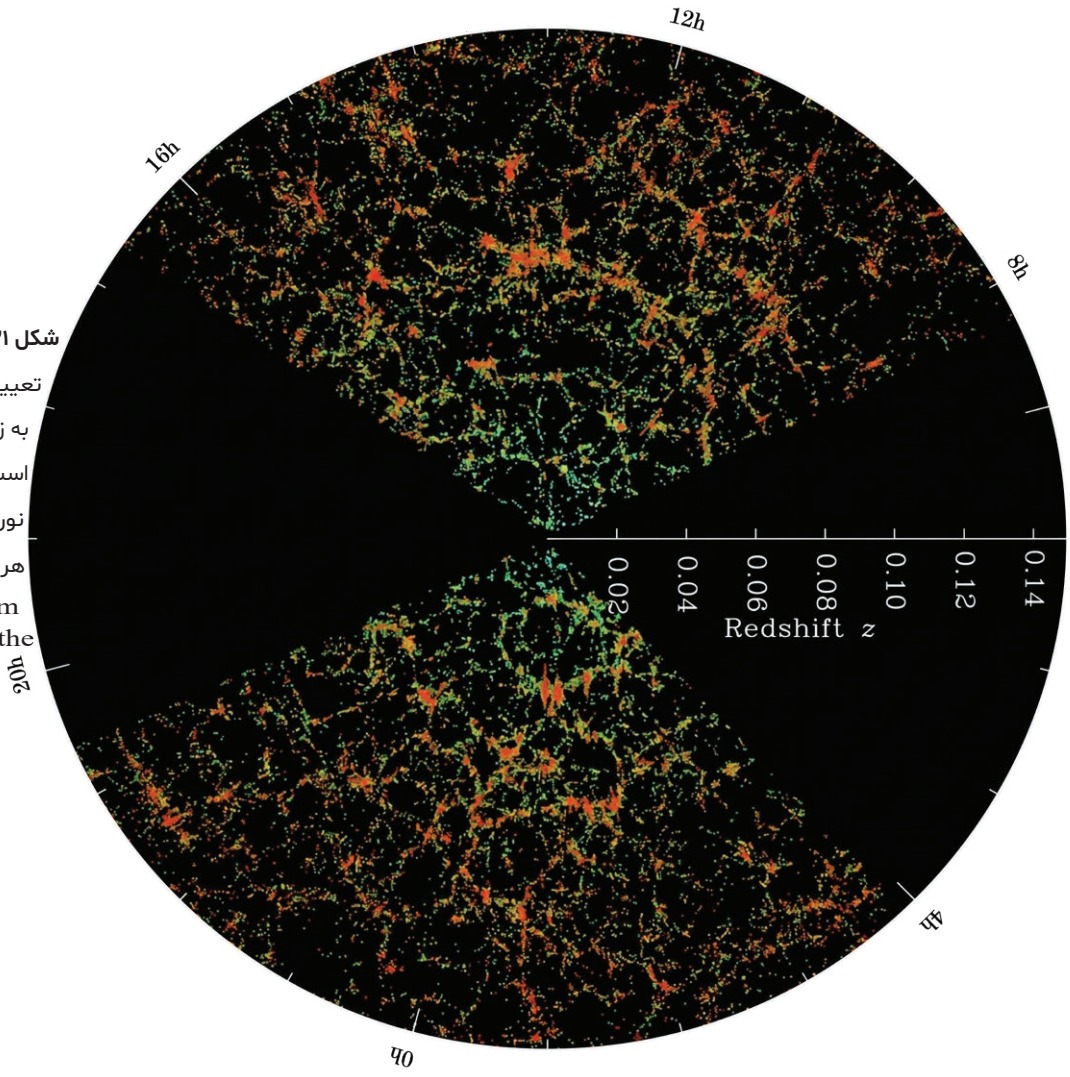


شکل ۳۰- توزیع نسبی کهکشان‌های ساعت‌گرد (آبی)، پادساعت‌گرد (قرمز) و بدون طبقه‌بندی (سبز) بر حسب شعاع پتروسیَن r (نمودار چپ)، قدر ظاهری r (نمودار میانی) و انتقال به سرخ z (نمودار راست)

این داده‌ها نشان می‌دهند نسبت جهت‌های چرخش در مقیاس‌های کیهانی از الگوی کاملا تصادفی تبعیت نمی‌کند. پژوهش شامیر در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ نشان داد توزیع اسپین کهکشان‌ها در فواصل بزرگ‌تر که دارای مولفه‌های دوقطبی و چهارقطبی است، می‌تواند چالشی برای فرض همسان‌گردی آماری در مدل ΛCDM به‌شمار آیند.

همچنین، تحلیل‌های رصدی نشان می‌دهند در فواصل نزدیک‌تر ($z \lesssim 0.05$)[۱] توزیع جهت چرخش محوری کهکشان‌ها تقریبا متقارن است اما با افزایش انتقال به سرخ تا حدود $z \approx 0.3$، میزان عدم تقارن در جهت چرخش محوری بیش‌تر و از نظر آماری معنادارتر می‌شود [۶۷]. این نوع جهت‌گذاری برای تعیین موقعیت کهکشان‌ها، برمبنای موقعیت و انحراف محوری زمین نسبت به خورشید، به عنوان چهارچوب مرجع رصدی در نظر گرفته شده است (شکل ۳۱).

۱- z عددی است که نشان می‌دهد طول‌موج نور که از یک کهکشان به ما می‌رسد به دلیل انبساط جهان چه‌قدر کشیده (قرمزتر) شده است.



شکل ۳۱- چهارچوب مرجعِ جهت‌گذاری رصدی برای تعیین موقعیت و حرکت کهکشان‌ها نسبت به زمین. این تصویر، بُرشی دوبُعدی در جهان است که توزیع کهکشان‌ها را تا دومیلیارد سال نوری نسبت به موقعیت ما نشان می‌دهد. هر نقطه نشان‌دهنده‌ی یک کهکشان است.
Sloan Digital Sky Survey team
Credit: Michael Blanton and the

www.Journalofcosmointel.com

تـداوم ایـن شـواهد در تحلیـل داده‌هـای بیـش از دویسـت‌هزار کهکشـان نیـز تاییـد شـده اسـت؛ به‌گونـه‌ای کـه نتایـج آماری نشـان می‌دهنـد الگوی ناهمسـان‌گرد چرخش کهکشـان‌ها با محور احتمالی چرخـش کیهان هم‌راسـتا بوده و احتمـالا هم‌جهتی قابل‌توجهـی با سـاختارهای بزرگ‌مقیـاس، همچون ابرخوشـه‌های کهکشـانی دارد. اگرچـه ممکن اسـت برخی کیهان‌شناسـان این نتایج را ناشی از واریانس کیهانی (Cosmic Variance) یا سـوگیری مشاهده‌ای (Observational Bias) بداننـد امـا هم‌راسـتایی سیسـتماتیک چرخش‌هـای محوری در گسـتره‌های بزرگ توضیحی قانع‌کننده در ΛCDM ندارد و همچنان بـه عنـوان چالـش تجربی پابرجـا باقی مانده اسـت [۶۷]. از سوی دیگر، پژوهش‌هایی مانند بررسی عدم تقارن بزرگ‌مقیاس در جهت چرخش کهکشـان‌ها بر پایه‌ی تحلیل داده‌های حاصل از پیمایش‌های DES، SDSS و DESI Legacy Survey نشان داده‌اند توزیع جهـت چرخش محـوری کهکشـان‌ها در مقیاس‌های کلان ممکـن اسـت دارای مولفه‌هایـی بـا ماهیـت دوقطبـی یـا چهارقطبی باشـد [۶۸]. به‌طور مشـابه، مطالعـات مربـوط به تابش پس‌زمینـه‌ی کیهانی نیز ناهنجاری‌هایـی همچـون کاهـش دامنـه‌ی مولفه‌ی چهارقطبـی و وجود محور ترجیحی در جهت دوقطبی CMB را گزارش کرده‌اند [۶۹].

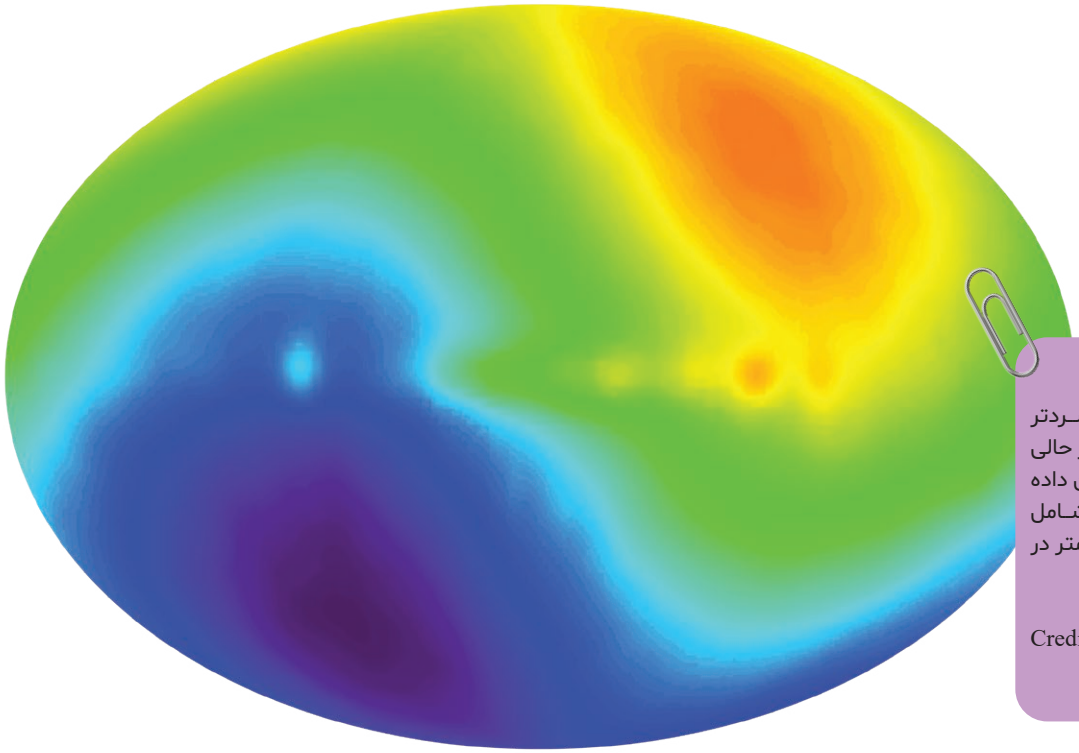
۵- ناهمسـان‌گردی بزرگ‌مقیاس، چندقطبی‌ها و نشانه‌های چرخش احتمالی کیهان در دیدگاه‌های رایج

یکـی از مولفه‌هـای اصلی نظریه‌ی کیهان‌شناسـی (Cosmological Principle) ایـن اسـت کـه جهـان بایـد در مقیاس‌هـای خیلـی بزرگ از لحـاظ فضایی، همسان‌گرد و همگن باشد و همان‌طور که در مبحث بخش قبل نیز اشـاره شـد نباید هیچ جهت یا محور ترجیحی آماری در چرخش کهکشـان‌ها وجود داشته باشـد. بنابرایـن، اگـر جهـان در برخـی سـناریوهای نظـری دارای چرخـش کلان‌مقیـاس باشـد، آنـگاه می‌تـوان انتظار داشـت این فرض همسـان‌گردی به چالش کشـیده شود و نشـانه‌هایی از جهت‌گیری یا محور ترجیحی آشـکار شود. در این راستا دو حوزه‌ی مهم رصدی مطرح شـده‌اند: ۱- توزیع جهت چرخش کهکشـان‌های مارپیچی در مقیاس بزرگ که با توجه به یافته‌های شامیر به شواهد آن پرداخته شد.
۲- ناهنجاری‌های تابش پس‌زمینه‌ی ریزموج کیهانی.

۵-۱- مفهوم دوقطبی (Dipole)

مولفـه‌ی دوقطبـی «Dipole» نخسـتین سـطح ناهمسـان‌گردی چندقطبـی در تحلیـل میدان‌هـای برداری یا اسـکالر روی کره‌ی آسمان به شمار می‌رود. دوقطبـی به‌طـور عمـده ناشـی از سـرعت سیسـتم محلـی نسـبت بـه چهارچـوب مرجـع CMB اسـت (اثـر دوپلـر). بـه عنوان مثال، سـرعت گـروه محلی حـدود ۶۰۰ کیلومتـر در ثانیه نسـبت بـه چهارچوب تابش اولیه گزارش شده است [۷۰]. با در نظر گرفتن این مفهوم در برخی سناریوهای نظری غیر استاندارد از جملـه مدل‌هایـی بـا شکسـت همسـان‌گردی (Violation of Statistical Isotropy)، ممکـن اسـت وجـود چرخـش کلان‌مقیاس یـا سـاختارهای برداری بـه پیدایـش مولفه‌هایـی در توزیـع دما یا اسـپین کهکشـان‌ها بینجامـد. کیهان‌شناسـان بـا بررسـی داده‌های ماموریت پلانک بیان کرده‌اند بخش اعظم سـیگنال دوقطبی که در CMB مشاهده می‌شود به حرکت خورشـید و گروه محلی کهکشـان‌ها نسـبت به چهارچوب مرجـع این تابش برمی‌گردد که به این مولفـه «دوقطبـی جنبشـی» (Kinematic dipole) گفته می‌شود. این مولفه در نقشه‌های CMB حذف می‌شـود تا بتوان نوسـانات ذاتی کیهـان در مقیاس بـزرگ را مطالعـه کرد. با این حـال، پس از حذف اثر جنبشـی، تحلیل‌هـای دقیق‌تـر داده‌هـای Planck و WMAP هنوز باقی‌مانده‌هایی از ناهمسـان‌گردی در ساختار فضایی CMB را نشان داده‌اند که در ادبیات کیهان‌شناسی به عنوان ناهنجاری‌های بزرگ‌مقیاس شناخته می‌شوند و تفسیر آن‌ها از واریانس کیهانی و سیستماتیک‌های رصدی تا سناریوهای توپولوژیکی یا شکست همسان‌گردی همچنان مورد بحث است. ایـن مطالعات شـامل بررسـی الگوهایی موسـوم به عـدم تقـارن پاریتـه[1] در مقیاس بزرگ، عـدم تقارن توان نیم‌کره و هم‌راستایی چندقطبی‌های با مرتبه‌ی پایین (Low-ℓ multipole alignment) هسـتند [۷۱, ۷۲] (شکل ۳۲).

۱ـ در فیزیک، Parity به معنای تقارن فضا تحت وارونگی آینه‌ای (Mirror Symmetry) است. به بیانی، اگر مختصات سیستم (x, y, z) را نسبت به مبدا برعکس کنیم (-x, -y, -z) و رفتار پدیده تغییری نکند، می‌گوییم آن پدیده دارای تقارن پریتی است.



شکل ۳۲- دوقطبی CMB. در این تصویر مناطق سردتر (-0/0035 k) با رنگ آبی نشان داده شده‌اند، در حالی که مناطق گرم‌تر (+ 0/0035 k) با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. این الگو با گروه محلی کهکشان‌ها که شامل کهکشان راه شیری نیز است با سرعت ۶۰۰ کیلومتر در ثانیه مطابقت دارد.

Credit: DMR, COBE, NASA, Four-Year Sky Map

به‌طور ویژه در تحلیل‌های «داده‌های ماموریت پلانک ۲۰۱۸ (مرور کلی و میراث کیهان‌شناسی پلانک)» [۷۰], [۷۳]، نشان داده شد در مولفه‌های چندقطبی پایین به‌ویژه چهارقطبی ($\ell=2$) (Quardrupole) و هشت‌قطبی ($\ell=3$) (Octopole) نوعی هم‌راستایی غیرمنتظره وجود دارد که با فرض همسان‌گردی کامل ناسازگار است. همچنین، پژوهش‌هایی مانند ناهنجاری‌ها در تابش زمینه‌ی کیهانی در بزرگ‌ترین مقیاس‌ها [۷۲] و هم‌ترازی‌های بزرگ‌مقیاس از *WMAP* و *Planck* [۷۴] بررسی کرده‌اند این هم‌راستایی می‌تواند ناشی از اثرات توپولوژیکی یعنی ساختارهای پیچیده در هندسه‌ی فضا باشد. به زبان ساده‌تر حتی پس از حذف اثر سرعت ما (حرکت زمین در منظومه شمسی) نسبت به CMB، هنوز الگوهایی در نقشه‌های دما و قطبش باقی می‌مانند که به‌نظر می‌رسد نشانه‌ای از جهت‌گیری یا چرخش ضعیف در کل فضا باشند.

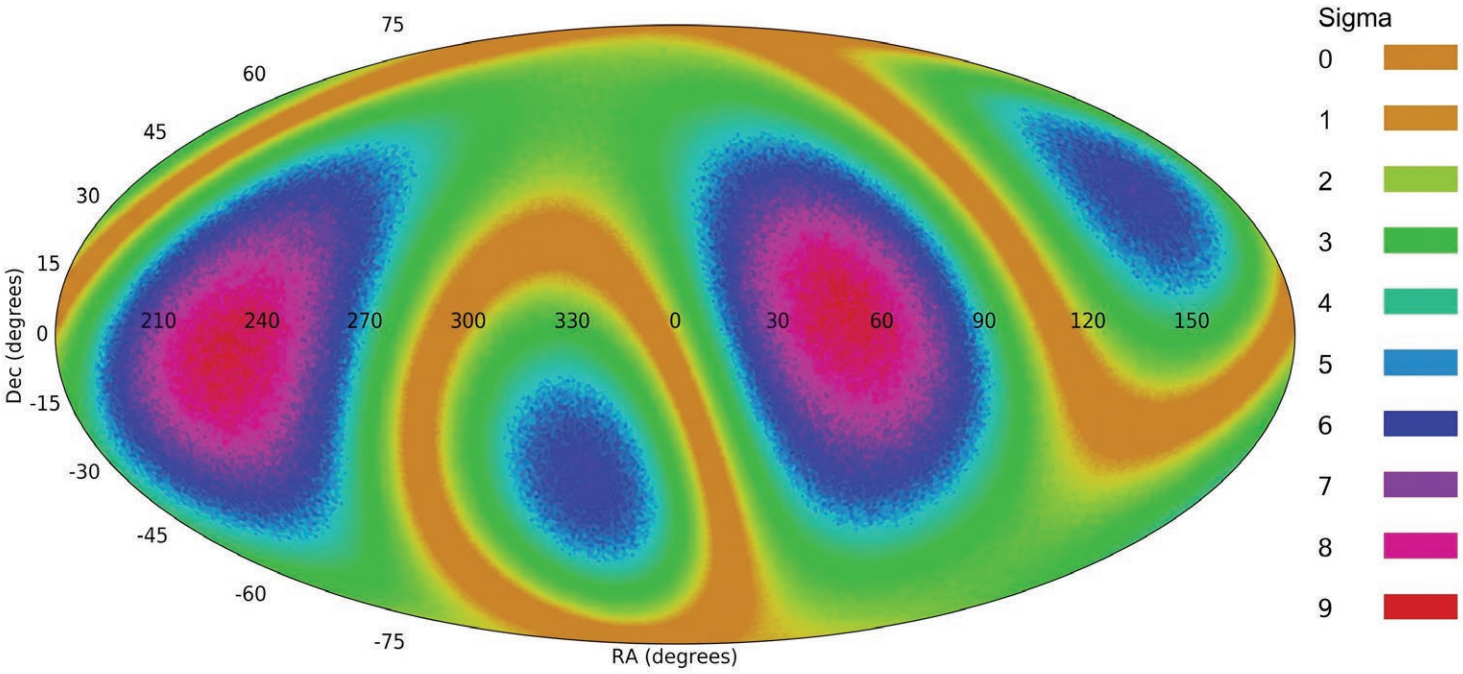
۵-۲- مفهوم چهارقطبی (Quadrupole)

«چهارقطبی» مرتبه‌ی دوم از بسط چندقطبی در نماهای تابش یا توزیع هارمونیک‌های کروی با ($\ell=2$) است. عدد ℓ نشان‌دهنده‌ی مرتبه‌ی چندقطبی است؛ یعنی مقیاس زاویه‌ای تغییرات. بنابراین، زمانی که گفته شود ($\ell=1$)، ($\ell=2$)، ($\ell=3$)، منظور از این عبارات، به‌ترتیب دوقطبی (تغییر در کل نیم‌کره به‌دلیل حرکت ما نسبت به CMB از دیدگاه کیهان‌شناسان)، چهارقطبی (تغییرات در مقیاس زاویه‌ای حدود ۹۰ درجه) و هشت‌قطبی (تغییرات در مقیاس زاویه‌ای حدود ۶۰ درجه) است. به عبارتی در CMB، توان این مولفه نشان می‌دهد تا چه حد تغییرات دمایی یا قطبشی در مقیاس‌های بزرگ رخ می‌دهد. در زبان ریاضیات، توان زاویه‌ای CMB به‌صورت طیف $C_\ell = \langle |a_{\ell m}|^2 \rangle$ تعریف می‌شود که C_ℓ میزان قدرت یا دامنه‌ی نوسانات دما در مقیاس زاویه‌ایِ متناظر با ℓ را نشان می‌دهد. بنابراین، توان چهارقطبی همان C_2 است که نشان‌دهنده‌ی شدت نوسانات در مقیاس زاویه‌ای بسیار بزرگ است. با در نظر گرفتن این امر، داده‌های Planck گزارش داده‌اند توان چهارقطبی نسبت به پیش‌بینی‌های ΛCDM بسیار کم‌تر است و این خود یکی از ناهنجاری‌های شاخص بزرگ‌مقیاس محسوب می‌شود [۷۴]. یکی از احتمالات این است که کسری در توانِ چهارقطبی ممکن است نشان دهد جهان دارای جهت یا محور ترجیحی باشد یا این‌که ساختار جهان در مقیاس افق با فرض همسان‌گردی مطلق ناسازگار است [۷۵].

برخی تحلیل‌های آماری، امکان وجود ارتباط میان ناهمسان‌گردی‌های کم‌مرتبه‌ی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (CMB) و الگوهای چندقطبی در توزیع اسپین کهکشان‌ها را مطرح کرده‌اند. با این حال، تاکنون شواهد رصدیِ قاطع یا مستقلی که وجود هم‌راستایی مستقیم و معنادار میان این دو پدیده را تایید کند، گزارش نشده است. از این رو چنین هم‌بستگی‌هایی در وضعیت کنونی داده‌ها می‌توانند ناشی از واریانس کیهانی، محدودیت‌های آماری یا سوگیری‌های مشاهده‌ای باشند. با وجود این، در صورت تایید رصدی در آینده، بررسی این نوع هم‌راستایی‌ها می‌تواند چشم‌اندازهای جدیدی برای آزمون فرض همسان‌گردی آماری در کیهان‌شناسی استاندارد فراهم آورد. به‌طور مثال، یکی از پیامدها شکستن همسان‌گردی (Statistical Isotropy Breaking) است؛ طوری که ΛCDM فرض می‌کند جهان در مقیاس بزرگ در همه‌ی جهت‌ها یکسان است. هم‌راستایی محور CMB با محور چرخش

www.Journalofcosmointel.com

کهکشـان‌ها این فرض را نقض می‌کند. پیامد دیگر احتمال چرخش جهانـی اسـت. یعنی اگر فضا به‌صـورت کلان‌مقیـاس دارای تکانه‌ی زاویـه‌ای باشـد، هر دو پدیده‌ی چهارقطبـی CMB و چرخش محوری کهکشـان‌ها می‌تواننـد ناشـی از همـان محـور چرخش باشـند و در نهایتْ پیامد دیگر، هندسه یا توپولوژی غیراقلیدسی فضا است. با این مفهوم که ممکن اسـت سـاختار فضا بسته یا دارای جهت‌گیری جهانی باشد که محورهای ترجیحی را تعریف کند [۷۶] (شکل ۳۳).

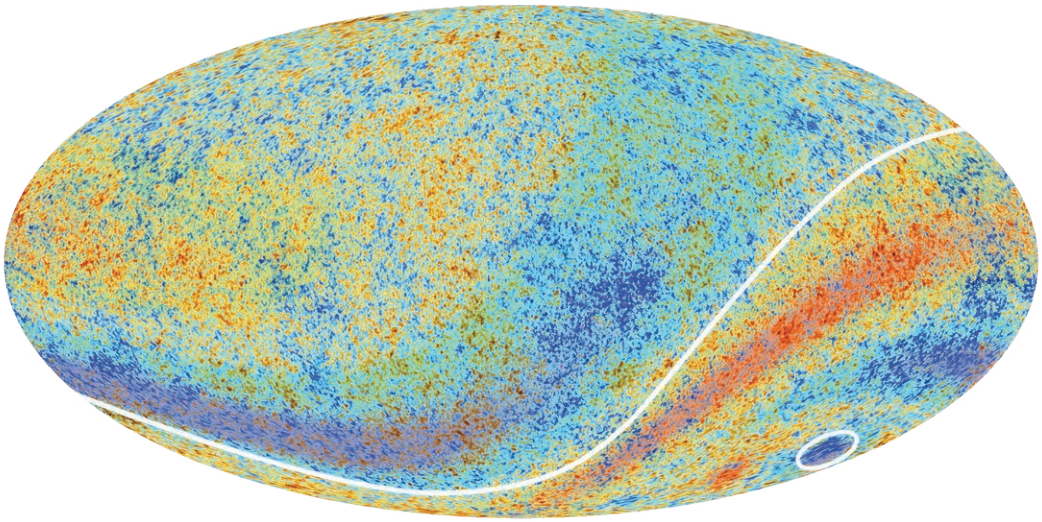


شـکل ۳۳- نقشـه‌ی All Sky در تصویر مول‌واید (Mollweide projection) از مولفه‌ی چهارقطبی در توزیع و جهت چرخش کهکشـان‌ها. رنگ‌ها بیان‌گر سـطوح آماری متفاوت از توان چهارقطبی (برحسـب σ) در نقاط مختلف آسـمان هسـتند. این نقشه بر اساس تحلیل داده‌های SDSS و Pan-STARRS تهیه شده است.

Credit: Lior Shamir / Kansas State University (2020)

۳-۵- مفهوم هشت‌قطبی (Octopole)

در تحلیـل طیـف تـوان زاویه‌ای تابـش پس‌زمینـه‌ی کیهانی، پس از مولفـه‌ی دوقطبـی (ℓ=1) کـه در کیهان‌شناسـی رایـج بـه حرکـت جنبشـی ناظر نسـبت به چهارچوب مرجع CMB نسـبت داده شده، دو مولفـه‌ی بعدی یعنی چهارقطبی (ℓ=2) و هشـت‌قطبی (ℓ=3) نیز اهمیت ویژه‌ای در بررسـی همسان‌گردی آماری جهان دارند. مطالعات دقیـق داده‌هـای WMAP و Planck نشـان داده‌انـد ایـن دو مولفه، نه‌تنها نسبت به مقادیر پیش‌بینی‌شده‌ی مدل استاندارد (ΛCDM) دارای دامنه‌ی غیرمنتظره‌ای هسـتند -که این امر در کسـری در توان چهارقطبی بیش‌تر به چشم می‌خورد- بلکه محورهای مکانی مولفه‌های چهارقطبی و هشـت‌قطبی به‌شـکل قابل‌توجهی با یکدیگر هم‌راسـتا هستند. این پدیده با عنوان «هم‌ترازی چندقطبی‌های مرتبه پایین» (Alignment of low-ℓ multipoles) شـناخته می‌شـود. جهت‌هـای متناظر با حداکثرهای این مولفه‌ها در نقشه‌های تمام‌آسمانی CMB تقریبـا در یـک راسـتای فضایی مشـترک قرار دارند کـه در مختصات کهکشـانی حدودا در راسـتای $(l, b) \approx (260°, 60°)$ شناسـایی شـده است. به این معنا که اگر روی کره‌ی آسمان نقاطی را که شدت تابش CMB در آن‌ها حداکثر است، مشخص کنیم، جهت این نقاط برای دو مولفه‌ی چهارقطبی و هشت‌قطبی تقریبا روی یک خط قرار می‌گیرند. ایـن راسـتا همان چیزی اسـت که بـه آن «محور ترجیحـی CMB» یا به‌طور غیررسـمی محور شـرارت می‌گویند. اصطلاحی که نخستین بار دو کیهان‌شـناس به نام‌هـای Kate Land و João Magueijo در سـال ۲۰۰۵ در تحلیل داده‌های WMAP معرفی کردند و از آن پس موضوع بحث‌های گسـترده در زمینه‌ی نقض همسان‌گردی کیهانی شد [۷۴, ۷۷] (شکل ۳۴).



شکل ۳۴- نقشه‌ی All-Sky تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (CMB) بر پایه‌ی داده‌های ماموریت پلانک آژانس فضایی اروپا (ESA). منحنی سفید، محور تقریبی ناهنجاری موسوم به محور شر را نشان می‌دهد؛ پدیده‌ای که بیان‌گر هم‌راستایی غیرمنتظره‌ی مولفه‌های چهارقطبی و هشت‌قطبی در نقشه‌ی دمای CMB است و می‌تواند همسان‌گردی آماری جهان را به چالش بکشد.

Credit: ESA and the Planck Collaboration

اگرچه ممکن است چنین هم‌راستایی‌ای در چندقطبی‌های پایین‌مرتبه تا حدی ناشی از واریانس کیهانی یا نویز آماری باشد، اما میزان هم‌راستایی مشاهده‌شده در داده‌های Planck و WMAP بسیار فراتر از انتظارات تصادفی با احتمال تصادفی کم‌تر از 10^{-3} است. به گفته‌ی برخی محققان، این یافته می‌تواند در کنار ناهنجاری‌های دیگری همچون کسری در توان چهارقطبی و پاریتی نامتقارن، نشانه‌ای از وجود جهت‌گیری کلان‌مقیاس، توپولوژی غیربدیهی فضا یا حتی چرخش جهانی کیهان باشد [۷۰], [۷۲], [۷۸]. از طرفی باید به این نکته اشاره کرد که درست است که داده‌های مربوط به جهت چرخش محوری کهکشان‌ها در مقیاس‌های بزرگ نشان‌دهنده‌ی الگوهایی با مولفه‌ی دوقطبی یا چهارقطبی هستند یا این‌که با توجه به مشاهداتی همچون ناهنجاری در این دو مولفه می‌تواند نشانه‌ای از ساختار یا جهت‌گیری کلان‌مقیاس باشد اما باید تاکید کرد هنوز اثبات مستقیمی از هم‌راستایی دقیق این دو پدیده وجود ندارد و رابطه‌ی میان آن‌ها در چهارچوب مدل‌های استاندارد کیهان‌شناسی نیاز به بررسی‌های بیش‌تر دارد.

۶- جهت چرخش محوری کهکشان‌های دوردست در نظریه‌ی کیهان دوار طاهری

همان‌گونه که از نام‌گذاری «مدل کیهان کروی» پیدا است، شکل هندسی کروی و پوسته‌ی کیهان نقشی کلیدی در تبیین بخش مهمی از مشاهداتی دارد که برای مدل استاندارد (ΛCDM) چالش‌برانگیزند. نحوه‌ی توزیع ماده در شبکه‌ی کیهانی و وجود حفره‌های بزرگ‌مقیاس در این مدل با عنوان پیامدهای طبیعی «دینامیک کلان فضا-ماده» مطرح می‌شود. در SCM، «اصل حرکت» بیان می‌کند کیهان دارای چرخش در مقیاس کلان است که به شکل همه‌محوری عمل می‌کند و بر تمام اجزای آن اثر می‌گذارد. رفتار اجسام در محیط‌های چرخان را می‌توان با استفاده از مفاهیم پایه‌ای مکانیک کلاسیک، از جمله ممان اینرسی و گشتاور، توصیف و تحلیل کرد.

برای یک ذره‌ی نقطه‌ای که روی مداری به شعاع r از محور چرخش قرار دارد، رابطه‌ی بین نیرو، جرم و شتاب زاویه‌ای به‌صورت $F_{tan} = mr\alpha$ بیان می‌شود. در این معادله F_{tan} نیروی مماسی، m جرم، r فاصله از محور چرخش و α شتاب زاویه‌ای است. گشتاورِ وارد بر ذره نیز از رابطه‌ی کلی برداری $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ به دست می‌آید و در حالتی که نیرو به‌صورت مماسی عمل کند، این رابطه به شکل $\tau = r F_{tan} = mr^2 \alpha$ ساده می‌شود. این بیان، همان بیان چرخشی قانون دوم نیوتن است که در آن گشتاور (τ) نقش نیرو و شتاب زاویه‌ای (α) نقش شتاب خطی را ایفا می‌کند؛ ممان اینرسی (I) نیز به جای جرم (m) قرار می‌گیرد؛ یعنی $\tau = I\alpha$. از آن‌جا که ممان اینرسی تابعی از نحوه‌ی توزیع جرم نسبت به محور چرخش است، هرچه جرم از محور دورتر باشد، مقدار I بزرگ‌تر خواهد بود. در نتیجه، تغییر سرعت چرخش در چنین سیستمی دشوارتر می‌شود و این امر به پایداری بیش‌تر حرکت دورانی می‌انجامد.

حال با توجه به این قوانین در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM)، پوسته‌ی کیهان که از ماده‌ی مطلق (TAM) تشکیل شده است، می‌تواند با ممان اینرسی بزرگ، رفتاری مشابه «چرخ‌طیار کیهانی» از خود نشان دهد. این پوسته جرم بسیار زیادی دارد که موجب می‌شود ممان اینرسی کل سیستم (I) در شعاع‌های بزرگ به‌طور عمده به واسطه‌ی آن تعیین شود. از این رو، این ساختار در برابر تغییرات ناگهانی سرعت زاویه‌ای (ω)، پایداری دینامیکی بالایی دارد. در جریان واگرد کیهان با افزایش تدریجی حجم کره و کاهش ضخامت TAM، توزیع جرم پوسته دچار تغییر می‌شود و در نتیجه مقدار ممان اینرسی کل سیستم نیز به‌صورت پیوسته دگرگون می‌شود و چون خارج از پوسته‌ی کیهان فضا و زمانی وجود ندارد، بنابراین گشتاور خارجیِ خالص وارد بر کل سیستم (کیهان) صفر است و تکانه‌ی زاویه‌ای کل کیهان پایسته باقی می‌ماند، بنابراین:

$$\vec{\tau}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{L}}{dt}, \vec{\tau}_{\text{ext}} = 0 \implies \vec{L} = \text{const},$$

که در آن

$$\vec{L} = I\,\vec{\omega}.$$

www.Journalofcosmointel.com

۱- انحراف ضعیف اما نظام‌مند از حالت تصادفی.

۲- در واقع این رابطه، یکی از بنیادی‌ترین روابط در کیهان‌شناسی رصدی است که اندازه‌ی ناهمسان‌گردی دمایی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (CMB) را بیان می‌کند. در این معادله، T دمای میانگین (حدود ۲/۷۲۵ کلوین) این تابش است و ΔT اختلاف دما بین نقاط مختلف آسمان (تفاوت بین نیم‌کره‌ی گرم‌تر و سردتر CMB) است. ΔT/T نیز نسبت اختلاف دما به دمای کل است که شدت ناهمسان‌گردی نسبی را نشان می‌دهد.

در چنین شرایطی، کاهش یا افزایش (I) می‌تواند با تغییر متناظر در (ω) همراه شود، بی‌آن‌که لزوما تکانه‌ی زاویه‌ای کل سیستم تغییر کند. همچنین، طی فرآیند تجزیه و نازک‌شدن پوسته‌ی کیهان، نیروهای مماسی و برهم‌کنش‌های داخلی می‌توانند منجر به انتقال و بازتوزیع تدریجی تکانه‌ی زاویه‌ای میان پوسته و اجزای درونی کیهان (شامل فضا، ماده و میدان‌ها یا امواج) شوند. در سطح تفسیر نظری و به عنوان فرضیه‌ای در مدل SCM می‌توان مطرح کرد که این بازتوزیع تکانه‌ی دورانی ذخیره‌شده در پوسته‌ی کیهان ممکن است زمینه‌ساز شکل‌گیری یا تقویت الگوهای چرخشی در مقیاس‌های گوناگون کیهانی باشد. حال این‌که تبدیل این نظریه به نتیجه‌ی فیزیکی قطعی، مستلزم مدل‌سازی کمّی دقیق و مقایسه‌ی مستقل با داده‌های رصدی است.

بنابراین به زبان ساده‌تر مطابق با مدل کیهان کروی در پاسخ به جهت چرخش محوری کهکشان‌های دوردست مشاهده‌شده، باید گفت در این چهارچوب، کیهان دارای تکانه‌ی زاویه‌ای کل غیرصفر است و این تکانه به‌طور عمده در «پوسته‌ی کیهان» به عنوان سیستمی با ممان اینرسی بسیار بزرگ ذخیره می‌شود و از آن‌جا که کیهان سیستم بسته فرض می‌شود، تکانه‌ی زاویه‌ای کل پایسته باقی می‌ماند اما می‌تواند در طول زمان میان پوسته و اجزای درونی کیهان بازتوزیع شود. پیامد طبیعی این تصویر آن است که چرخش در مقیاس کلان، صرفا ویژگی موضعی کهکشان‌ها نیست، بلکه می‌تواند بازتابی از دینامیک سراسری باشد.

در نتیجه در چنین مدلی، جهت چرخش کهکشان‌ها الزاما به‌طور کامل تصادفی نخواهد بود؛ زیرا میدان سرعت کلان‌مقیاس ناشی از چرخش کیهان، می‌تواند به‌صورت «بایاس ضعیف اما سیستماتیک»[۱] بر علامت تکانه‌ی زاویه‌ای کهکشان‌های در حال شکل‌گیری اثر بگذارد. به بیان دقیق‌تر، SCM پیش‌بینی می‌کند حتی اگر فرآیندهای محلی مانند برهم‌کنش‌ها و گشتاورهای جزرومدی همچنان نقش اصلی را در تعیین مقدار تکانه‌ی زاویه‌ای هر کهکشان بازی کنند، وجود یک مولفه‌ی چرخشی زمینه‌ای می‌تواند توزیع آماری ساعت‌گرد/پادساعت‌گرد را از حالت دقیق ۵۰-۵۰ خارج کند و عدم تقارن کوچکی در حد یک تا دو درصد ایجاد نماید. در این چهارچوب، انتظار می‌رود که این عدم‌تقارن به‌صورت «اثر وابسته به موقعیت» ظاهر شود؛ یعنی جهت چرخش ترجیحی کهکشان‌ها می‌تواند با راستاهای خاصی نسبت به محور چرخش کلان‌مقیاس، هم‌بستگی آماری نشان دهد. بنابراین، مشاهده‌ی الگوی غیرتصادفی در جهت چرخش ده‌ها هزار کهکشان در مقیاس‌های چند صد مگاپارسکی در صورت کنترل دقیق سوگیری‌های رصدی، با تصویر SCM سازگار است و می‌تواند به عنوان یکی از پیامدهای قابل‌آزمون وجود تکانه‌ی زاویه‌ای کل برای کیهان تلقی شود. در نهایت، کوچک‌بودن دامنه‌ی این ناهمسان‌گردی (نسبت ۵۱-۴۹) نه‌تنها تناقض نیست، بلکه ویژگی طبیعی سیستمی است که در آن چرخش سراسری را پوسته‌ای با ممان اینرسی عظیم تعیین می‌کند. درست است که اثر چرخش کلان بر دینامیک محلی به‌صورت ضعیف مشاهده می‌شود اما در نمونه‌های آماری بزرگ می‌تواند به‌صورت معنادار آشکار شود.

۷- بازتفسیر مفاهیم دوقطبی، چهارقطبی و هشت‌قطبی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی مطابق با نظریه‌ی کیهان دوار طاهری

۷-۱- دوقطبی

در چهارچوب ΛCDM، ناهمسان‌گردیدوقطبی در تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی ($\Delta T / T \sim 10^{-3}$)[۲] تقریبا به‌طور کامل به حرکت ناظر نسبت به چهارچوب سکون CMB که بقایای دوران اولیه‌ی تشکیل کیهان است نسبت داده می‌شود؛ به این معنا که گروه محلی کهکشان‌ها با سرعت تقریبی $v \approx 600\ \mathrm{km\ s^{-1}}$ در راستای صورت فلکی قنطورس (Centaurus) نسبت به این تابش اولیه در حال حرکت است [۷۹]. این حرکت موجب پدیدارشدن اثر دوپلر شده و باعث می‌شود یکی از نیم‌کره‌های آسمان اندکی گرم‌تر (در جهت حرکت) و نیم‌کره‌ی مقابل اندکی سردتر دیده شود. این تفسیرْ مبنای «دوقطبی جنبشی» (Kinematic Dipole) در کیهان‌شناسی رایج است.

اما در چهارچوب کیهان دوار طاهری، ناهمسان‌گردی دوقطبی، خاستگاه هندسی و دینامیکی دارد که نشات‌گرفته از ساختار کیهان کروی و ویژگی چرخشی آن است. در این مدل، تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی نه از عصر نوترکیبی جهان اولیه، بلکه از نواحی فعال نزدیک به پوسته‌ی کیهان سرچشمه می‌گیرد؛ یعنی جایی که تجزیه‌ی TAM و جداسازی فوتون‌ها همواره در جریان

است. این تابش به‌صورت کروی در حال گسترش بوده و در اثر واگرد پیوسته‌ی کیهان، کل فضا را در بر می‌گیرد. این گسترش تا زمانی ادامه خواهد داشت که TAM طی روند تجزیه به‌طور کامل از بین برود؛ یعنی کیهان به حد نهایی واگرد خود برسد.

در چنین هندسه‌ای، فضا به‌طور ذاتی دارای گرادیان شعاعی در چگالی و توان تابشی است. طوری که نواحی نزدیک به پوسته، چگال‌تر با دمای بالا و نواحی درونی‌تر (نزدیک به مرکز کره‌ی کیهان) از تابش ضعیف‌تری برخوردار هستند. بنابراین، زمین که از دیدگاه SCM در نواحی نزدیک به مرکز کیهان قرار دارد، نسبت به این تابش با فاصله‌های نابرابر در دو جهت مختلف روبه‌رو است. طوری که از یک سمت به پوسته نزدیک‌تر و از سمت دیگر از مرکز کیهان دورتر می‌شود. این تفاوت در فاصله، گرادیانی در شدت تابش و دمای ظاهری ایجاد می‌کند که از دید آشکارسازهای CMB، ناهمسان‌گردی دوقطبی تفسیر می‌شود. در بیان کلی می‌توان گفت اثر مشاهده‌شده ترکیبی از دو مولفه است: ۱- دوقطبی جنبشی ناشی از حرکت گروه محلی نسبت به تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی ۲- دوقطبی ساختاری هندسی ناشی از اختلاف فاصله‌ی ناظر از پوسته‌ی کیهان. در نتیجه، پس از حذف مولفه‌ی جنبشی از داده‌ها، آن‌گونه که در تحلیل‌های پلانک یا WMAP انجام می‌شود، انتظار می‌رود باقی‌مانده‌ای از دوقطبی ضعیف و هم‌راستا fh محور ترجیحی کیهانی (Axis of Evil)[1] آشکار شود. با ادامه‌ی واگرد فضا، پوسته‌ی کیهان به‌تدریج بزرگ‌تر و رقیق‌تر می‌شود. زمین نیز در مسیر چرخشی خود به سوی آن پیش می‌رود. بنابراین، تفاوت ظریف در شدت طیف تابش دریافتی، نشانه‌ی مستقیم از جایگاه دینامیکی ما در ساختار چرخان کیهان است که این پدیده از دیدگاه نظریه‌ی «کیهان دوار طاهری»، بازتابی از تعادل پویا میان واگرد فضا، چرخش کلی کیهان و تجزیه‌ی تدریجی TAM است؛ فرآیندی که سرچشمه‌ی تابش و تداوم حیات کیهانی به شمار می‌رود (شکل ۳۵).

این تفسیر با مجموعه‌ای از مشاهدات کلیدی کیهان‌شناختی نیز هم‌خوانی دارد:

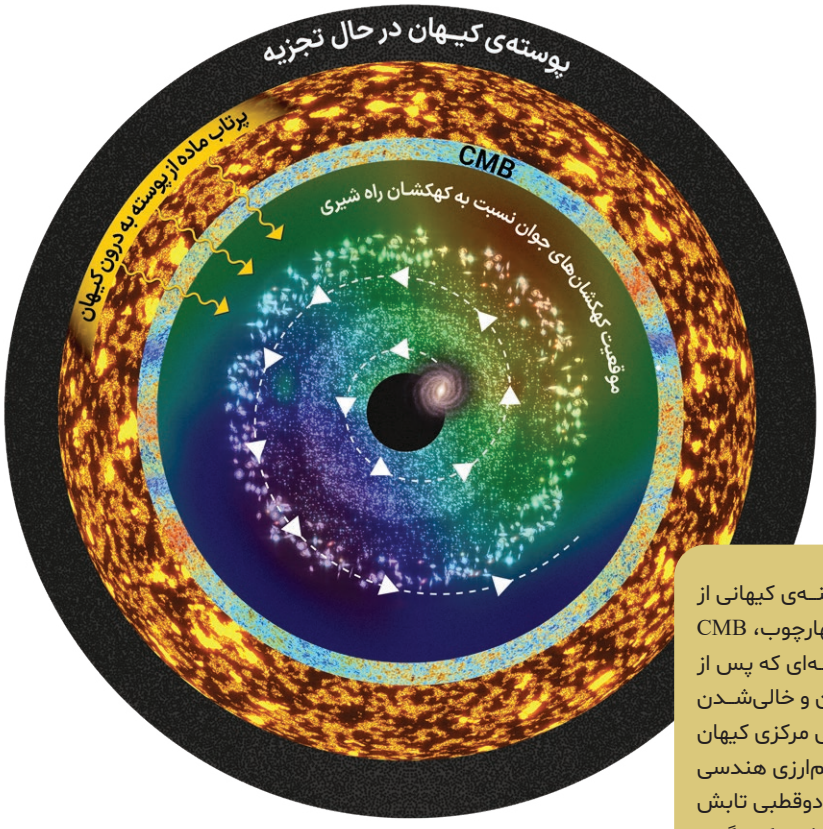
۱- هم‌راستایی جهت دوقطبی تابش CMB با محور چرخش هر یک از کهکشان‌های دوردست که بر اساس تحلیل‌های شامیر (۲۰۲۰) گزارش شده است [۸۰].

۲- هم‌جهتی محور دوقطبی با محور گشتاورهای چندقطبی مرتبه‌های پایین (چهارقطبی و هشت‌قطبی) در داده‌های WMAP و Planck که از وجود نوعی محور ترجیحی در مقیاس‌های بزرگ خبر می‌دهد [۷۷], [۸۱].

۳- آشکارشدن دوقطبی باقی‌مانده‌ی ضعیف در داده‌های پلانک پس از حذف مولفه‌ی جنبشی که از نظر آماری با همان محور ترجیحی (Axis of evil) هم‌راستا است [۸۲].

در واقع می‌توان گفت این گرادیان ساختاری تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی، امضایی قابل مشاهده در مدل کیهان کروی محسوب می‌شود و در مطالعات آینده‌ی CMB می‌تواند از طریق جداسازی دقیق سهم‌های جنبشی و هندسی، مورد آزمون تجربی قرار گیرد.

۱- در کیهان‌شناسی، Axis of Evil که معمولا به فارسی «محور شر» ترجمه می‌شود، یک اصطلاح غیررسمی است برای اشاره به نوعی ناهنجاری در داده‌های تابش زمینه‌ی کیهانی.



شکل ۳۵- مطابق نظریه‌ی کیهان دوار طاهری، تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی از نواحی فعال نزدیک به پوسته‌ی کیهان گسیل می‌شود. در این چهارچوب، CMB به‌صورت لایه‌ای تابشی در نواحی درونی کیهان حضور دارد؛ لایه‌ای که پس از آن جهان مرئی معنادار می‌شود. به دلیل هندسه‌ی کروی کیهان و خالی‌شدن مرکز از اجرام به دلیلی نیروی گریز از مرکز، ناظر واقع در نواحی مرکزی کیهان (زمین) فاصله‌ی یکسانی تا پوسته در همه‌ی جهات ندارد. این ناهم‌ارزی هندسی در فاصله، به پیدایش مولفه‌ای ساختاری در ناهمسان‌گردی دوقطبی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی می‌انجامد که در کنار مولفه‌ی جنبشی ناشی از حرکت گروه محلی می‌تواند در چهارچوب SCM به عنوان امضایی رصدپذیر از ساختار کروی و چرخش کلی کیهان تفسیر شود.

www.Journalofcosmointel.com

۲-۷- چهار قطبی

همان‌طـور کـه بیـان شـد یکـی از ناهنجاری‌هـای بزرگ‌مقیـاس در نقشـه‌های CMB، کاهـش تـوان چهارقطبی نسبت به مقدار پیش‌بینی‌شده در چهارچوب ΛCDM اسـت که در داده‌های WMAP و Planck به‌طور مسـتقل مشاهده و گزارش شده است [۸۱], [۸۳], [۸۴]. در ایـن چهارچـوب انتظـار مـی‌رود دامنـه‌ی چهارقطبی، بیان‌گـر نوسـانات دمایـی در بزرگ‌تریـن مقیاس‌هـای زاویـه‌ای آسـمان باشـد. بـا ایـن حـال، اندازه‌گیری‌هـای دقیـق WMAP و Planck نشـان داده‌انـد مقـدار واقعـی C_2، کم‌تـر از مقـدار میانگیـن پیش‌بینی‌شـده از طریـق ΛCDM و در حـد تنـش آمـاری خفیف اسـت؛ پدیـده‌ای کـه بـه عنـوان «کسـری در تـوان چهارقطبی» (Quadrupole Power Deficit) شـناخته می‌شـود. بـه عبارتـی با فـرض عدم وجـود واریانس کیهانی و سـختی اندازه‌گیری‌ها، چون در مدل استاندارد، کیهان در مقیاس خیلـی بـزرگ بایـد تصادفی ولـی آماری قابـل پیش‌بینی باشـد، کم‌بـودن چهارقطبـی به این معنا اسـت که انگار کیهان در بزرگ‌ترین مقیاس‌ها کم‌تر از حد انتظار لرزش دمایی دارد.

امـا نظریـه‌ی کیهـان دوار طاهـری بیـان می‌کنـد ایـن ناهنجاری‌ها حاصل تصادف آماری نیستند، بلکه از تجزیه و چرخش پوسـته‌ی کیهان کروی ناشی می‌شوند. در این دیـدگاه، تابـش پس‌زمینـه‌ی کیهانـی که از ایـن تجزیه پدید می‌آید، درون این کره‌ی عظیم به شـکل مولفه‌های غیرشـعاعی به سمت مرکز کیهان گسترش پیدا می‌کند. از سوی دیگر، همه‌ی اجرام به سمت پوسته، هم‌زمان با افزایـش حجم کیهان در حال حرکت هسـتند. در نتیجه وجود این دو عامل به‌صورت کلی باعث شکل‌گیری نوعی هم‌راسـتایی کلان‌مقیاس در میـدان تابـش می‌شـود. پیامـد طبیعی این فرآیند، تضعیف نوسـانات دمایی در مقیاس‌های بزرگ آسمان است.

بنابراین، ایـن پدیده در تحلیل «همسـازهای کروی»[۱] به‌صـورت کاهـش دامنـه‌ی مولفه‌هـای چهارقطبـی و هشـت‌قطبی در نقشـه‌ی CMB نمایان می‌شـود که در ΛCDM توضیـح طبیعـی ندارد. به بیـان دیگر، در حالی کـه ΛCDM ایـن کاهش را به نوسـانات آمـاری تصادفی نسـبت می‌دهـد، کیهـان دوار طاهـری ایـن کسـری را نتیجه‌ی مستقیم چرخش کیهان و گرادیان شعاعی توان تابشـی نشـات‌گرفته از تجزیه‌ی پوسته‌ی آن می‌داند که ناظـر روی اجرام در حال حرکت به سـمت پوسـته، آن را به‌صورت این ناهنجاری مشاهده می‌کند.

۳-۷- هشت‌قطبی

در تحلیل‌های دقیق نقشه‌ی تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی، افزون بر ناهمسان‌گردی‌های دوقطبی و چهارقطبی، الگوی «هشت‌قطبی» نیز ویژگی‌های غیرمنتظره‌ای نشان می‌دهد. در مدل استاندارد، انتظار می‌رود مولفه‌های چندقطبی پایین (چهار قطبی، هشـت‌قطبی) صرفا تجلی نوسـانات آماری تصادفـی و گوسـی در میدان اولیه‌ی چگالی/پتانسـیل با جهت‌گیری‌های تصادفی و همسان‌گرد باشند؛ با این حال، داده‌های ماموریت‌های WMAP و Planck نشـان داده‌اند چهارقطبـی و هشـت‌قطبی محـور مشـترکی را تعریـف می‌کننـد [۷۷], [۸۵] که به‌طور غیرعادی با جهت دوقطبی کینماتیکی و صفحه‌ی دائرة البروج هم‌راسـتا است [۸۵]. این هم‌راستایی با فرض همسان‌گردی آماری در چهارچوب ΛCDM، رخدادی با احتمال کم است و شاید نشانه‌ای از آنومالی‌ای بزرگ‌مقیاس باشد.

در صورتـی کـه ایـن هم‌جهتـی نیـز در چهارچـوب نظریـه‌ی «کیهـان دوار طاهـری» تصادفی نیسـت؛ بلکه همان‌طـور کـه دربـاره‌ی مفاهیـم دوقطبـی و چهارقطبی بیان شـد، این پدیده نتیجه‌ی مستقیم ساختار چرخان و گرادیـان شـعاعی اجـرام (چگالـی، تعـداد، روشـنایی، سـرعت، میدان و...) در فضا اسـت. بر اسـاس نظریه‌ی «کیهـان دوار طاهری» کیهان و به‌تبع آن فضا، نه ایسـتا بلکـه دارای چرخـش هسـتند. بنابرایـن، انرژی تابشـی (CMB) حاصـل از تجزیه‌ی پوسـته در سراسـر کیهان با پیـروی از الگوی چرخشـی فضا به‌صـورت مولفه‌های غیر شـعاعی توزیع می‌شـود. طوری که هر چه از مرکز کیهان به سـوی پوسـته حرکـت کنیم، چگالی و فشـار تابشـی افزایش می‌یابد و این گرادیان شـعاعی در توزیع تابش، منجـر به شـکل‌گیری نوسـانات هماهنـگ در مرتبه‌های بالاتر همسازهای کروی (همچون هشت‌قطبی) می‌شود. به عبارتی از دیدگاه دینامیکی، چرخش پوسـته‌ی کیهان نه‌تنهـا موجـب ایجاد الگوهای مختلفی در فضا می‌شـود کـه در مقیاس‌های کلان به‌صورت نوسـانات چندمحوری (Multipole Patterns) در میـدان دمـا و قطبـش CMB بـروز می‌کننـد، بلکـه نشـان‌دهنده‌ی جهـت ترجیحـی حرکـت اجـرام از مرکـز کیهان بـه صورت غیرشـعاعی اما همه‌جهتـی به سـمت ایـن پوسـته اسـت. بنابراین، به نظر می‌رسـد مولفه‌ی هشـت‌قطبی پس‌زمینـه‌ی تابش ریزمـوج کیهانی، بازتابی هندسـی از سـاختار مارپیچی و چندمحوری چرخش فضا باشـد؛ ساختاری که چهارچوب مـدل کیهـان کـروی آن را پیش‌بینـی می‌کنـد. در ایـن مـدل، چرخش کیهان محدود به محوری منفرد نیسـت،

۱- «همسازهای کروی یا *Spherical Harmonics*» توابع ریاضی‌ای هستند که برای تجزیه‌ی یک تابع تعریف‌شده روی سطح کره (مانند دمای CMB در آسمان) به اجزای زاویه‌ای مختلف استفاده می‌شوند. به زبان ساده، همان‌طور که می‌توان یک موج صوتی را به فرکانس‌های سینوسی گوناگون تجزیه کرد (تجزیه‌ی فوریه)، دمای CMB نیز روی کره‌ی آسمان به همسازهای کروی مختلف تجزیه می‌شود.

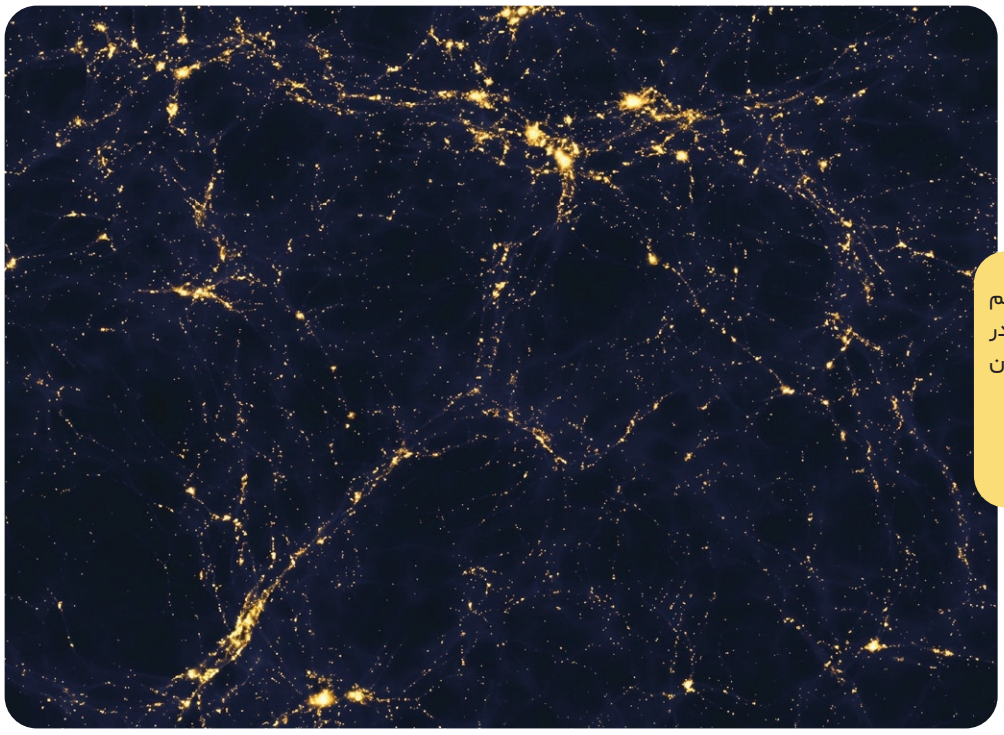
بلکه به‌صورت برآیندی از چند محور با فازهای متفاوت توصیف می‌شود؛ وضعیتی که می‌تواند ترازشدگی غیرعادی میان چهارقطبی و هشت‌قطبی را که در تحلیل‌های تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی با عنوان quadrupole-octupole alignment شناخته می‌شود به‌طور طبیعی پدید آورد [۸۶], [۸۷]. چنین ساختاری با مشاهدات Axix of Evil نیز سازگار است؛ پدیده‌ای که در آن، محور ترجیحی چهارقطبی و هشت‌قطبی به‌طور غیرعادی با جهت دوقطبی کینماتیکی که بیانگر حرکت منظومه‌ی شمسی نسبت به چهارچوب CMB است هم‌راستا می‌شود [۸۸], [۸۹]. در این تفسیر، توزیع شعاعی و زاویه‌ای اجرام نیز تحت تاثیر همان چرخش چندمحوری بوده و الگوی مشاهده‌شده‌ی ناهمسان‌گردی‌ها را تقویت می‌کند [۲۷], [۹۰], [۹۱], [۹۲]. بنابراین، همان‌گونه که در بخش‌های قبلی نیز بیان شد، وجود جهت‌های ترجیحی در تابش CMB از دوقطبی تا چهارقطبی و هشت‌قطبی، نه‌تنها ناسازگار با SCM نیست، بلکه پیشنهاد آزمون‌پذیر دیگری بر ماهیت چرخان و هندسه‌ی کروی کیهان در این مدل محسوب می‌شود.

۸- ساختارهای بزرگ‌مقیاس و نشانه‌هایی از چرخش همه‌محوری کیهان

۸-۱- مدل استاندارد ΛCDM و پیدایش ساختارهای کیهانی

در نگاه اول ممکن است چیدمان کهکشان‌ها در آسمان شب تصادفی به نظر برسد اما نقشه‌برداری‌های عمیق از جهان، مانند (SDSS) (Sloan Digital Sky Survey) و DESI Dark Energy Spectroscopic (Instrument) نشان می‌دهند ماده‌ی باریونی در مقیاس‌های بسیار بزرگ به‌صورت شبکه‌ی عظیم و درهم‌تنیده‌ی سازمان‌یافته است که به آن شبکه‌ی کیهانی (Cosmic Web) گفته می‌شود. این شبکه از رشته‌های دراز و باریکی از کهکشان‌ها (Filaments)، دیواره‌های گسترده‌ی کهکشانی (Walls)، گره‌های پرچگال که ابرخوشه‌ها را تشکیل می‌دهند (Nodes) و حفره‌های بزرگ (Voids) ساخته شده است. در مجموع، این ساختارها نقشه‌ی هندسی توزیع ماده در کیهان را شکل می‌دهند و نشان می‌دهند جهان در مقیاس‌های کیهانی، دارای نظم و پیوستگی چشم‌گیری است [۹۳].

بر اساس مدل استاندارد ΛCDM، رشد این ساختارها از نوسانات چگالی بسیار کوچک در مرتبه‌ی $\delta\rho/\rho \sim 10^{-5}$ در پلاسمای اولیه آغاز می‌شود. عبارت $\delta\rho/\rho$ به معنای تغییرات چگالی در کیهان اولیه در حدود یک‌صدهزارم مقدار میانگین آن است. این نوسانات در اثر ناپایداری‌های گرانشی (Jeans Instability) در طول زمان رشد کرده‌اند و منجر به فروپاشی مناطق متراکم‌تر شده‌اند (ناپایداری Jeans همان نقطه‌ای است که در آن گرانش باعث فروپاشی توده‌های گازی می‌شود و بذرهای اولیه‌ی تشکیل ستارگان، کهکشان‌ها و ساختارهای بزرگ‌مقیاس کیهان را ایجاد می‌کند). ماده‌ی تاریک سرد (CDM) (Cold Dark Matter) نیز که تنها از طریق گرانش بر فضا اثر می‌گذارد، نخستین بذرهای چاه‌های پتانسیل گرانشی را ایجاد کرده و ماده‌ی باریونی پس از دوره‌ی نوترکیبی، درون این چاه‌ها فرو ریخته و به تشکیل کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی منجر شده است [۹۴]. در این مدل، دینامیک رشد ساختارها به‌طور عمده با معادلات پواسون (Poisson equation) و اویلر (Leonhard Euler) در تقریب نیوتنی توصیف می‌شود و فرض می‌شود که جهان در مقیاس‌های بسیار بزرگ، همگن و همسان‌گرد است. در چنین جهانی هیچ محور ترجیحی‌ای برای چرخش یا تکانه‌ی زاویه‌ای کلان‌مقیاس وجود ندارد و میدان سرعت میانگین باید به‌صورت پتانسیلی (Irrotational) باشد؛ به این معنا که هیچ چرخش یا گردابه‌ای در میدان وجود ندارد (شکل ۳۶) .



شکل ۳۶- مدل کامپیوتری از شبکه‌ی عظیم کیهانی که نحوه‌ی توزیع نور در کیهان اولیه در مقیاس‌های وسیع با پهنای بیش از ۵۰ میلیون سال نوری را نشان می‌دهد.

Credit: Andrew Pontzen/Fabio Governato

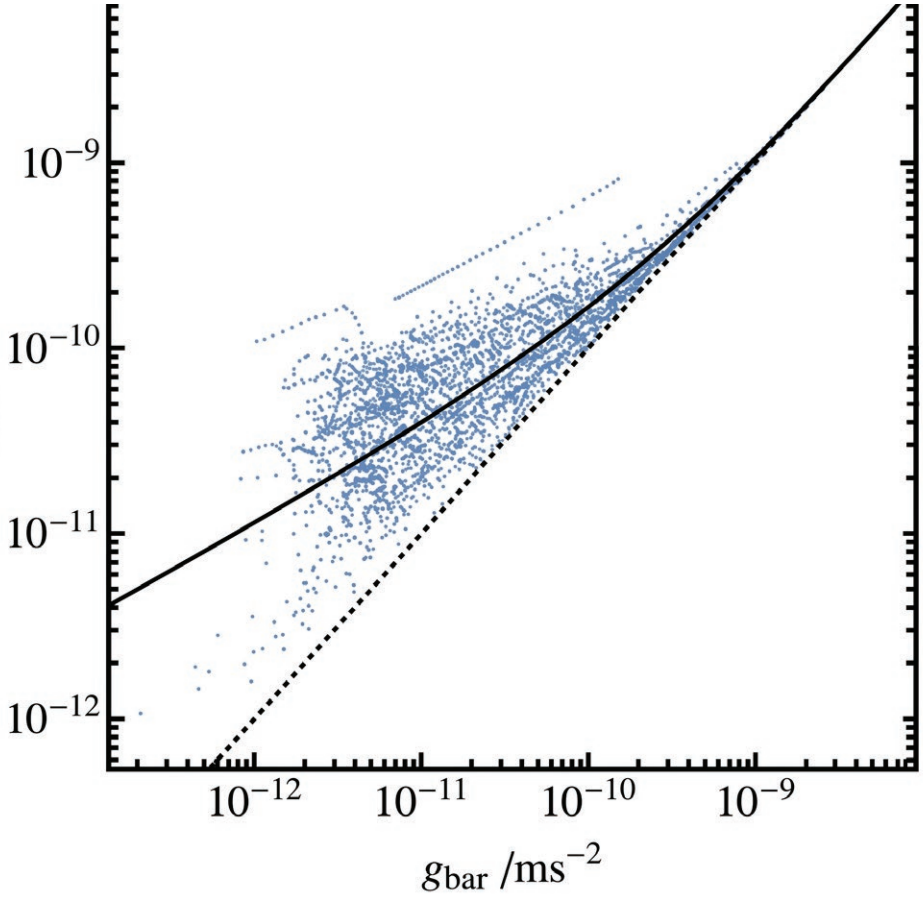
بـا این حـال، نتایج چند دهـه‌ی اخیر از نقشـه‌برداری‌های رصدی نشـان داده‌انـد در برخـی سـاختارهای رشـته‌ای نشـانه‌هایی از هم‌راسـتایی آماری اسپین هاله‌ها در امتداد آن‌ها مشاهده می‌شود [۹۵]. ایـن پدیده می‌تواند با تقریب خطی ΛCDM که در آن میدان سـرعت به‌صـورت پتانسـیلی و بـدون گردابه فرض می‌شـود، نوعی تنـش مفهومـی ایجـاد کنـد و بـه تفسـیرهایی بینجامد کـه در آن مولفه‌هـای گردابـه‌ای ثانویه در میدان سـرعت به‌ویـژه در رژیم‌های غیرخطی، نقش ایفا می‌کنند. در چهارچوب ΛCDM، منشاء تکانه‌ی زاویه‌ای کهکشـان‌ها معمولا به فرآیندهای محلی گشـتاور کشـندی (Tidal Torque Theory) نسـبت داده می‌شـود. بـا ایـن حـال، ایـن سـازوکار در توضیح هم‌راستایی‌های مشاهده‌شده در مقیاس‌هایی فراتر از مقیاس‌های محلی سـاختار، با چالش‌هایی مواجه اسـت. از این رو رصدهای اخیر از هم‌خطی محوری میان کهکشان‌ها، کوازارها و حتـی رشـته‌های کیهانـی [۸۰], [۹۶], [۹۷]، می‌تواند از دیدگاه‌هایی همچـون SCM، احتمال وجـود میدان چرخش کلان‌مقیاس را مطرح کند؛ مولفه‌ای که در ΛCDM به‌طور طبیعی غایب است.

۸-۲- هم‌خطی کهکشان‌های اقماری

بر اسـاس مدل اسـتاندارد کیهان‌شناسـی (ΛCDM)، شکل‌گیری کهکشـان‌های اقماری به‌طور عمده درون زیرهاله‌های ماده‌ی تاریک و در نتیجه‌ی فروپاشـی گرانشـی به‌صورت تدریجی در امتداد شبکه‌ی کیهانی رخ می‌دهد. شبیه‌سـازی‌های عددی ΛCDM نشان می‌دهند اگرچـه توزیـع زاویه‌ای اقمـار می‌تواند تا حدی تخت و ناهمسـان‌گرد باشـد اما به‌طور معمـول انتظار می‌رود این کهکشـان‌های کوچک در مدارهایی با جهت‌گیری‌های آماری نسـبتا تصادفـی پیرامون میزبان خـود توزیـع شـوند و تشـکیل صفحه‌ای بسـیار نـازک و کینماتیکی هم‌چرخـان، پدیده‌ای نادر باشـد. با این حـال، داده‌های رصدی اخیر ایـن انتظـار را بـرای برخـی سیسـتم‌ها به‌ویـژه راه شـیری، M31 و قنطورس A با چالش جدی روبه‌رو کرده‌اند. به‌گونه‌ای که در سیستم کهکشـانی قنطـورس A (Centaurus A)، مشـاهدات سـرعت‌های شعاعی و توزیع سه‌بعدی اقمار نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از این کهکشـان‌های اقماری در صفحه‌ای نـازک و هم‌تراز قرار گرفته‌اند و بیش‌تـر آن‌هـا الگـوی چرخشـی هم‌جهتـی (co-rotation) پیرامون میزبان نشان می‌دهند. این آرایش منسجم، از نظر دینامیکی بیان‌گر نوعی هم‌ترازی زاویه‌ای در مقیاس کهکشانی است [۹۸] (شکل ۳۷).

شـکل ۳۷- تصویر شبیه‌سازی‌شـده با هوش مصنوعی که به‌شـکل مفهومـی، توزیـع سـه‌بعدی کهکشـان‌های اقماری هم‌جهـت به دور کهکشان‌های میزبان (به‌طور مثال قنطروس A) را نشان می‌دهد. هر نقطه در تصویر نماینده‌ی کهکشـان اقماری فرضی و خطوط مارپیچی نشان‌دهنده‌ی حرکت مداری آن‌ها است.





شکل ۳۸- پیش‌بینی متقارن (Symmetron) در مقابل پیش‌بینی یکی از تحقق‌های مدل سیمترون در مقایسه با گرانش نیوتنی باریونی. این نمودار نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی میان شتاب کل مشاهده‌شده ($g_{\rm tot}$) و شتاب باریونی ($g_{\rm bar}$) در چهارچوب مدل نیروی پنجم سیمترون است. نقاط آبی بیان‌گر داده‌های مشاهده‌ای از مجموعه‌ی کهکشانی SPARC هستند. خط سیاه پیوسته، پیش‌بینی مدل سیمترون را نشان می‌دهد و خط‌چین، رابطه‌ی خطی نیوتنی را نمایش می‌دهد. انحراف سیستماتیک داده‌ها از خط نیوتنی در نواحی با شتاب پایین، در این چهارچوب می‌تواند به‌صورت کیفی در اثر برهم‌کنش میدان اسکالری سیمترون با ماده‌ی باریونی بازتولید شود.

Credit: Adapted from *Burrage, C., Copeland, E. J., & Millington, P. (2017). Radial acceleration relation from symmetron fifth forces, arXiv:1610.07529 [astro-ph.CO].*

تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد احتمال تصادفی‌بودن چنین ساختاری در چهارچوب شبیه‌سازی‌های ΛCDM تنها در حد چنددهم درصد (کم‌تر از حدود ۰٫۵٪) است و در برخی برآوردها حتی به حدود ۰٫۲٪ می‌رسد [۹۹]. از این رو، این نتیجه در ΛCDM پدیده‌ای بسیار نادر است و از این رو چالش آماری ایجاد می‌کند. برخی پژوهش‌گران در واکنش به این ناهنجاری دنبال چهارچوب‌هایی فراتر از ΛCDM رفته‌اند. یکی از این رویکردها بر مبنای وجود ذرات اسکالری فرضی موسوم به «سیمترون» (Symmetron) است که در نظریه‌های گرانش تعدیل‌شده‌ی «میدان اسکالر» (Scalar-Tensor Modified Gravity) مطرح می‌شوند. در این سناریو، میدان سیمترون یک میدان اسکالری با پتانسیل شکستن تقارن است که رفتار آن به چگالی محیط بستگی دارد. در نواحی با چگالی بالا، میدان خاموش شده و نیروی اضافی ناشی از آن «اسکرین» می‌شود، در حالی‌که در چگالی‌های پایین‌تر فعال شده و در کنار گرانش نیوتنی، نیروی پنجم با برد وابسته به پارامترها را اعمال می‌کند. اسکرین، سازوکاری در نظریه‌های گرانشِ تعدیل شده است که باعث می‌شود اثر میدان‌ها یا نیروهای اضافی (مانند نیروی پنجم ناشی از یک میدان اسکالر) در نواحی با چگالی بالای ماده مانند منظومه‌ی شمسی یا هسته‌ی کهکشان‌ها به‌طور موثر سرکوب یا غیرفعال شود، در حالی‌که همین نیروها می‌توانند در نواحی کم‌چگال میان‌کهکشانی فعال باقی بمانند [۱۰۰]. گذارهای فازی این میدان می‌توانند به تشکیل «دیواره‌های دامنه‌ای» (Domain walls) میان حالت‌های تقارن‌شکسته (Symmetry-broken states) منجر شوند. پیشنهاد شده است این دیواره‌ها به‌صورت مرزهای پتانسیلی پایدار عمل کرده و مدار بخشی از کهکشان‌های کوچک‌تر را در صفحه‌ی معینی نگه می‌دارند و به این ترتیب، سازوکاری فراهم می‌شود که به وسیله‌ی آن، شکل‌گیری ساختارهای دیسک‌مانند و هم‌تراز اقمار کهکشانی را مانند آنچه در سیستم قنطورس A دیده می‌شود، توضیح دهند [۱۰۱] (شکل ۳۸). با این حال، باید تاکید کرد این سازوکار هنوز در حد فرضیه است. هیچ شواهد مستقیمی از وجود ذرات سیمترون یا نیروی پنجم در داده‌های اخترفیزیکی یا آزمایش‌های گرانشی یافت نشده است و داده‌ها به‌طور عمده به محدودیت‌گذاری روی پارامترهای آن انجامیده‌اند. علاوه بر این، مدل‌های سیمترونی به‌طور ذاتی نیازمند انتخاب دقیق پارامترهای کوپلینگ و چگالی بحرانی‌اند تا بتوانند در مقیاس‌های کهکشانی اثرگذار باشند؛ بی‌آن‌که با آزمایش‌های دقیق گرانش در مقیاس‌های محلی (مانند منظومه‌ی شمسی) ناسازگار شوند. در نتیجه، اگرچه مدل ΛCDM در توضیح هم‌ترازی‌های مشاهده‌شده در سیستم‌هایی همچون قنطورس A با محدودیت جدی روبه‌رو است اما جایگزین‌های پیشنهادی نیز هنوز از پشتیبانی تجربی کافی برخوردار نیستند. این مسئله یکی از چالش‌های باز در کیهان‌شناسی ساختار بزرگ‌مقیاس به شمار می‌رود و در برخی چهارچوب‌های نظری پیشنهادی می‌تواند نشانه‌ای از وجود دینامیک‌های ناشناخته یا حتی ساختار چرخشی کلان در فضا-زمان باشد؛ هرچند این تفسیر فعلا پشتوانه‌ی رصدی مستقیمی ندارد.

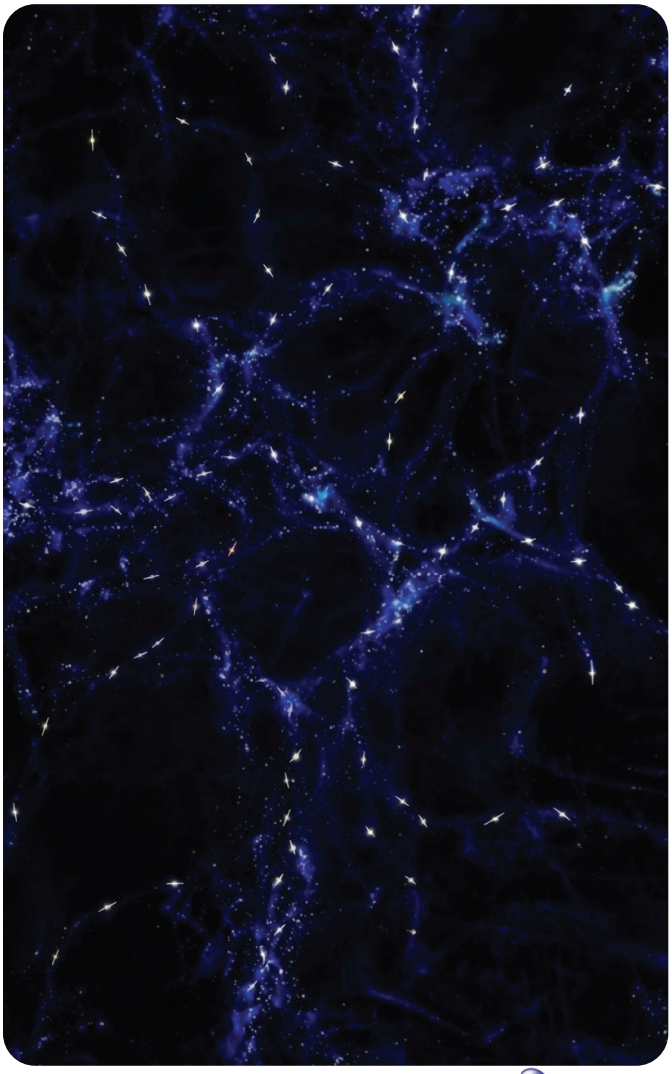
www.Journalofcosmointel.com

۸-۳- هم‌خطی محوری کوازارها و چرخش بزرگ‌مقیاس فضا

کوازارهـا یـا اجرامـی کـه گاهـی از آن‌هـا بـه عنـوان «Quasi-Stellar Radio Sources» نام برده می‌شود، از درخشان‌ترین و پرانرژی‌تریـن اجرام کیهان به شـمار می‌آیند کـه به‌طور معمول در فواصـل میلیاردهـا سـال نوری از ما قابـل رصد هسـتند. این اجرام به عنوان زیررده‌ای از هسـته‌های فعال کهکشـانی (AGN) شناخته می‌شـوند کـه در مرکـز آن‌ها یک ابر سـیاهچاله‌ی پرجرم قـرار دارد. تابـش شـدید این اجرام از انرژی آزادشـده در دیسـک برافزایشـی (Accretion Disk) پیرامون سیاهچاله ناشی می‌شود؛ جایی که ماده بـا سـرعت‌های نسـبیتی، حرکت مداری داشـته و در اثـر اصطکاک، برش‌های ویسـکوز و میدان‌های مغناطیسـی، انرژی گرانشی خود را در گستره‌ای وسیع از طول‌موج‌ها از فروسرخ تا فرابنفش و گاه پرتو X، گسـیل می‌کنـد [۱۰۲]. درخشـندگی برخی کوازارهـا از مجموع نور همه‌ی سـتارگان در کهکشان میزبان‌شان نیز فراتر می‌رود؛ طوری‌که می‌توانند با توان تابشـی در حدود 10^{38} تا 10^{41} وات بدرخشند [۱۰۳]. پرتـوِ نـوری این اجـرام اغلبْ قطبـش خطـی (Linear Polarization) دارد کـه منشـاء آن پراکندگـی و سـاختارهای مغناطیسـی در محیط برافزایشـی بوده و احتمـالا اطلاعاتی درباره‌ی هندسـه و جهت‌گیری آماری محور تقارن سامانه فراهم می‌کند [۱۰۴].

مشـاهدات رصـدی اخیـر در ادامـه‌ی جسـت‌وجو بـرای یافتـن شـواهدی از هم‌جهتـی حرکـت کهکشـان‌ها در مقیاس‌هـای چنـد مگاپارسـکی، ابعـاد دیگـری از ایـن هم‌راسـتایی امـا از نوعی متفـاوت، آشـکار کرده‌انـد. تیمـی به سرپرسـتی دنیل هوتسـمکرز (Daniel Hutsemékers) بـا اسـتفاده از داده‌هـای بـه دسـت آمـده از تلسـکوپ بسـیار بـزرگ (Very Large Telescope) (VLT) در رصدخانه‌ی پارانال شیلی، موفق به کشف هم‌راستایی غیرمنتظره‌ای در جهت‌گیری قطبش نوری کوازارها شد [۱۰۵].

در ایـن پژوهش، جهت‌گیری محورهای قطبش نوری این کوازارها در بـازه‌ی انتقـال بـه سـرخِ $z \sim 1.3$ مورد بررسـی دقیق قـرار گرفت [۱۰۵]. نتایـج نشـان داد این اجـرام فوق درخشـان نه‌تنها به‌صورت تصادفی در آسـمان پراکنده نیسـتند، بلکه محورهای قطبش آن‌ها هم‌راسـتایی آمـاری معنـاداری بـا محورهـای سـاختارهای رشـته‌ای کیهانـی‌ای که در آن‌ها جای گرفته‌اند، نشـان می‌دهنـد. این پدیده که بـا نـام «large-scale quasar polarization alignment» شـناخته می‌شـود، بیان‌گر وجود نوعی هم‌ترازی جهانی در محورهای چرخشی کهکشـان‌ها و سـیاهچاله‌های مرکزی آن‌ها است؛ هم‌ترازی‌ای که در مقیاسـی فراتر از یک گیگاپارسـک (بیش از سـه‌میلیارد سال نوری) امتـداد می‌یابـد [۱۰۶]. در چهارچوب ΛCDM چنین هم‌راسـتایی‌ای غیرمنتظره اسـت؛ زیرا بر اساس این مدل، جهت‌گیری‌های تصادفی در مقیاس‌هـای بـزرگ بـرای ایـن اجـرام مـورد انتظار اسـت. از این رو، ایـن یافتـه می‌توانـد نشـانه‌ای از وجـود ویژگی‌های چرخشـی یا جهت‌دار در سـاختار کلان کیهان باشـد که با مدل‌های ایزوتروپیک استاندارد در تضاد است؛ هرچند تفسیر آن‌ها به عنوان نشانه‌ای از چرخـش یا جهت‌داری کلان کیهان همچنان فاقد پشـتوانه‌ی رصدی مستقیم است. با این حال این یافته‌ها، همراه با شواهد مشابه از هم‌راسـتایی محورهای دوقطبی، چهارقطبی و هشت‌قطبی در تابش CMB [۸۱], [۸۵] پرسـش‌هایی اساسـی درباره‌ی فرض همسان‌گردی و عدم چرخش جهان در مدل ΛCDM مطرح کرده‌اند (شکل ۳۹).



شـکل ۳۹- ایـن تصویـر به‌صـورت شـماتیک نشـان‌دهنده‌ی هم‌ترازی‌هـای اسـرارآمیز میـان محورهای چرخشـی کوازارها و ساختارهای مقیاس بزرگی که در آن‌ها سـاکن‌اند، اسـت که تلسـکوپ بسیار بزرگ ESO رصد کرده است. این هم‌ترازی‌ها دارای فاصله‌ای بیش از میلیاردها سـال نوری‌اند و بزرگ‌تریـن هم‌ترازی‌های شناخته‌شـده در کیهان هسـتند. سـاختار در مقیاس بزرگ کیهان با رنگ آبی نشـان داده شـده و کوازارها با رنگ سـفید با محورهای چرخش سـیاهچاله‌های آن‌ها با یک خط مشخص شده‌اند.

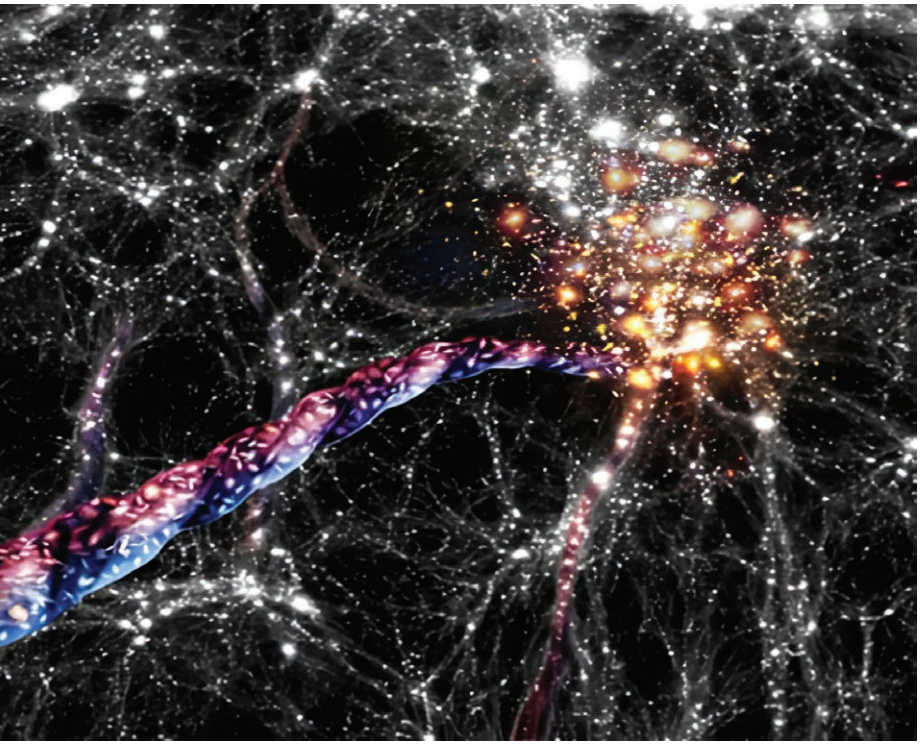
Credit: ESO/M. Kornmesser

۸-۴- چرخش رشته‌های کیهانی در چهارچوب ΛCDM (از گرادیان‌های سرعت تا انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای)

رشته‌های عظیم کهکشانی (Galaxy filaments) در چهارچوب ΛCDM با عنوان مسیرهای اصلی جریان جرم و انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای به هاله‌ها و کهکشان‌ها شناخته می‌شوند. با این حال، این موضوع که آیا خود رشته‌ها دارای مولفه‌ای از چرخش هستند یا خیر همچنان برای کیهان‌شناسان مبهم باقی مانده بود تا این‌که Peng Wang و همکاران او در سال ۲۰۲۱ در مجله‌ی *Nature Astronomy* برای نخستین‌بار شواهد تجربی‌ای از وجود چرخش در رشته‌های کیهانی گزارش کردند [۱۰۷]. در این مطالعه، با بهره‌گیری از داده‌های طیفی گسترده‌ی حاصل از پیمایش‌های کهکشانی، محور و ساختار هندسی صدها رشته تعیین شد. سپس اختلاف آماری سرعت خط دید (بر اساس انتقال به‌سرخ‌آبی) میان دو سوی هر رشته سنجیده و برای کل نمونه به‌صورت تجمعی تحلیل شد. اگر رشته‌ها فاقد چرخش باشند، انتظار می‌رود توزیع سرعت کهکشان‌ها در دو سوی محور آن از نظر آماری متقارن باشد. اما این تقارن در صورت وجود مولفه‌ی چرخشی، از بین می‌رود و الگوی ناهنجاری منظم در توزیع سرعت‌ها پدیدار می‌شود. اما در این بررسی، تحلیل آماری گسترده‌ی داده‌ها نشان داد به‌طور معنادار چنین گرادیان‌های سرعت وجود دارند و در رشته‌های پرجرم‌تر و نزدیک‌تر به گره‌های شبکه‌ی کیهانی (گره‌های خوشه‌ای) شدت بیش‌تری دارند. محققان با اعمال کنترل دقیق بر منابع خطا، از جمله اعوجاج‌های ناشی از فضای انتقال به سرخ[1] و همچنین، سوگیری‌های هندسی و خطاهای انتخاب آماری نشان دادند این الگوی مشاهده‌شده با وجود مولفه‌ای از چرخش هماهنگ (Coherent Rotation) در ساختارهای رشته‌ای کیهان سازگارتر است و با سناریوهای ساده‌ی جریان‌های هم‌گرا به‌تنهایی سازگاری کامل ندارد. به این ترتیب، رشته‌ها نه‌تنها مسیرهایی برای انتقال جرم و جریان ماده در شبکه‌ی کیهانی به شمار می‌آیند، بلکه کانال‌هایی‌اند که گاز و ماده‌ی باریونی را از محیط میان‌کهکشانی به درون هاله‌های کهکشانی هدایت می‌کنند؛ فرآیندی که نقش اساسی در رشد کهکشان‌ها و تغذیه‌ی آن‌ها از منابع ماده‌ی جدید دارد. افزون بر این، خود رشته‌ها نیز نشان‌دهنده‌ی وجود تکانه‌ی زاویه‌ای آماری هستند که می‌توانند آن را در مقیاس‌های بزرگ منتقل کنند.

این یافته‌ها پیوندی روشن میانپیش‌بینی‌های نظری «نظریه‌ی گشتاور کشندی» (Tidal Torque Theory) و رفتار دینامیکی غیرخطی شبکه‌ی کیهانی برقرار می‌کنند [۱۰۸]. در این چهارچوب، جریان‌های ماده که در مراحل آغازین کیهان به‌صورت تقریبا خطی و همگرا در امتداد رشته‌ها حرکت می‌کنند، به‌تدریج وارد فاز غیرخطی شده و در نتیجه‌ی برهم‌کنش‌های گرانشی و برش‌های فضایی، ورتیسیته و چرخش مقطعی در پوسته‌ی رشته‌ها پدید می‌آید. درست است که در نسخه‌ی تصحیح‌شده‌ی مقاله [۱۰۹] برخی اصلاحات جزئی در نحوه‌ی ارائه و پردازش داده‌ها صورت گرفت اما نتیجه‌گیری اصلی مبنی بر وجود مولفه‌ی چرخش در رشته‌ها بدون تغییر باقی ماند. این پژوهش را می‌توان یکی از نخستین شواهد آماری رصدی از چرخش ساختارهای رشته‌ای بزرگ‌مقیاس در کیهان دانست (شکل ۴۰).

۱- موقعیت ظاهری کهکشان‌ها بر اساس مقدار انتقال به سرخ طیفی



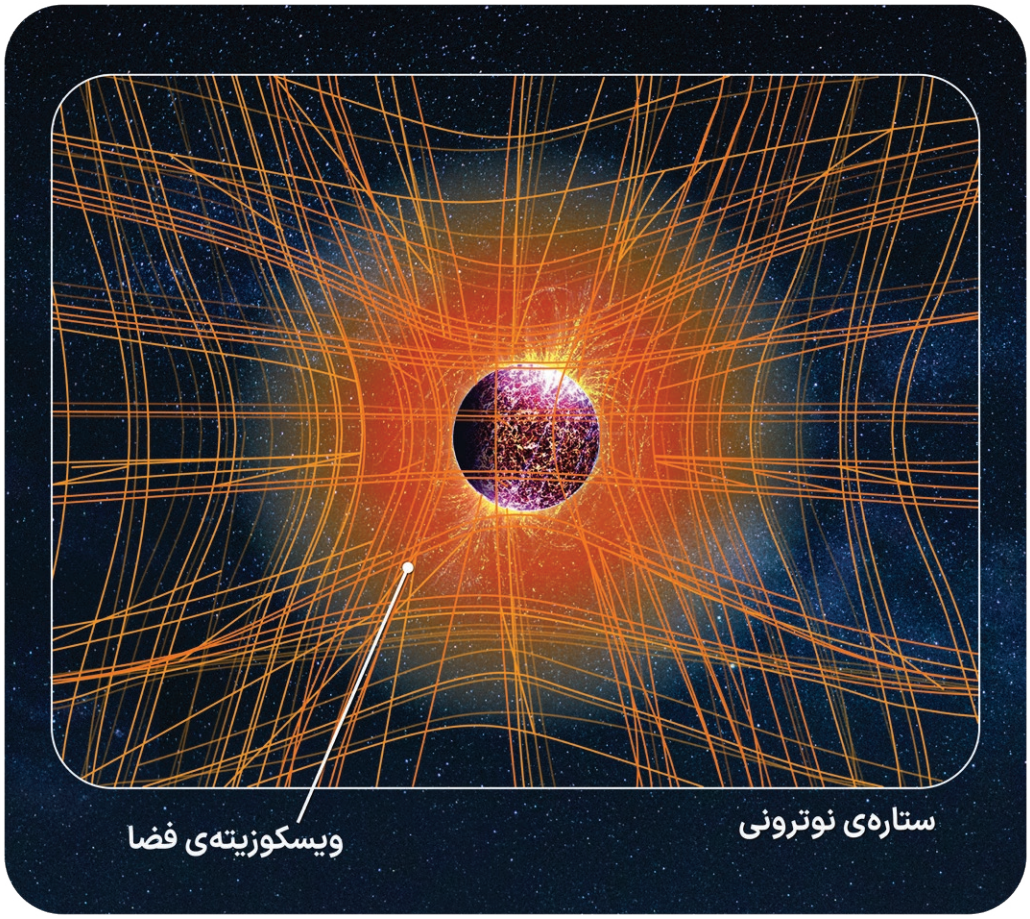
شکل ۴۰- بازنمایی هنری از رشته‌های کیهانی که در آن جریان ماده در امتداد رشته‌ها به‌صورت نمادین همراه با مولفه‌هایی از چرخش مقطعی نمایش داده شده است. این تصویر الگوی انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای در مقیاس‌های بزرگ را مطابق با نتایج آماری مطالعات اخیر نشان می‌دهد.

Credit: Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP), artist's impression based on the statistical results of Wang et al. (2021)

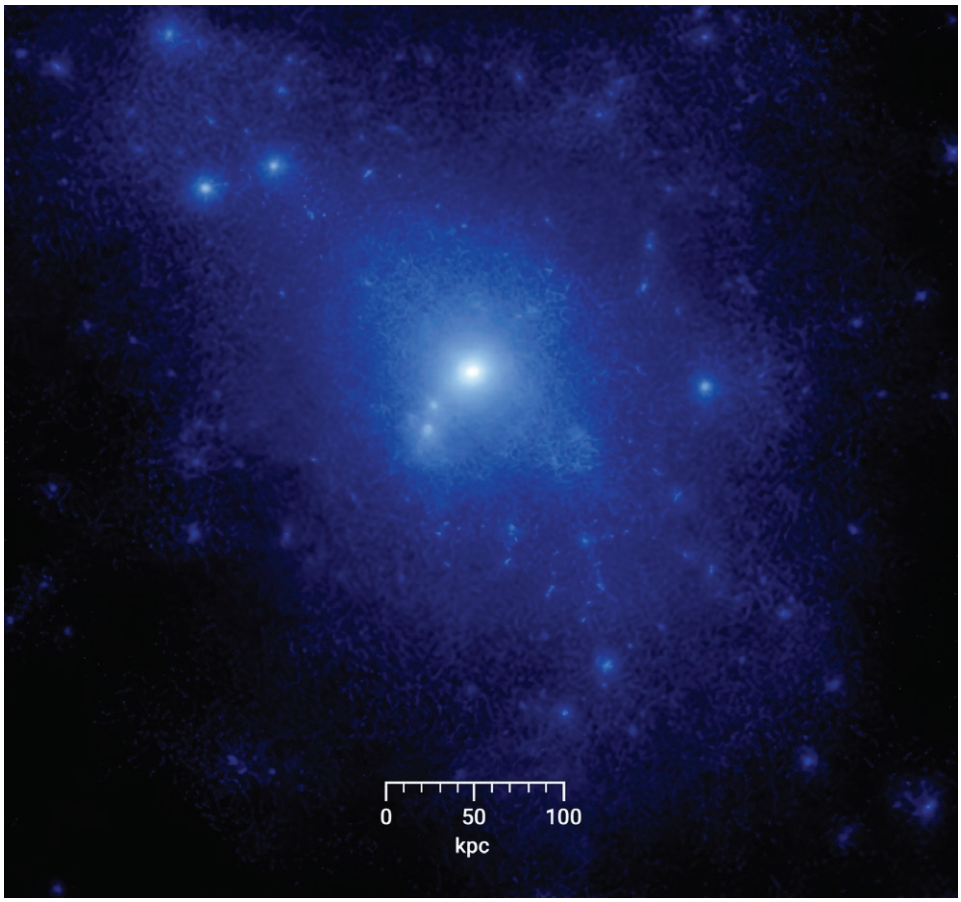
۸-۵- منظومه‌های چرخش گرانشی محلی و گذار از رژیم خطی به غیرخطی در SCM

در مدل کیهان کروی (SCM)، شکل‌گیری ساختارهای چرخشی محلی، نتیجه‌ی مستقیم انقباض تدریجی فضا و افزایش ویسکوزیته‌ی آن در مجاورت اجسام پرجرم است. در این نواحی، افزایش چگالی جرم منجر به افزایش شدت میدان گرانشی و متقابلا افزایش «ویسکوزیته‌ی فضا» می‌شود. این افزایش ویسکوزیته در واقع همان سازوکاری است که باعث می‌شود فضا به‌صورت موضعی رفتار محیط شبه‌سیال از خود نشان دهد و نیروی گرانشی حاصل از جرم باریونی به واسطه‌ی آن به شکل میدانی منتقل شود. در نتیجه، پیرامون اجسام پرجرم نواحی فشرده‌ای از فضا شکل می‌گیرد که بر اساس نظریه‌ی SCM به عنوان هاله‌های ماده‌ی تاریک در مدل ΛCDM عمل می‌کنند؛ با این تفاوت که ماهیت این ماده‌ی تاریک انقباض فضا است نه ذرات فرضی. در این چهارچوب، می‌توان رفتار فضا را که جدا از زمان در نظر گرفته می‌شود در دو رژیم دینامیکی خطی و غیرخطی توصیف کرد:

۱- رژیم خطی: در این ناحیه، چگالی جرم و انحراف از حالت یکنواخت فضا، کوچک است. نوسانات چگالی، کوچک‌تر از یک بوده ($\delta \equiv \frac{\delta\rho}{\rho} \ll 1$) و می‌توان اختلال‌های چگالی را با خطی‌سازی معادلات میدان گرانشی حول زمینه‌ای همگن، مدل‌سازی کرد. یعنی اگر چگالی میانگین فضا را ρ در نظر بگیریم، نوسانات (افزایش یا کاهش موضعی چگالی) آن‌قدر کوچک‌اند که می‌توان آن‌ها را با معادلات خطی توضیح داد. به عبارتی پاسخ فضا در این حالت، متناسب با محرک گرانشی است و روابط بین چگالی، پتانسیل و سرعت به‌صورت مستقیم و قابل حل با معادلات دیفرانسیل خطی بیان می‌شوند. البته همان‌طور که در مباحث پیشین اشاره شد در چهارچوب SCM، گرانش نه انحنایی در هندسه‌ی فضا-زمان، بلکه نیرویی با ماهیت میدانی است که از جرم باریونی سرچشمه می‌گیرد و به تناسب مقدار جرمْ موجب افزایش ویسکوزیته‌ی فضای پیرامون خود می‌شود. با در نظر گرفتن این اصل، می‌توان گفت میدان ویسکوزیته‌ی فضای پیرامون جرم کروی، توزیعی کروی خواهد داشت؛ به عبارت دیگر، نحوه‌ی تشکیل میدان گرانشی با توزیع هندسی جرم رابطه‌ی مستقیم دارد و مطابق این دیدگاه غلظت ویسکوزیته‌ی فضا به‌طور مستقیم از چگالی جرم باریونی پیروی می‌کند (شکل ۴۱).



شکل ۴۱- میدان گرانشی پیرامون این جرم فشرده را می‌توان در چهارچوب تفسیر جایگزینی، مبتنی بر مدل کیهان کروی، نمونه‌ای از رفتار خطی فضا در نظر گرفت. به عبارتی ساختار منظم و تقریبا کروی میدانْ پیرامون جرم مرکزی بازتابی از توزیع هموار چگالی و رفتار خطی میدان است؛ حالتی که در آن انتقال اثر گرانش از طریق فضای شبه‌سیال بدون شکل‌گیری هاله‌های نامنظم و پدیده‌های غیرخطی انجام می‌گیرد.



شکل ۴۲- نمونه‌ای از هاله‌ی نامنظم پیرامون یک کهکشان در خروجی شبیه‌سازی N-body استاندارد. در مدل CDM چنین ساختارهایی معمولا به توزیع غیرخطی ذرات ماده‌ی تاریک نسبت داده می‌شوند. با این حال، در چهارچوب مدل کیهان کروی می‌توان این الگو را به عنوان پیامدی از ورود سیستم به رژیم غیرخطی تفسیر کرد؛ رژیمی که در آن پاسخ میدان ویسکوز فضا به تمرکزهای باریونی، رفتاری غیرخطی از خود نشان می‌دهد. بنابراین، به طور کلی در این مدل هاله‌ی مشاهده‌شده به‌عنوان مولفه‌ی ذره‌ای مستقلی در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه بازتابی از رفتار میدانی (ویسکوزیته) فضا در مقیاس کهکشانی است.

image credit: Dark matter halo visualization, Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0)

۲- رژیم غیرخطی: در چهارچوب این مدل هنگامی که چگالی موضعی از حد بحرانی عبور کند ($\frac{\delta\rho}{\rho} \gg 1$) ویسکوزیته‌ی فضا افزایش شدیدی می‌یابد، فضا دیگر رفتاری خطی ندارد و معادلات توصیف‌کننده‌ی آن شامل جمله‌های مرتبه‌ی دوم و بالاتر در اختلال‌ها خواهند بود؛ منظور از «جمله‌های مرتبه‌ی بالاتر از دو» مولفه‌هایی است که در معادلات دیفرانسیل میدان هستند که شامل توان‌های بالاتر از مرتبه‌ی دوم مربوط به کمیت‌هایی مانند چگالی، پتانسیل گرانشی یا انحرافات فضایی است. در رژیم خطی، تنها جملات مرتبه‌ی اول در اختلال‌ها حفظ می‌شوند و پاسخ سیستم متناسب با ورودی است. اما وقتی چگالی از حد بحرانی فراتر می‌رود، رفتار فضا غیرخطی می‌شود و مولفه‌های مرتبه‌ی بالاتر قابل صرف نظر نخواهند بود؛ زیرا بر پویایی میدان و ناپایداری گرانشی تاثیر مستقیم می‌گذارند. در این حالت، گرانش به واسطه‌ی چگالی جرم باریونی موجب انقباض (افزایش ویسکوزیته‌ی) موضعی فضا و آغاز چرخش اجرام در اثر برهم‌کنش‌های کشندی و انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای درون توده‌های چگال می‌شود. این گذار از رفتار خطی به غیرخطی در مدل کیهان کروی مانند مرحله‌ای است که می‌توان آن را در مدل استاندارد به «ناپایداری Jeans» نسبت داد، با این تفاوت که در SCM منشاء این ناپایداری افزایش ویسکوزیته‌ی فضا و شکل‌گیری گرادیان‌های شدید در چگالی فضا به دنبال افزایش چگالی جرم است (شکل ۴۲).

در نتیجه از دیدگاه فیزیک در مدل کیهان کروی، تشکیل ماده‌ی تاریک به‌طور مستقیم با گذار از رژیم خطی به غیرخطی در تحول ساختارها ارتباط دارد. طوری که این نوع ماده نه به عنوان مجموعه‌ای از ذرات مستقل، بلکه به‌منزله‌ی پدیده‌ای میدانی در نظر گرفته می‌شود که از انقباض موضعی و افزایش ویسکوزیته‌ی فضا در مجاورت اجرام باریونی چگال به وجود می‌آید. به بیان دیگر، تمرکز گرانشی ماده‌ی معمولی زمانی که به حد بسیار بالایی می‌رسد، موجب تراکم و چگال‌ترشدن فضای سیال‌گونه شده و رفتاری ایجاد می‌کند که «هاله‌ی ماده‌ی تاریک» نامیده می‌شود. بنابراین، در چهارچوب SCM در هر ناحیه‌ای که چگالی گرانشی بسیار بالا باشد، چگالی ماده‌ی تاریک نیز به‌طور خودکار بیش‌تر خواهد بود؛ زیرا فضا در آن ناحیه فشرده‌تر است. این اصل به‌ویژه در نواحی نزدیک به پوسته‌ی کیهان که میدان گرانش حاصل از TAM (ماده‌ی مطلق تشکیل‌دهنده‌ی پوسته) بسیار شدید است، مصداق بارز دارد. در نتیجه ساختارهای چرخشی در مقیاس‌های گوناگون کیهانی از منظومه‌های سیاره‌ای و کهکشان‌ها گرفته تا خوشه‌های کهکشانی و حتی در سطوح زیراتمی (که می‌توان آن‌ها را نیز به عنوان منظومه‌های گرانشی توصیف کرد)، همگی به‌صورت نتایج زنجیروار فرآیند واحد قابل توضیحی هستند؛ تشکیل جرم منجر به ایجاد میدان گرانشی می‌شود و این میدان گرانشی به نوبه‌ی خود ویسکوزیته‌ی فضای پیرامون را افزایش می‌دهد که در نهایت باعث شکل‌گیری و پایداری رفتار چرخشی در این ساختارها می‌شود.

www.Journalofcosmointel.com

نکته‌ی قابل توجه در مدل کیهان کروی این است که در مقیاس‌های اتمی، انرژی تاریک نقش داربستی را ایفا می‌کند که ماده‌ی تاریک آن نقش را در مقیاس کهکشانی دارد؛ یعنی مقاومت در برابر فروپاشی ناشی از چرخش. شایان ذکر است انرژی تاریک بعد از ماده‌ی تاریک در پیرامون اجسام فوق ثقیل نیز وجود دارد. در نتیجه، SCM تصویری پیوسته و در عین حال چندمقیاسی از جهان ارائه می‌دهد که در آن قوانین چرخش کل سیستم و ویسکوزیته‌ی متغیر فضا در همه‌ی سطوح از ذرات بنیادی تا خوشه‌های عظیم صادق است و تفاوت میان رژیم‌های خطی و غیرخطی همان تفاوت در مقیاس شدت میدان گرانشی و تبادل تکانه‌ی زاویه‌ای میان جرم مرکزی و اجسام در حال گردش پیرامون آن است. در نتیجه این نوع منظومه‌ها در چهارچوب نظریه‌ی کیهان دوار طاهری به نام منظومه‌های چرخشی گرانشی شناخته می‌شود.

۸-۶- منظومه‌های چرخشی غیرگرانشی (غیرمحلی)

دسته‌ی دوم از منظومه‌های چرخشی در چهارچوب SCM را می‌توان «منظومه‌های چرخشی غیر گرانشی با منشاء کلان‌مقیاس» نامید. در این دیدگاه، بخشی از ساختارهای چرخان در کیهان صرفا نتیجه‌ی گرانش محلی و فرآیندهای کلاسیک تشکیل ساختار نیستند، بلکه از چرخش کلان‌مقیاس پوسته‌ی کیهان نیز اثر می‌پذیرند. پوسته که در این مدل از ماده‌ی مطلق (TAM) تشکیل شده، می‌تواند مانند سیستم چرخان عظیمی با قسمت‌های درونی کیهان تبادل تکانه‌ی زاویه‌ای داشته باشد.

از دیدگاه دینامیکی، به این دلیل که فرآیند تجزیه و آزادسازی TAM در پوسته در همه‌ی نواحی کاملا همگن نیست، منجر به ایجاد گرادیان‌های سرعت و شارهای نامتقارن ماده، انرژی و حتی آزادسازی فضا می‌شود. در چنین حالتی، این نامتقارنی به‌طور طبیعی یک تکانه ی زاویه‌ای خالص موضعی در ماده و فضای تولیدشده ایجاد می‌کند. منشاء این تکانه‌ی زاویه‌ای پوسته است که آن را به ساختارهای تازه‌شکل‌گرفته منتقل می‌کند. پیامد این سازوکار که با اختلاف سرعت در پرتاب ماده همراه است، این است که برخی اجرام (از جمله منظومه‌های ستاره‌ای یا سامانه‌های کهکشانی) تکانه‌ی زاویه‌ای اولیه‌ی خود را نه فقط از طریق برهم‌کنش‌های گرانشی محلی، بلکه از طریق این انتقال کلان‌مقیاس دریافت می‌کنند.

بر این اساس در مقیاس‌های بزرگ هم‌بستگی‌هایی در جهت‌گیری محور چرخش یا الگوی چرخش گروهی از اجرام ظاهر می‌شود؛ هم‌بستگی‌هایی که می‌توانند به‌صورت هم‌راستایی آماری محورهای چرخش یا هماهنگی در الگوی دوران در یک بازه‌ی زمانی کیهانی دیده شوند. در کیهان‌شناسی استاندارد (ΛCDM)، انتظار می‌رود جهت‌گیری‌های چرخشی در مقیاس‌های بسیار بزرگ به‌طور عمده تصادفی باشند و هم‌بستگی‌های قوی تنها در اثر برهم‌کنش‌های محلی، میدان‌های جزرومدی یا تاریخچه‌ی ادغام‌ها پدید آیند. از این رو، اگر هم‌راستایی‌های بزرگ‌مقیاس با قطعیت رصدی تایید شوند، می‌توانند نیازمند سازوکارهای تکمیلی باشند.

همان‌طور که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، مطالعات رصدی متعدد در سال‌های اخیر شواهدی روزافزون از وجود نوعی هم‌جهتی دینامیکی و چرخش سازمان‌یافته در مقیاس‌های مختلف کیهان‌شناختی ارائه داده‌اند. پدیده‌ای که از این دیدگاه به عنوان نتیجه‌ی مستقیم انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای از چرخش همه‌محوری پوسته‌ی کیهان به اجزای درونی آن تفسیر می‌شود. از جمله:

۱- در کوچک‌ترین مقیاس‌های کهکشانی، منظومه‌ی قنطورس A نمونه‌ای بارز از این رفتار است؛ جایی که کهکشان‌های اقماری آن در صفحه‌ای نازک و منظم پیرامون کهکشان میزبان خود با چرخشی هم‌جهت توزیع شده‌اند؛ آرایشی که به عنوان تشبیه به حلقه‌های سیارات منظومه‌ی شمسی شباهت دارد و با پیش‌بینی‌های مدل ΛCDM در خصوص توزیع تصادفی اقمار در تضاد است [۱۱۰].

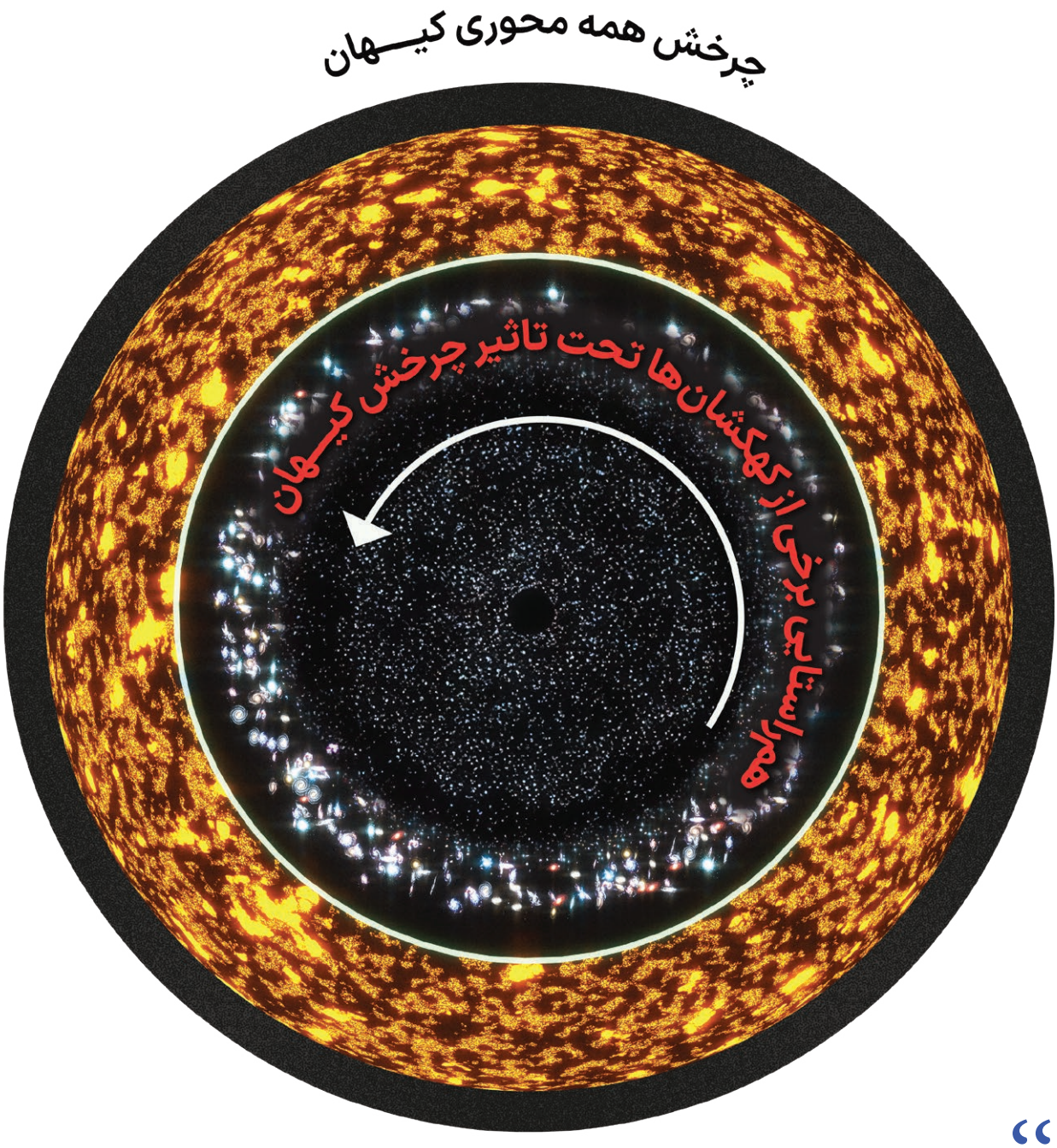
۲- در مقیاس‌های بزرگ‌تر، کهکشان‌هایی با فاصله‌ی چند مگاپارسک از یکدیگر، حرکت زاویه‌ای هماهنگ از خود نشان می‌دهند؛ رفتاری که نمی‌تواند صرفا به برهم‌کنش‌های محلی تقلیل داده شود [۱۱۱].

۳- در فواصل بسیار بزرگ‌تر نیز (در محدوده‌ی z~ 1.3)، پژوهش هوتسمکرز (Damien Hutsemékers) و همکارانش با استفاده از داده‌های تلسکوپ VLT نشان داد محورهای قطبش نوری مجموعه‌ای از کوازارهای درخشنده نه‌تنها تصادفی نیست، بلکه به‌شکلی معنادار با محور رشته‌های کیهانی هم‌جهت است؛ هم‌خطی‌ای که در مقیاسی بیش از یک گیگاپارسک امتداد دارد [۹۶].

۴- در نهایت در سال ۲۰۲۱، ونگ (Wang) و همکاران او با تحلیل آماری رشته‌های کیهانی (روی‌هم‌گذاری هزاران رشته و بررسی الگوی انتقال به سرخ و آبی کهکشان‌ها در دو سوی محور)، شواهد رصدی سازگار با دوران را گزارش کردند و نتیجه گرفتند این ساختارها می‌توانند تکانه‌ی زاویه‌ای همدوس در مقیاس‌های بسیار بزرگ داشته باشند [۹۵], [۱۰۹].

با توجه به این یافته‌ها، در مدل ΛCDM، شکل‌گیری و تکامل ساختارهای کیهانی بر پایه‌ی ناپایداری گرانشی و رشد تدریجی نوسانات چگالی در رژیم خطی در جهان در حال انبساط توصیف می‌شود. با این حال، مشاهدات اخیر از جمله هم‌راستایی کوازارها تا وجود مولفه‌ی چرخشی در رشته‌های کیهانی نشان می‌دهد هم‌بستگی‌های زاویه‌ای در مقیاس‌هایی پدیدار می‌شوند که با برهم‌کنش‌های گرانشی محلی ساده به‌تنهایی قابل توضیح نیستند و به نقش میدان‌های کشندی در مقیاس‌های بسیار بزرگ اشاره دارند. اما در چهارچوب SCM، تکانه‌ی زاویه‌ای علاوه بر سازوکار بازتوزیع درون‌سیستمی از مسیر دیگری نیز توضیح داده می‌شود. به این‌صورت که چرخش کلی پوسته‌ی کیهان به‌گونه‌ای است که اجسام هنگام شکل‌گیری از همان ابتدا با حرکت دورانی کلان‌مقیاس که تقریبا با چرخش پوسته هماهنگ است، پدید می‌آیند. این فرآیند به انتقال تدریجی تکانه‌ی زاویه‌ای از پوسته‌ی در حال چرخش به فضا و ماده‌ی درونی کیهان منجر می‌شود. در این مدل، فضا دارای ویسکوزیته‌ی متغیر است و چرخش پوسته در مقیاس‌های بزرگ

می‌توانـد میـدان چرخشـی درونی ایجـاد کند؛ میدانی که در سـطح آماری توانایی آن را دارد که بخشـی از اجرام را به سـوی هم‌راستایی در جهت‌هـای مشـخص سـوق دهد. ایـن فرآیند به‌صـورت طبیعی منجـر بـه هم‌راسـتایی محـوری در چرخـش برخـی کهکشـان‌ها، کوازارها و رشـته‌های کیهانی بدون نیـاز به فرضیه‌های اضافی مانند «نیروی پنجم» یا ذرات اسـکالری سـیمترون می‌شـود. از این رو در SCM با توجه به این‌که ساختارهای بزرگ‌مقیاس محصول دینامیک چرخـش جهانـی هسـتند، نه صرفـا تجمع آمـاری گرانشـی، تبیینی فیزیکی و هندسی از هم‌جهتی‌های مشاهده‌شده ارائه می‌شود. این رویکرد پیوسـتگی میـان رفتارهای خطـی (ناپایداری‌های موضعی) و غیرخطی (چرخش‌های کلان‌مقیاس) را برقرار و چهارچوب منسـجمی برای فهم پویایی شبکه‌ی کیهانی فراهم می‌کند (شکل ۴۳).



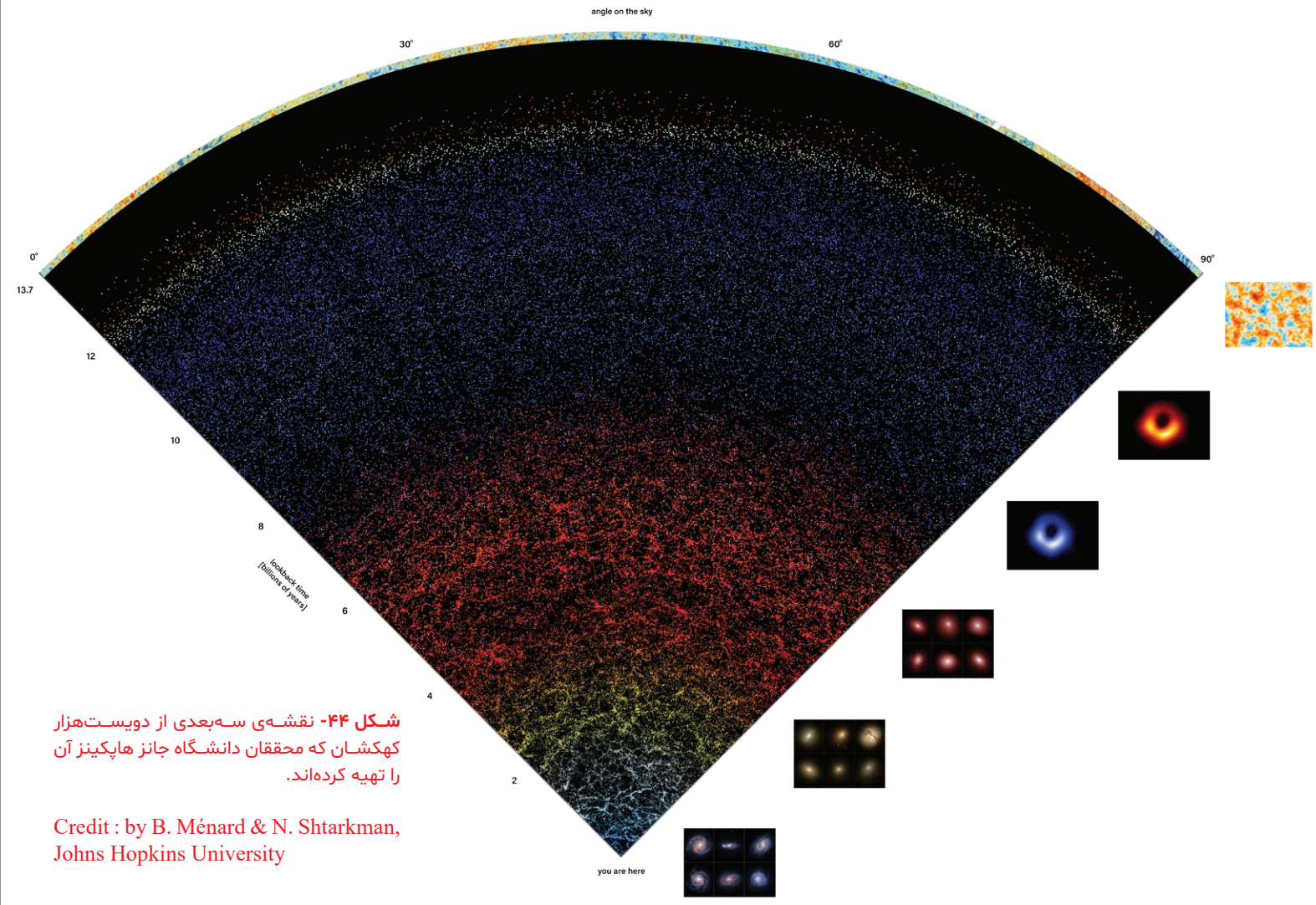
شـکل ۴۳- بـر اسـاس نظریـه‌ی کیهان دوار طاهری، الگوهای چرخشـی مشاهده‌شـده در فواصل بسـیار دور که با گرانش محلـی قابل توضیح نیسـتند، پیامدی از چرخش کلان‌مقیاس پوسـته‌ی کیهان به شـمار می‌آیند. بر اساس این دیدگاه، پوسته‌ی کیهان با رفتاری مشابه چرخ‌طیار کیهانی، تکانه‌ی زاویه‌ای را به اجرامِ حین تشکیل اعمال می‌کند و موجب شکل‌گیری ساختارهای چرخان کهکشان‌ها و هماهنگی برخی از آن‌ها در حرکت می‌شود که نمی‌توان این پدیده را صرفا با نیروی گرانش موضعی توضیح داد.

www.Journalofcosmointel.com

۹- تنش هابل در چهارچوب‌های مختلف با توجه به داده‌های SDSS

۹-۱- مدل استاندارد ΛCDM

در دو دهـه‌ی اخیر، پـروژه‌ی Sloan Digital Sky Survey (SDSS) با اسـتفاده از تصویربـرداری چندطیفی و طیف‌سـنجی دقیق، یکی از گسـترده‌ترین نقشـه‌های سـه‌بعدی مبتنـی بـر انتقال به سـرخ را از بخـش بزرگـی از جهـان قابـل مشـاهده فراهم کرده اسـت. در نسـخه‌های اولیه‌ی این پروژه، داده‌هـای فوتومتریِ بیش از هزاران کهکشان در یک برش از آسمان ثبت شد و در نسخه‌های پیشرفته‌تر (نظیـر SDSS-IV و eBOSS)، ایـن تعداد به میلیون‌ها کهکشـان و کوازار گسترش یافت [۱۱۲], [۱۱۳]. در نمایش‌های رایج این نقشه‌ها، کهکشان راه شیری در مرکز مختصات قرار داده می‌شود که این امر از دیدگاه کیهان‌شناسـان نه به دلیل جایگاه ویژه‌ی کیهان‌شـناختی آن، بلکه به سبب ناظرمحوربودن همه‌ی رصدها است و هر نقطه‌ی داده نسـبت به موقعیت ما اندازه‌گیری می‌شـود. در این برش‌های مخروطی‌شـکل، هـر نقطـه نشـان‌دهنده‌ی یک کهکشـان اسـت و رنگ آن معمولا بر اسـاس انتقال به سـرخ طیفی تعیین می‌شـود. در مقیاس‌هـای بـزرگ، افزایش انتقال به سـرخ به‌طـور میانگین با افزایـش فاصلـه و انبسـاط کیهان مرتبط اسـت؛ زیرا کشیده‌شـدن طـول مـوج نور طی انتشـار کیهانـی باعث قرمزتر دیده‌شـدن اجرام دورتر می‌شـود؛ هرچند در مقیاس‌های کوچک‌تر، سـرعت‌های ویژه می‌تواننـد پراکندگی‌هایـی بـر ایـن رابطـه اضافه کنند. نقشـه‌های SDSS به‌روشـنی نشان می‌دهند کهکشـان‌ها در مقیاس‌های بزرگ به‌صـورت یکنواخـت توزیـع نشـده‌اند، بلکـه شـبکه‌ای پیچیده از رشـته‌ها، گره‌ها و حفره‌ها را شـکل می‌دهند که به عنوان شـبکه‌ی کیهانی شناخته می‌شود (شکل ۴۴).



شـکل ۴۴- نقشـه‌ی سـه‌بعدی از دویسـت‌هزار کهکشـان که محققان دانشـگاه جانز هاپکینز آن را تهیه کرده‌اند.

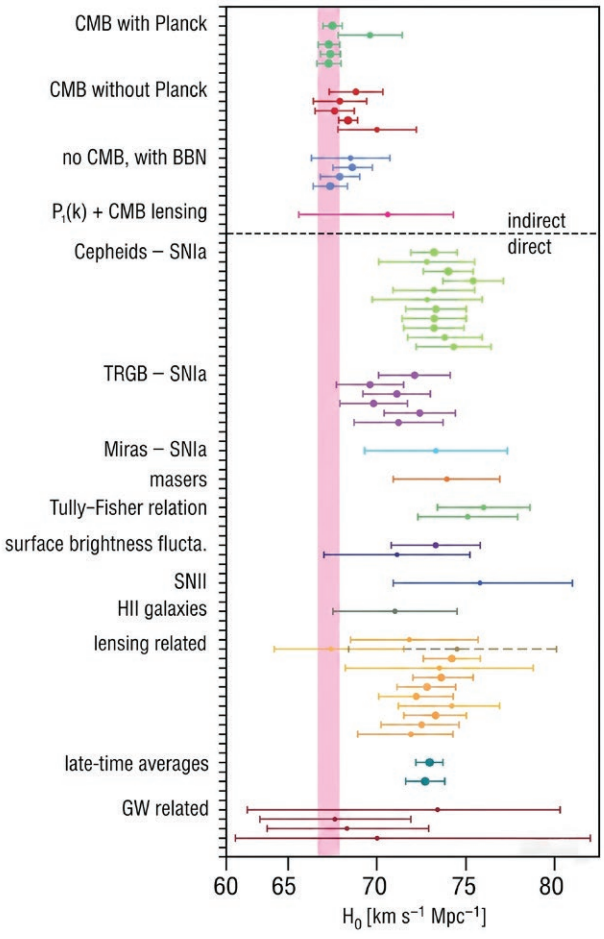
Credit : by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

در میان این ساختارها، نواحی با چگالی کهکشانی بالا وجود دارد که احتمال برخورد و ادغام کهکشانی در آن‌ها به‌طور محسوس افزایش می‌یابد. تحلیل‌های آماری مبتنی بر داده‌های 2dFGRS، SDSS، COSMOS نشان می‌دهند نرخ ادغام و برهم‌کنش کهکشان‌ها به‌طور کلی با افزایش انتقال به سرخ افزایش می‌یابد [۱۱۴]، [۱۱۵]، [۱۱۶]، [۱۱۷]. بیش‌ترین نرخ برخورد در بازه‌ی $z \approx 0.7\text{-}2$ مشاهده می‌شود که بر اساس کیهان‌شناسی استاندارد معادل زمانی حدود ۶٫۳ تا ۱۰٫۵ میلیارد سال پیش است؛ دوره‌ای که کیهان چگال‌تر بوده و فاصله‌ی میان کهکشان‌ها کم‌تر از امروز بوده است. در چهارچوب مدل استاندارد کیهان‌شناسی (ΛCDM)، این روند پیامد طبیعی رشد سلسله‌مراتبی ساختارها و چگالی بالاتر ماده در گذشته‌ی کیهان تلقی می‌شود.

با این حال، همین نقشه‌های بزرگ‌مقیاس و داده‌های دقیق انتقال به سرخ، تنها برای مطالعه‌ی شبکه‌ی کیهانی و تاریخچه‌ی ادغام کهکشان‌ها به کار نمی‌آیند، بلکه نقشی کلیدی در یکی از بنیادی‌ترین چالش‌های کیهان‌شناسی امروز نیز دارند: تعیین نرخ انبساط جهان. سرعت دورشدن اجرام در کیهان و این‌که این سرعت در فاصله‌های گوناگون دقیقا چه مقداری دارد یکی از اصلی‌ترین ابزارهای کیهان‌شناسان برای سنجش نرخ انبساط جهان است. اما مسئله از جایی جدی می‌شود که اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند نرخ دورشدن اجرام، بسته به این‌که از چه فاصله‌ای و با چه روشی اندازه‌گیری شود، به عددی واحد و سازگار نمی‌رسد که به آن «تنش هابل» (Hubble Tension) گفته می‌شود. به عبارتی این تنش به اختلاف میان مقادیر به دست آمده برای نرخ انبساط جهان، یعنی ثابت هابل (H_0) اشاره دارد. در این راستا، داده‌های حاصل از تحلیل تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی با ماهواره‌ی پلانک در سال ۲۰۱۸، مقدار $H_0 = 67.4 \pm 0.5$ km s^{-1} Mpc^{-1} برای نرخ انبساط جهان در چهارچوب مدل ΛCDM نشان دادند [۱۱۸]. در مقابل، مشاهدات مستقل مبتنی بر «نردبان فاصله‌ی محلی»[۱] که شامل ابرنواخترهای نوع Ia و متغیرهای قیفاووسی (Cepheids) است، جهت اندازه‌گیری جامع مقدار محلی این ثابت در پروژه‌ی SH0ES به رهبری ریس (Adam G. Riess) و همکاران او در سال ۲۰۲۲ بود، مقدار $H_0 = 73.0 \pm 1.0$ km s^{-1} Mpc^{-1} را نشان داد [۱۱۹]. این اختلاف (حدود پنج الی شش کیلومتر بر ثانیه در هر مگاپارسک) که با اطمینان آماری در سطحی نزدیک به 5σ [۲] گزارش شده است، به عنوان تنش هابل شناخته می‌شود. هرچند سناریوهای گوناگونی مانند فیزیک جدید در دوران پیش‌تابش، خطاهای سیستماتیک در کالیبراسیون نردبان فاصله یا ناهنجاری‌های چگالی محلی برای پاسخ‌دهی به علت وجود این تنش پیشنهاد شده‌اند اما تاکنون هیچ تبیین قطعی‌ای در چهارچوب ΛCDM برای آن ارائه نشده است (شکل ۴۵).

۱- نردبان فاصله‌ی محلی، روشی در کیهان‌شناسی است که برای اندازه‌گیری فواصل کیهانی و تعیین ثابت هابل بر پایه‌یزنجیره‌ای از روش‌های وابسته (فاصله‌ی هندسی، شمع‌های استاندارد، ابرنواخترهای Ia) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- سیگما در آمار، نشان‌دهنده‌ی «انحراف معیار» است و این‌جا به عنوان معیاری برای بیان سطح اطمینان آماری به کار می‌رود. گزارش تنش هابل در سطح نزدیک به 5σ یعنی احتمال این‌که اختلاف مشاهده‌شده صرفا حاصل نوسانات تصادفی باشد، بسیار ناچیز است.



شکل ۴۵- این شکل مقادیر به دست آمده برای ثابت هابل H_0 را با روش‌های گوناگون اندازه‌گیری در جهان اولیه و جهان متاخر مقایسه می‌کند. برآوردهای مبتنی بر تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی (CMB) در چهارچوب مدل ΛCDM، به‌ویژه داده‌های ماهواره‌ی پلانک، معمولا مقدار کم‌تری برای H_0 (حدود ۶۷ کیلومتر بر ثانیه بر مگاپارسک) به دست می‌دهند. در مقابل، اندازه‌گیری‌های مستقیم محلی که بر نردبان فاصله مانند قیفاووسی‌ها و ابرنواخترهای نوع Ia تکیه دارند، به مقادیر بالاتری در حدود ۷۳ کیلومتر بر ثانیه بر مگاپارسک می‌رسند. نواحی سایه‌خورده بازه‌های ترجیحی دو دسته اندازه‌گیری را نشان می‌دهند که هم‌پوشانی‌نداشتن آن‌ها بیان‌گر اختلاف آماری معنادار است؛ اختلافی که با اطمینان آماری بالا به نام «تنش هابل» شناخته می‌شود.

Credit: Figure adapted from compilations presented in Verde, Treu & Riess (2019), Planck Collaboration (2018), and SH0ES Collaboration (2022)

www.Journalofcosmointel.com

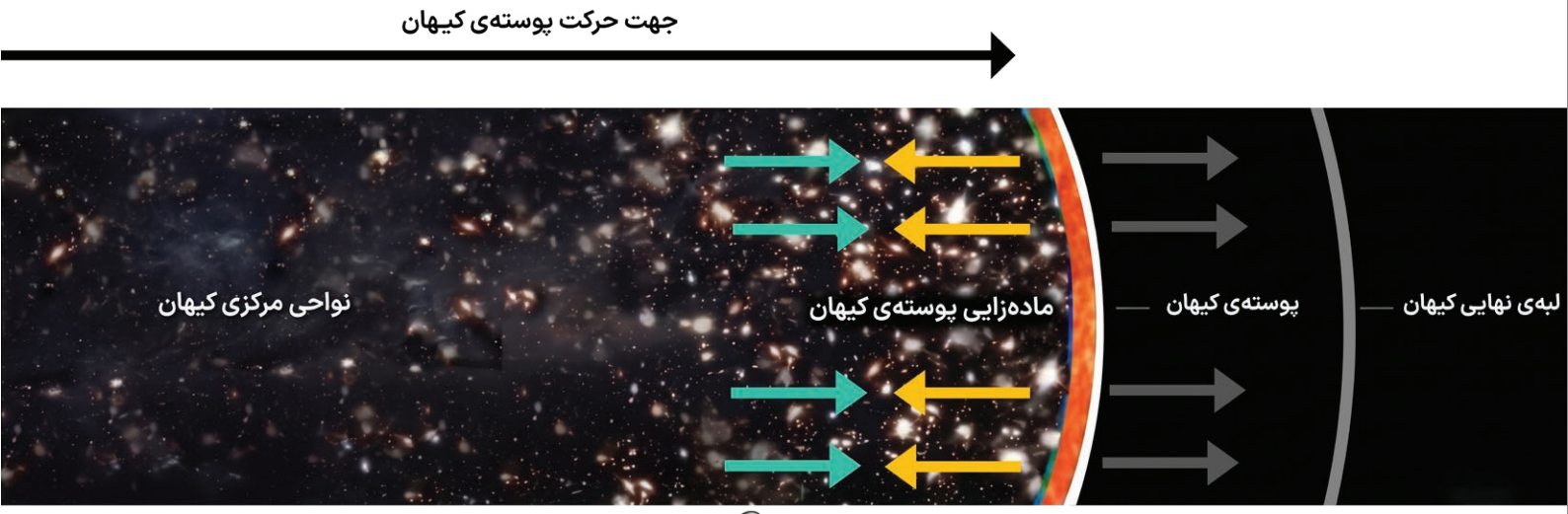
در صورتی که در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM)، اختلاف مشاهده‌شده در مقادیر ثابت هابل که به تنش هابل شناخته می‌شود نه به عنوان پیامد خطاهای رصدی یا نارسایی‌های آماری یا تفاوت در خواص انرژی تاریک یا سایر مولفه‌های فیزیکی در دوران پیش‌تابش، بلکه نتیجه‌ی مستقیم پویایی فیزیکی کیهان در هندسه‌ای کروی تفسیر می‌شود. همان‌طور که در توضیحات قبل نیز اشاره شد در SCM، کیهان صرفا حجم همگن در حال انبساط نیست، بلکه پوسته‌ای با ضخامت معین دارد که از TAM تشکیل شده و نقش فعالی در تکامل کیهان ایفا می‌کند. بنابراین، این پوسته صرفا سطح هندسی انتزاعی نیست، بلکه ناحیه‌ای فیزیکی و دینامیکی است که در آن فرآیندهای تجزیه‌ی TAM به انواع گوناگون ماده و انرژی، پیوسته رخ می‌دهد. حاصل این فرآیندها تولید ذرات باریونی، میدان‌ها و تابش‌های الکترومغناطیسی است که به‌صورت مولفه‌های غیرشعاعی از پوسته به درون حجم داخلی کیهان پرتاب می‌شوند. هم‌زمان، خود پوسته‌ی کیهان نیز به عنوان مرز فضایی در حال واگرد، از نواحی مرکزی کیهان در حال دورشدن است. وجود این دو فرآیند، یعنی دورشدن پوسته و پرتاب پیوسته‌ی ماده و انرژی از ناحیه‌ی مرزی به درون کیهان سبب می‌شود ناظری که در نواحی مرکزی کیهان قرار دارد، افزایش فاصله‌ها و انتقال به سرخ اجرام را به شکل این تنش برداشت کند. حال این‌که انبساط کیهان در تفسیر SCM، نه ناشی از کشیده‌شدن یکنواخت خود فضا، بلکه حاصل دینامیک مرزی وابسته به هندسه‌ی کروی و ماده‌زایی در پوسته‌ی کیهان است. بر این اساس، در SCM می‌توان به‌طور طبیعی میان دو نرخ متمایز ثابت هابل تمایز قائل شد؛ نرخ‌هایی که هر یک به ناحیه و فرآیند فیزیکی متفاوتی در کیهان مربوط هستند و لزوما نباید با یکدیگر برابر باشند:

۱. H_1: ثابت هابل برای واگرد فضای محلی در نواحی مرکزی کیهان که از طریق رصد کهکشان‌های نزدیک و ابرنواخترها اندازه‌گیری می‌شود و مقدار آن تقریبا $H_1 \approx 73\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ است.

۲. H_2: ثابت هابل برای فضای آزادشده و سپس در حال واگرد از پوسته‌ی کیهان و ایجاد کمربندی از CMB که از داده‌های این تابش به‌دست می‌آید و برابر $H_2 \approx 67.4\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ است.

همان‌طور که بیان شد در این مدل، تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی بازمانده‌ی لحظات آغازین کیهان نیست، بلکه تابشی است که از فعل و انفعالات فعال در پوسته‌ی کیهان در حال واگرد، همچنان گسیل می‌شود و پس از گذشت حدود ۱۳٫۸ میلیارد سال (با توجه به فاصله‌ی ما از CMB) به ما می‌رسد. به بیان دیگر،CMB بازتاب «رویدادهای مرزی» است، نه اثر زمان آغاز. رویدادهای مرزی به رویدادهایی اشاره دارد که در مرز دینامیکی کیهان، بین فضای درونی (در حال واگرد) و پوسته‌ی کیهان (در حال دورشدن از ما) اتفاق می‌افتند. از طرفی داده‌های این تابش که دستگاه‌های ما آن را آشکار می‌کنند، تحت تاثیر تعاملات دینامیکی اجرام و تغییرات میدان گرانشی و ویسکوزیته‌ی فضا در طول مسیر انتشار آن هستند.

بنابراین، نه‌تنها پوسته‌ی کیهان در مرز فعلی خود با سرعت شعاعی V_1 در حال دورشدن از نواحی مرکزی کیهان است، بلکه در همین پوسته، فرآیند تجزیه باعث می‌شود ذرات بنیادین و امواج الکترومغناطیسی طی فرآیند ماده‌زایی به‌صورت مولفه‌های غیرشعاعی و در خلاف جهت واگرد کلی فضا با سرعت پرتاب V_2 به درون فضا گسیل شوند. بنابراین، جهت تعیین مقدار درست ثابت هابل برای CMB از دید ناظری که در نواحی مرکزی کیهان قرار دارد، باید اختلاف بین نرخ دورشدن پوسته و پرتاب اجرام به درون کیهان در نظر گرفته شود؛ زیرا کمربند CMB، خودْ حاصل ماده‌زایی و حرارت زایی‌ای است که از تجزیه‌ی پوسته ایجاد می‌شود. در نتیجه با توجه به رصدهای دقیقی که تلسکوپ‌های هابل و جیمز وب (JWST) انجام داده‌اند، برآورد H_0 برای CMB برابر است با $H_{\mathrm{CMB}} = 67.5 \pm 0.5\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ که با مقدار اندازه‌گیری‌شده از داده‌های ماموریت پلانک (۲۰۱۸) در چهارچوب ΛCDM نیز سازگار است [۱۱۸]. در مقابل، داده‌های حاصل از نردبان فاصله‌ی محلی که بر پایه‌ی اختلاف منظر ستارگان، متغیرهای قیفاووسی و ابرنواخترهای نوع Ia بنا شده، نرخ انبساطی بالاتر یعنی $H_0 = 73.0 \pm 1.0\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ را نشان می‌دهند که مربوط به نرخ واگرد در ناحیه‌ی داخلی یا مرکزی کیهان است. نکته‌ی قابل توجه در مدل کیهان کروی آن است که مقدار ثابت هابل برای خود پوسته‌ی کیهان در حال واگرد در حدود $H_{\mathrm{shell}} = 73.0 \pm 1.0\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ است؛ مقداری که دقیقا همان نرخ متوسط اندازه‌گیری‌شده از کهکشان‌های محلی در پروژه‌ی SH0ES است. از دیدگاه SCM، همین هم‌خوانی بیان‌گر آن است که اختلاف میان مقادیر H_0، ناسازگاری آماری یا انبساط غیرخطی ظاهری نیست، بلکه حاصل ماده‌زایی و آزادسازی فضا از پوسته و پرتاب آن‌ها به داخل کیهان است که چنین تصویری را به نمایش گذاشته. همچنین، تنش هابل تا زمان رسیدن کیهان به مرحله‌ی واگرد نهایی، پایدار باقی خواهد ماند؛ هرچند ممکن است با افزایش حجم و شتاب واگرد فضا، مقدار آن در محاسبات با گذر زمان دچار تغییرات شود. به بیان دیگر در چهارچوب SCM، «تنش هابل متغیر» معرفی می‌شود که بیان‌گر پویایی درونی و وابسته به ساختار کروی چرخان کیهان است (شکل ۴۶).



شکل ۴۶- این شکل، تفسیر مدل کیهان کروی (SCM) از «تنش هابل» را نشان می‌دهد؛ جایی که اختلاف نرخ‌های انبساط، نه خطای رصدی بلکه پیامد مستقیم هندسه‌ی کروی و ماده‌زایی پوسته‌ی کیهان است. در این چهارچوب با توجه به واگرد فضا در نواحی مرکزی ثابت هابل در حدود $H_1 \simeq 73\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ اندازه‌گیری می‌شود، در حالی‌که کمربند تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی که حاصل پرتاب ماده و فعالیت کنونی از پوسته‌ی کیهان است با مقدار ثابت هابل پایین‌تر یعنی $H_2 \simeq 67.4\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ ظاهر می‌شود. بنابراین در این مدل، CMB بازمانده‌ی آغاز کیهان نیست، بلکه حاصل تجزیه‌ی TAM در پوسته‌ی در حال واگرد است و رفتار دینامیکی آن برای ناظر مرکزی از اختلاف نرخ دورشدن پوسته و سرعت پرتاب ماده از همان ناحیه تعیین می‌شود. هم‌خوانی این تفسیر با داده‌های پلانک و مشاهدات محلی نشان می‌دهد تنش هابل، پدیده‌ای پویا و وابسته به هندسه‌ی کروی کیهان است.

۹-۲-ناحیه‌ی پربرخورد کهکشانی و تنش هابل، نشانی از دینامیک اجرام در هندسه‌ی کروی کیهان

در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM)، پوسته‌ی کیهان منبع اصلی انواع انرژی و ماده به شمار می‌آید. در این ناحیه، فرآیند تجزیه‌ی TAM سبب پرتاب جریان‌های امواج و ماده به درون کیهان می‌شود؛ جریان‌هایی که در اثر واگرد کلی فضا در جهت مخالف با افزایش حجم کره‌ی کیهان (انبساط عمومی) حرکت می‌کنند. این امواج، هنگامی که به نواحی سردتر و کم‌چگال‌تر دور از پوسته می‌رسند، به‌تدریج به ماده‌ی باریونی (عادی) تبدیل می‌شوند و بذرهای اولیه‌ی ستارگان را شکل داده و به تبع آن، کهکشان‌های جوان را پدید می‌آورند. به این ترتیب، پوسته نقش «موتور ماده‌زایی» را ایفا می‌کند که ماده و انرژی را به درون فضا تزریق می‌کند و ساختارهای کهکشانی را در نواحی داخلی‌تر می‌سازد. به موازات این پدیده، کهکشان‌ها و اجرام بزرگ‌تر که در نواحی مرکزی‌تر و در عصر فشرده‌تر جهان شکل گرفته‌اند، به‌تدریج تحت اثر چرخش کیهان به دلیل نیروی گریز از مرکز به سمت پوسته مهاجرت می‌کنند.

این حرکت دوطرفه، یعنی پرتاب ماده از پوسته به درون و مهاجرت تدریجی اجرام از مرکز به سمت پوسته، به‌صورت طبیعی سبب می‌شود در میانه‌ی مسیر شعاعی، ناحیه‌ای با چگالی کهکشانی بالا ایجاد شود. در این ناحیه، افزایش چگالی و سرعت‌های نسبی زیاد، احتمال برخورد و ادغام کهکشانی را به‌طور چشم‌گیری بالا می‌برد. حاصل این پویایی، تشکیل «لایه‌ی پربرخورد کهکشانی» میان پوسته و نواحی پیرامونی ما است.

حال این‌که در بازسازی تاریخ کیهانی جهان قابل مشاهده، نرخ ادغام کهکشان‌ها در بازه‌ای میانی از زمان کیهانی یعنی در فاصله‌ای میان ناحیه‌ی محلی و لبه‌ی CMB به حداکثر آماری خود می‌رسد. این ناحیه به‌طور تقریبی متناظر با انتقال به سرخ $z \sim 1\text{-}2$ و در برخی پیمایش‌ها تا $z \sim 3$ است که در چهارچوب کیهان‌شناسی رایج به مشاهده‌ی کهکشان‌ها در حدود ۷٫۸ تا ۱۱٫۵ میلیارد سال پیش (یعنی زمان فعالیت‌های مربوط به گذشته‌ی کیهان بر اساس مدل استاندارد کیهان‌شناسی) تفسیر می‌شود. افزون بر این، شواهد رصدی به دست آمده از پیمایش‌های عمیق مبتنی بر داده‌های تلسکوپ فضایی هابل به‌ویژه پروژه‌هایی مانند GOODS، COSMOS و CANDELS نیز نشان می‌دهند در این بازه به دلیل چگالی بالاتر کهکشان‌ها و فراوانی گاز سرد، نرخ برهم‌کنش‌های گرانشی و ادغام‌های کهکشانی به حداکثر خود رسیده است. این دوره که غالبا از آن با عنوان «اوج فعالیت کیهانی» (Cosmic noon) یاد می‌شود، نقشی تعیین‌کننده در تحول مورفولوژیک و ساختاری کهکشان‌ها ایفا می‌کند [۱۲۰], [۱۲۱], [۱۲۲], [۱۲۳].

اما بر اساس تفسیر کیهان دوار طاهری، این بازه صرفا دوره‌ای از گذشته‌ی کیهان نیست، بلکه نشان‌دهنده‌ی لایه‌ی فعال دینامیکی میان مرکز و پوسته است؛ جایی که دو جریان مخالف (ماده‌ی پرتاب‌شده از پوسته و کهکشان‌های در حال مهاجرت از مرکز) به هم

www.Journalofcosmointel.com

برخورد می‌کنند. در این لایه، ویسکوزیته‌ی فضا افزایش می‌یابد، چگالی موضعی ماده بالا می‌رود و پویایی گرانشی باعث افزایش نرخ برخورد کهکشانی می‌شود. در نتیجه، ادغام‌های گسترده‌ی کهکشانی و شکل‌گیری خوشه‌ها و رشته‌های بزرگ‌مقیاس در این ناحیه، نتیجه‌ی مستقیم همین ساختار کروی و دوجریانی کیهان است.

بنابراین، اختلاف مشاهده‌شده در نرخ کلی انبساط جهان، یعنی مقادیر متفاوت H_0 در داده‌های محلی و CMB از دیدگاه این نظریه، بازتاب همین دینامیک لایه‌ای است؛ چنان که مقدار $H_{local} = 73.0 \pm 1.0$ km s^{-1} Mpc^{-1} همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد، نشان‌دهنده‌ی H برای واگرد کیهان در نواحی مرکزی و مقدار $H_{CMB} = 67.5 \pm 0.5$ km s^{-1} Mpc^{-1} نشان‌دهنده‌ی H برای واگرد کیهان در نواحی نزدیک به پوسته است. نکته این است که خود پوسته با H_{local} محاسبه‌شده، در حال دورشدن از ما است.

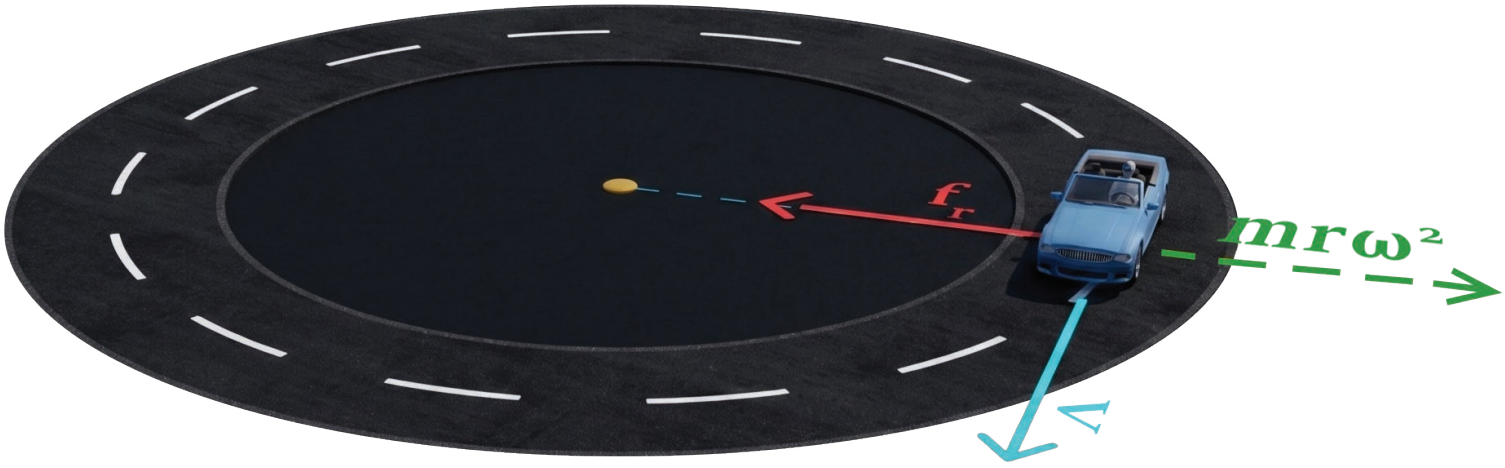
۱۰- نیروی گریز از مرکز کیهانی در SCM

در فیزیک کلاسیک از دیدگاه دستگاه‌های مرجع، نیروها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- نیروهای واقعی (Real Forces) که از برهم‌کنش‌های فیزیکی با منشاء مستقل شناخته‌شده مانند گرانش، الکترومغناطیس و نیروهای تماسی (کشسانی، اصطکاک) و نیروهای هسته‌ای ناشی می‌شوند که وجود آن‌ها وابسته به انتخاب دستگاه مرجع نیست.
۲- نیروهای ظاهری یا مجازی (Fictitious / Inertial Forces) که تنها در چهارچوب دستگاه‌های شتاب‌دار یا چرخان ظاهر می‌شوند و منشاء فیزیکی مستقل ندارند و صرفا برای بازنویسی قانون دوم نیوتن در این دستگاه‌ها معرفی می‌شوند [۱۲۴], [۱۲۵].

از این دیدگاه، نیروی گریز از مرکز (Centrifugal Force) در زمره‌ی نیروهای نوع دوم (نیروهای ظاهری یا لختی) قرار می‌گیرد. این نیرو تنها زمانی ظاهر می‌شود که پدیده‌ها از دید ناظری بررسی شوند که در دستگاه غیرلختی (Non-inertial) مانند دستگاه چرخان قرار دارد؛ به معنای ناظری که خودْ همراه با جسم در حال چرخش، می‌چرخد. هنگامی که جسمی در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند، برای حفظ این مسیر باید نیرویی مرکزگرا (Centripetal Force) بر آن وارد شود تا همواره جهت بردار سرعتش تغییر کند. این نیرو می‌تواند ناشی از کشش نخ، گرانش یا اصطکاک و... باشد. از دید ناظر بیرونی در دستگاه لختی، هیچ نیرویی جسم را از مرکز دور نمی‌کند و تنها نیروی موجود، همان نیروی مرکزگرا است که جسم را در مسیر منحنی نگه می‌دارد. اما از دید ناظری که خود بر جسم در حال چرخش سوار است، جسمْ در حال سکون به نظر می‌رسد اما نیرویی به سمت بیرون حس می‌شود. بر اساس قانون دوم نیوتن در چنین دستگاهی، ناظر باید نیرویی فرضی در جهت مخالف شتاب واقعی در نظر بگیرد تا تعادل برقرار شود [۱۲۵], [۱۲۶]. این نیروی ظاهری از دیدگاه فیزیک کلاسیک همان نیروی گریز از مرکز ظاهری است. اگر r را فاصله‌ی جسم تا محور چرخش بگیریم، قدر مطلق نیروی گریز از مرکز در دستگاه چرخان برابر است با: $F_{centrifugal} = m\omega^2 r$ که در آن m جرم جسم و ω سرعت زاویه‌ای است. جهت این نیرو در دستگاه چرخان شعاعی و رو به بیرون است. در مقابل، نیروی مرکزگرا که در دستگاه لخت بر جسم وارد می‌شود نیرویی واقعی و به سمت مرکز است و می‌توان آن را با استفاده از بردار شعاعی $\vec{r}$ به صورت $\vec{F}_{centrifugal} = m\omega^2\vec{r}$ نوشت. علامت منفی جهت این نیرو به سمت مرکز را نشان می‌دهد، در حالی‌که نیروی گریز از مرکز ظاهری در دستگاه چرخان، دقیقا در جهت مخالف آن عمل می‌کند (شکل ۴۷).

شکل ۴۷- توصیف حرکت دایره‌ای یکنواخت در دو چهارچوب مرجع. در چهارچوب لخت، نیروی مرکزگرا $F_r = mr\omega^2$ با جهت شعاعی به سوی مرکز، عامل تغییر جهت لحظه‌ی سرعت و حفظ مسیر دایره‌ای جسم است. در مقابل، در چهارچوب چرخان (غیرلخت)، به خاطر شتاب‌داربودن این چهارچوب، نیروی ظاهری گریز از مرکزی به جسم وارد می‌شود. حال اگر در چهارچوب لخت نیروی مرکزگرا برابر $F_r = m\frac{V^2}{r}$ باشد، حرکت دایره‌ای حفظ می‌شود و در چهار چوب چرخان اگر این نیرو برابر با نیروی گریز از مرکز باشد، جسم تعادل خود را حفظ کرده و نسبت به چهارچوب چرخان در تعادل قرار می گیرد. این تصویر تمایز میان توصیف فیزیکی نیروها و بازنمایی مختصاتی حرکت را برجسته می‌کند.



از دیدگاه نسبیت عام نیز نیروهای ظاهری مانند نیروی گریز از مرکز نه به عنوان نیروهایی واقعی، بلکه به عنوان پیامد انتخاب دستگاه مرجع شتاب‌دار (غیرژئودزیک) تفسیر می‌شوند؛ به بیان دقیق‌تر، آنچه به‌صورت گریز از مرکز درک می‌شود، حاصل شتاب ناظر است و نه وجود میدان نیرویی واقعی یا الزاما خمیدگی فضا-زمان [۱۲۷].

حال این‌که این پدیده از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری به شکل دیگری نیز بیان می‌شود. همان‌طور که بیان شد در فیزیک کلاسیک، نیروی گریز از مرکز به عنوان نیرویی ظاهری در دستگاه‌های غیرلخت معرفی می‌شود. این نیرو در دستگاه مرجع چرخان ظاهر می‌شود تا معادلات حرکت (قانون دوم نیوتن) در همان چهارچوب برقرار بمانند. در مدل کیهان کروی (SCM)، اگر چرخش گرانشی یک جرم به دور جرم مرکزی دیگری را در نظر بگیریم، این چرخش منجر به شکل‌گیری نیروی گریز از مرکز می‌شود. این نیرو حاصل برهم‌کنش دو عامل بنیادی است: نخست، نیروی گرانشی جرم مرکزی و دوم، شتاب اینرسی ناشی از حرکت مداری جرم چرخان.

در حالتی که این دو مولفه در تعامل دینامیکی قرار گیرند، جسم نه به سمت مرکز سقوط می‌کند و نه از میدان گرانشی می‌گریزد، بلکه در مداری پایدار پیرامون جرم مرکزی باقی می‌ماند. به عبارتی، از دیدگاه SCM در همین حالت، فضا در ناحیه‌ی پیرامون مسیر مداری دچار پیوستگی نوسانی در میدان می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در هر لحظه از بازه‌ی زمانی، به‌طور مثال در t_1 مولفه‌ی گرانشی غالب است (نقطه‌ی اوج در در حرکت دو جسم در مدار بیضوی) و جسم به سوی مرکز کشیده می‌شود و در بازه‌ی زمانی بعدی یعنی t_2، مولفه‌ی شتاب گریز از مرکز غلبه می‌کند و جسم تمایل به دورشدن از مرکز دارد (نقطه‌ی حضیض در حرکت دو جسم در مدار بیضوی).

نتیجه‌ی این نوسان، تشکیل نیروی گریز از مرکز به عنوان خاصیتی از فضای دینامیکی است که در اثر چرخش و برهم‌کنش متقابل نیروها در این سیستم تعریف می‌شود.

در چهارچوب مدل کیهان کروی، کیهان سیستمی بسته با پوسته‌ای فیزیکی (TAM) و پویا (در حال تجزیه) تلقی می‌شود؛ پوسته‌ای که هم‌زمان نقش مرز هندسی، منبع آزادسازی فضا و خاستگاه اولیه‌ی انواع ماده، انرژی و تکانه را بر عهده دارد. این پوسته در اثر فرآیند تجزیه‌ی مداوم خود، نه‌تنها فضا آزاد می‌کند، بلکه با ایجاد دما و انرژی بالا، زمینه‌ی تولید ماده‌ی باریونی و امواج اولیه را نیز فراهم می‌سازد؛ فرآیندی که در نهایت به پیدایش کهکشان‌ها و ساختارهای بزرگ‌مقیاس می‌انجامد. نکته‌ی مهم این است که این آزادسازی یا پرتاب ماده همان‌طور که قبلا نیز بیان شد، به شکل دورانیِ بزرگ‌مقیاس با چرخشی تقریبا هماهنگ با پوسته هنگام تولد همراه است. بنابراین، ماده و فضای تولیدشده دارای حرکت دورانی یا به عبارتی مولفه‌های حرکتی غیرشعاعی یا زاویه‌دار نسبت به مرکز کیهان هستند.

در نتیجه‌ی این چرخش و حرکت غیر شعاعی، شتاب گریز از مرکزی به اجسام داخل کیهان وارد می‌شود. این امر منجر به جابه‌جایی تدریجی ماده از نواحی مرکزی به سوی نواحی بیرونی و در نهایت تقویت توزیع در نزدیکی پوسته می‌شود. در این تصویر، پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای کل سیستم به خاطر نبود گشتاور خارجی حفظ می‌شود اما توزیع آن در طول زمان می‌تواند از نواحی مرکزی به سمت نواحی بیرونی بازتوزیع شود. پیامد این روند، کاهش تدریجی چگالی ماده در مرکز و شکل‌گیری یک ناحیه‌ی کم‌چگال‌تر در بخش‌های مرکزی است. در نهایت مطابق چهارچوب مدل کیهان کروی با پایان‌یافتن فرآیند واگرد فضا، پوسته نیز به‌طور کامل تجزیه می‌شود و هیچ جرمی در کیهان باقی نخواهد ماند (شکل ۴۸).

نتیجه‌ی عملکرد نیروی گریز از مرکز در کیهان



شکل ۴۸- بر اساس نظریه‌ی کیهان دوار طاهری، نیروی گریز از مرکز که از چرخش کل کیهان ناشی می‌شود از زمان شکل‌گیری اجرام در کیهان اولیه تاکنون به‌طور پیوسته به عنوان اثر دینامیکی عمل کرده است. پیامد این فرآیند، کاهش تدریجی چگالی ماده در نواحی مرکزی و افزایش تراکم آن در نزدیکی پوسته‌ی کیهان است. در حالی که تکانه‌ی زاویه‌ایِ کل کیهان در تمام مراحل این فرآیند پایسته باقی می‌ماند.

www.Journalofcosmointel.com

۱۱- شـکل کهکشـان‌ها و رابطـه‌ی آن‌ها با هندسه و چرخش کیهان در SCM با توجه به داده‌های SDSS

۱- با توجه به خالی‌شدن کیهان از مرکز، هم‌اکنون راه شیری نسبت به مرکز کیهان دارای فاصله است.

از دیدگاه SCM، نقشـه‌ی به دسـت آمده از پروژه‌ی SDSS که در شـکل ۴۴ نشـان داده شده است، صرفا توزیـع آمـاری‌ای از کهکشـان‌های دوردسـت در امتداد مخروط نوری ما نیست، بلکه برشی از ساختار کروی و دینامیکـی در فضا اسـت که در آن هـر نقطه نمایان‌گر وضعیـت فیزیکـی متفاوتـی از ویسـکوزیته‌ی فضـا و نحوه‌ی توزیع اجرام در مقیاس‌های شـعاعی است. در ایـن مـدل، کیهـان نه به شـکل تخت و همگـن، بلکه به‌صورت سیسـتم کرویِ بسـته با پوسته‌ای چرخان و ویسکوزیته‌ی متغیر فضا توصیف می‌شود؛ سیستمی کـه درون آن، مـاده و انرژی همواره در تعامل پیوسـته با فضا هسـتند. همچنین، زمـان در این چهارچوب به عنوان نیروی آنتروپیایی در نظر گرفته می‌شود.

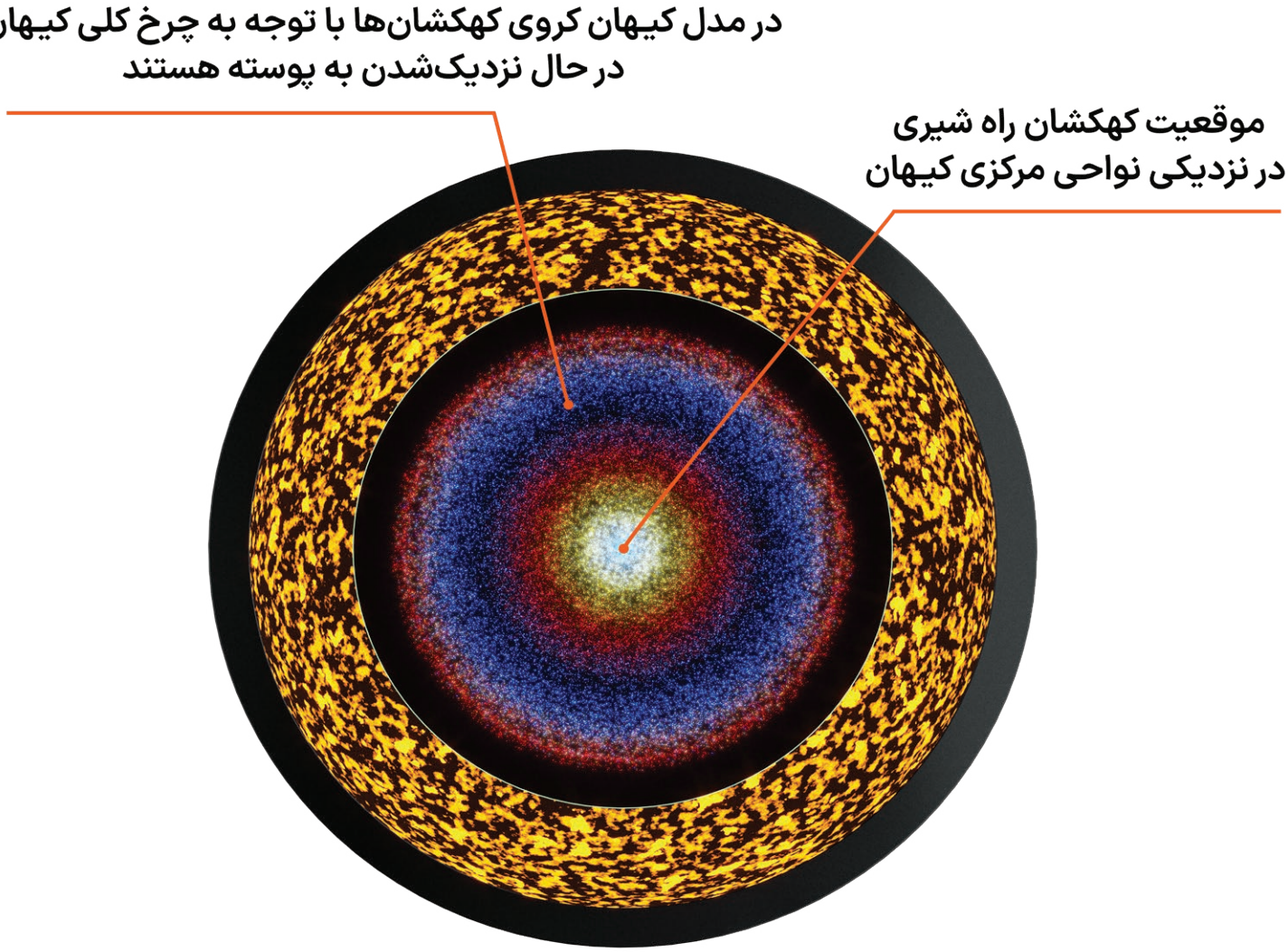
در ایـن تفسـیر، نقشـه‌ی SDSS تصویـری از کـره‌ای عظیـم اسـت کـه مرکـز هندسـی آن تقریبا با موقعیت ما، یعنی کهکشـان راه شـیری، منطبق دیده می‌شـود[۱]. این تقـارن ظاهری از نـگاه SCM، نتیجه‌ی یک تصادف آماری و یا همسـان‌گردی تعریف‌شـده در مدل اسـتاندارد نیسـت، بلکه پیامد هندسـی نحوه‌ی توزیع کهکشـان‌ها در سـاختار کروی کیهان اسـت. بر این اسـاس، هر کهکشـان در امتداد شـعاعی نسـبت بـه مرکز کیهان قرار دارد و رنگ‌های آن (از آبی تا قرمز) علاوه بر تغییرات انتقال به سـرخ بر حسـب فاصله از کهکشان راه شیری، نشـان‌دهنده‌ی تحول مورفولوژی کهکشـان‌ها در اثر نقش ماده‌زایی پوسـته و تغییرات ویسـکوزیته‌ی فضا طی افزایش حجم کیهان هستند. در نهایت در این چهارچوب، رنگ‌های گوناگون نقشـه نه‌تنهـا به کشیده‌شـدن طول موج نـور در اثر افزایش حجـم کیهان مربوط می‌شـوند، بلکـه از دیدگاه SCM می‌تواننـد نشـان‌دهنده‌ی نـرخ واگـرد فضا نیـز تلقی شوند.

در ایـن دیـدگاه، هر لایه‌ی رنگی، متناسـب با حجم فعلـی کیهان بیان‌گر وضعیـت فیزیکی متفاوتی درون ایـن کره اسـت؛ وضعیتی کـه رفتار دینامیکـی ویژه‌ی خود را دارد. دلیل این امر آن است که پوسته‌ی کیهان حیـن تجزیه، به‌صورت شـعاعی از مرکز دور می‌شـود؛ بـه عبارتی کـره‌ی کیهان در حال افزایش حجم اسـت. بنابرایـن، هـر لایـه از این سـطوح، نواحی‌ای را نشـان می‌دهند که در سـاختار کروی کیهان از نظر دینامیکی رفتار مشابهی دارند.

از سـوی دیگر، چون شـعاع کیهان با شـتاب مثبت در حـال افزایـش اسـت (یعنی واگـرد فضا شـتاب‌دار اسـت) از دیـد ناظـر نواحی مرکـزی، (مانند کهکشـان راه شـیری) ایـن رونـد بـه شـکل نوعی کشیده‌شـدن شـعاعی اجرام به سمت‌های مختلف (از دیدگاه SCM به سـمت پوسـته) دیده می‌شـود. به این معنا که در زبان دینامیکی، فضا صرفا پس‌زمینه‌ای ثابت و منفعل نیسـت، بلکه محیطی پویا اسـت که هم‌زمان در حال واگرد بوده و رفتاری سیال‌گونه با ویسکوزیته‌ی متغیر دارد؛ ویسـکوزیته‌ای که به‌طور مستقیم با چگالی جرم باریونی مرتبط اسـت. بر این اساس، آنچه ناظر همراه با حرکت ماده تجربه می‌کند، فقط ناشـی از پتانسـیل گرانشـی اجـرام نیسـت، بلکـه حاصـل ترکیـب چنـد مولفه‌ی هم‌زمان است:

۱- اثـرات جرم-انـرژی: یعنی سـهمی از دینامیک که به‌طـور مسـتقیم از نحـوه‌ی توزیـع مـاده‌ی باریونی ناشی می‌شود.
۲- اثر واگرد شـتاب‌دار فضـا: اثری که حتی در غیاب جـرم موضعـی نیـز می‌توانـد حرکت اجـرام را طوری تغییر دهد که گویی در پتانسیل اضافی قرار دارند.
۳- اثـر گریـز از مرکـز: در چهارچـوب چرخـان کیهان کروی ظاهر می‌شود.

در نتیجه، آنچه در نقشه‌ی SDSS به‌صورت گستره‌ی رنگی از آبی تا قرمز مشـاهده می‌شـود از منظر SCM، نوعـی «بـرش زمانی-مکانـی» از کیهـان در حـال واگرد است؛ برشی که نشان می‌دهد ما در ناحیه‌ای با چگالی گرانشی متوسط و تحت تاثیر گریز از مرکز کیهانی قرار داریم، در حالی که لایه‌های دورتر از ما (نواحی سرخ‌تر) به سـمت پوسـته‌ی فعال کیهان در حال حرکت‌اند. به این ترتیب، نقشـه‌ی SDSS در مدل کیهان کروی دوار به منزله‌ی نقشـه‌ای از منظومه‌های چرخشـی گرانشی و غیرگرانشـی کل کیهـان تلقـی می‌شـود؛ تصویری که نه‌تنهـا موقعیـت نسـبی کهکشـان‌ها، بلکه سـاختار درونـی و توزیـع «انرژی-فضـا» در کیهـان را بازتـاب می‌دهـد. در نتیجه کیهان‌شناسـی شـعوری هر یک از پدیده‌های ثبت‌شـده در نقشـه‌ی SDSS را بر اسـاس نظریـه‌ی کیهـان دوار طاهـری تحـت SCM بازتعریف می‌کند (شکل ۴۹).



شکل ۴۹- تفسیر نقشه‌های کهکشانی در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM). در این مدل، توزیع رنگی اجرام از آبی تا قرمز نه‌تنها بازتاب افزایش انتقال به سرخ نسبت به فاصله از کهکشان راه شیری است، بلکه بیان‌گر لایه‌های شعاعی-زمانی متفاوتی از کیهان در حال واگرد نیز محسوب می‌شود. برخلاف تفسیر ΛCDM که این نقشه‌ها را صرفا توزیع آماری کهکشان‌ها روی مخروط نوری می‌داند، SCM آن‌ها را برشی از ساختار کروی و دینامیکی فضا تفسیر می‌کند که در آن اجرام درون کیهان طی حرکت چرخشی به سوی پوسته‌ی فعال کیهان حرکت دارند.



شـکل ۵۰- کهکشـان مارپیچـی M101 به کهکشـان فرفره مشهور است. کهکشـان‌های مارپیچی به عنوان سیستم گرانشـی چرخان کـه مورفولوژی آن‌ها حاصل برهم‌کنـش میان توزیع جرم، میدان گرانشـی گسـترده و حفظ تکانه‌ی زاویـه‌ای کل اسـت، در نظر گرفته می‌شـوند. شـکل نهایی این کهکشـان‌ها بازتابی مسـتقیم از تاریخچه‌ی دینامیکی چرخش آن‌ها در گذر زمان کیهانی است.

Credit: NASA, ESA, K. Kuntz (JHU), F. Bresolin (University of Hawaii), J. Trauger (Jet Propulsion Lab), J. Mould (NOAO), Y.-H. Chu (University of Illinois, Urbana) and STScI; CFHT Image: Canada-France-Hawaii Telescope/J.-C. Cuillandre/Coelum; NOAO Image: G. Jacoby, B. Bohannan, M. Hanna/ NOAO/AURA/NSF

۱۱-۱- ریخت‌شناسی و تاریخچه‌ی شـکل‌گیری کهکشـان‌ها در بسـتر دینامیک چرخشی کیهان

ریخت‌شناسی (مورفولوژی) کهکشان‌ها در درجه‌ی نخست به واسطه‌ی تکانه‌ی زاویه‌ای کل سیستم و توزیع جرم در پتانسیل گرانشی مشترک ماده‌ی باریونی و ماده‌ی تاریک هنگام پیدایش و رشد اولیه‌ی آن‌ها تعیین می‌شود. این ساختمان «گرانشی-دینامیکی» اولیه، در ترکیب با فرآیندهای بعدی مانند رمبش گاز، ستاره‌زایی و بازخوردهای آن، برهم‌کنش‌ها و ادغام‌های کهکشانی و محیط خوشه‌ای به پیدایش و تکامل سه رده‌ی اصلی مورفولوژیک مارپیچی (Spiralgalaxies)، بیضوی (Elipticalgalaxies) و نامنظم (Irregular galaxies) منجر می‌شود.

- کهکشان‌های مارپیچی

این کهکشـان‌ها از یک برآمدگی مرکزی پرسـتاره و یک دیسـک گسترده از سـتارگان، گاز و غبار تشکیل شـده‌اند. در این‌گونـه اجـرام هرچـه از مرکـز دورتـر شـویم چگالـی سـتاره‌ها به‌صـورت نمایـی کاهـش می‌یابـد [۱۲۸], [۱۲۹]. طـوری کـه درون دیسـک آن‌ها بازوهای مارپیچی‌ای مشـاهده می‌شوند که الگوهایی از فشردگی چگالی‌اند؛ در این بازوها گاز میان‌ستاره‌ای فشـرده‌تر می‌شـود. در نتیجـه سـتاره‌زایی فعال‌تری مشاهده می‌شود [۱۳۰], [۱۳۱]. چگالی گاز در این نواحی معمولا چند ده جرم خورشـیدی در هر پارسـک مربع است و بر اساس قانون تجربی «کنیکات-اشمیت»[۱]، هرچـه گاز در ایـن اجرام عظیم متراکم‌تر باشـد، نرخ تشکیل سـتاره نیز بیش‌تر خواهد بود [۱۳۲], [۱۳۳], [۱۳۴].

در کنـار گاز و سـتاره‌ها، مـاده‌ی تاریـک نیز بخش بزرگـی از جرم کهکشـان را تشـکیل می‌دهـد. هاله‌ی مـاده‌ی تاریـک در اطـراف دیسـکْ پخش می‌شـود و بـا ایجاد میـدان گرانشـی گسـترده، منحنی چرخش کهکشـان را در فواصل زیاد تخت نگاه می‌دارد [۱۳۵], [۱۳۶]. این پایداری گرانشـی باعث می‌شـود دیسـک رمبـش نکنـد و بازوهـای مارپیچـی بتواننـد پایـدار باقـی بماننـد. همچنیـن، مـاده‌ی تاریـک بـا تنظیم پارامتـر پایـداری تومـره[۲] در دیسـک بـر شـکل‌گیری و تـداوم موج‌هـای مارپیچـی تاثیـر می‌گـذارد [۱۳۷], [۱۳۸]. عامل کلیدی دیگر در سـاختار این کهکشان‌ها تکانـه‌ی زاویه‌ای اسـت. منشـاء این تکانـه از دیدگاه مـدل ΛCDM به دوران اولیه‌ی کیهان و گشـتاورهای کشـندی[۳] ناشـی از ناهمگنی‌هـای چگالـی بازمی‌گردد [۱۳۸], [۱۳۹]. هرچـه کهکشـانی مقـدار بیش‌تـری از تکانه‌ی زاویه‌ای اولیه‌ی خود را حفظ کند، دیسـک آن پهن‌تـر و پایدارتر باقی می‌ماند. امـا اگر این تکانه بر اثر برهم‌کنش‌های گرانشی یا برخورد با کهکشان‌های دیگر کاهش یابد، دیسـک ضخیم‌تر می‌شـود و نظم مارپیچـی از بیـن مـی‌رود [۱۴۰], [۱۴۱] (شـکل ۵۰). مشاهدات نشان می‌دهند کهکشان‌های مارپیچی در مقایسـه با کهکشان‌های بیضوی، برای جرم ستاره‌ای مشـابه، تکانه‌ی زاویـه‌ای بیش‌تری دارنـد؛ از این رو میزان حفظ تکانه یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده‌ی شکل کهکشان است [۱۴۱].

۱- قانون کنیکات-اشمیت (Kennicutt-Schmidt relation) می‌گوید هرچه چگالی گاز در ناحیه‌ای از کهکشان بیش‌تر باشد، نرخ تشکیل ستاره‌ها نیز در آن ناحیه بیش‌تر است.

۲- پارامتر پایداری تومره (Q) معیاری دینامیکی برای ارزیابی مقاومت دیسک‌های ستاره‌ای و گازی کهکشان‌ها در برابر ناپایداری‌های گرانشی موضعی است.

۳- منظور از گشتاور کشندی (Tidal Torque Theory) این است که در جهان اولیه، چون ماده به‌طور یکنواخت پخش نشده بود، توده‌های مجاور با گرانش نامتقارن به یکدیگر نیرو وارد کردند و این نیروهای نامتقارن باعث چرخیدن توده‌های در حال شکل‌گیری شدند. این کشش نامتقارن، فقط باعث کشیده‌شدن اجرام نمی‌شود، بلکه به آن‌ها پیچش می‌دهد؛ به عبارتی به آن‌ها تکانه‌ی زاویه‌ای می‌دهد.

از دیدگاه مدل‌های استاندارد کیهان‌شناسی و دینامیک کلاسیک کهکشانی، مورفولوژی مارپیچی یا بیضوی کهکشان‌ها به تاریخچه‌ی تکانه‌ی زاویه‌ای ذاتی آن‌ها وابسته است، نه به موقعیت فضایی در کیهان. به این معنا که اگر در زمان رمبش اولیه، گاز درون هاله‌ی تاریک مقدار زیادی تکانه‌ی زاویه‌ای داشته باشد، رمبش کندتر رخ می‌دهد و دیسک نازک و چرخان شکل می‌گیرد. اما اگر این گاز تکانه‌ی زاویه‌ای کمی داشته یا آن را از دست بدهد (به‌طور مثال در ادغام‌ها)، رمبش سریع‌تر و هم‌محورتر می‌شود. بنابراین در مدل استاندارد، محل قرارگیری در «مرکز یا پیرامون کیهان» نقشی ندارد؛ زیرا چرخش کیهان به عنوان سیستم کل در ΛCDM تعریف نشده است. در صورتی که بر اساس چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM) در دوران آغازین جهان که به میلیاردها سال پیش برمی‌گردد (یعنی زمانی که کره‌ی کیهان اندازه‌ای به‌مراتب کوچک‌تر از حجم کنونی خود داشت) پوسته‌ی در حال تجزیه، نخستین کهکشان‌ها را پدید آورد.

این ساختارهای جوان هم‌زمان با افزایش تدریجی حجم کیهان از پوسته فاصله گرفتند؛ به‌گونه‌ای که امروزه این نوع کهکشان‌ها به‌طور عمده در نواحی مرکزی کیهان جای دارند و حرکت تدریجی آن‌ها به‌سوی پوسته، تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز حاصل‌شده از چرخش کیهان انجام می‌شود؛ نیرویی که ارتباط میان دینامیک محلی کهکشان‌ها و چرخش کلان‌مقیاس کیهان را برقرار می‌سازد. بنابراین، کهکشان‌های مارپیچی نه‌تنها از نظر ساختار درونی، بلکه از منظر توزیع شعاعی و موقعیت فضایی در پیکره‌ی عظیم کیهان بازتاب‌دهنده‌ی دینامیک بنیادی آن به شمار می‌روند و توزیع آن‌ها در مناطقی است که ویسکوزیته‌ی فضا پایین‌تر از نواحی نزدیک‌تر به پوسته است. این امر باعث می‌شود تکانه‌ی زاویه‌ای حاکم در تشکیل این گونه اجرام با ممانعت‌های کم‌تری مواجه شود. به این ترتیب، کهکشان‌های مارپیچی هم‌اکنون در بستری قرار گرفته‌اند که آزادی دینامیکی بیش‌تری برای حفظ و تقویت تکانه‌ی زاویه‌ای خود دارند. در نتیجه چرخش منظم دیسک‌ها و بازوهای مارپیچی متقارن در محیط امروزی، پیامد طبیعی حضور در فضا با مقاومت دینامیکی پایین است؛ جایی که گریز از مرکز به‌طور پایدار عمل می‌کند و نظم چرخشی اجرام در مقیاس‌های ستاره‌ای و کهکشانی حفظ می‌شود.

با درنظر گرفتن این مفاهیم، مطابق با SCM می‌توان گفت مورفولوژی و نظم چرخشی کهکشان‌های مارپیچی، مربوط به ویسکوزیته‌ی پایین فضا در نواحی مرکزی است که از اتلاف تکانه‌ی زاویه‌ای جلوگیری می‌کند. به این ترتیب، کهکشان‌های مارپیچی مشاهده‌شده در اطراف کهکشان راه‌شیری نه‌تنها بقایای دوران‌های نخست ماده‌زایی در پوسته‌ی کیهان‌اند که به مرور زمان با ادغام یا تغییر و تحولات نیز مواجه بوده‌اند، بلکه نمود عینی «دینامیک درونی کیهان دوار و کروی» هستند که همچنان اثر چرخش کلان‌مقیاس خود را در ریخت‌شناسی و پویایی ساختارهای خود حفظ کرده‌اند.

- کهکشان‌های بیضوی

کهکشان‌های بیضوی از متراکم‌ترین ساختارهای ستاره‌ای در جهان در مقیاس کهکشانی محسوب می‌شوند و برخلاف کهکشان‌های مارپیچی، دیسک چرخان و بازوهای مارپیچی ندارند. این کهکشان‌ها، ظاهری متقارن و هموار دارند و شکل کلی آن‌ها حاصل توزیع تصادفی مدار ستارگان در پتانسیل گرانشی عمیق درونی است [۱۴۲], [۱۴۳]. چگالی ستاره‌ای در مرکز این کهکشان‌ها بسیار بالا است و با فاصله از مرکز به‌صورت پیوسته کاهش می‌یابد. توزیع روشنایی آن‌ها با قانون نمایی *de Vaucouleur*[۱] با معادله‌ی $I(R) \propto e^{-7.67[(R/R_e)^{1/4}-1]}$ توصیف می‌شود که در آن R_e شعاع موثر و $I(R)$ روشنایی سطحی است [۱۴۴].

این قانون بیان‌گر تمرکز بالای جرم ستاره‌ای در هسته و افت سریع چگالی در لایه‌های بیرونی است. کهکشان‌های بیضوی تقریبا فاقد گاز سرد و غبار هستند و به همین دلیل نرخ ستاره‌زایی در آن‌ها بسیار پایین یا تقریبا صفر است [۱۴۵]. گاز میان‌ستاره‌ای باقی‌مانده در کهکشان‌های بیضوی پرجرم مانند Messier 87، به‌طور عمده داغ و در دمای 10^6 تا 10^7[۲] کلوین قرار دارد و با میدان گرانشی هاله در تعادل هیدرواستاتیکی است [۱۴۶]. زیرا گاز هنگام فروپاشی گرانشی دچار شوک می‌شود و انرژی پتانسیل گرانشی آن به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. این شرایط باعث می‌شود گاز به‌سرعت خنک نشود و فرآیند تشکیل ستارگان جدید متوقف شود. به همین دلیل، جمعیت ستاره‌ای آن‌ها غالبا پیر و سرخ رنگ است [۱۴۷] و در طیف‌نگاریِ فروسرخ و نوری، شاخص‌های فلزیت بالا مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تکامل کهکشانی قدیمی آن‌ها است.

۱- این قانون به نام قانون دو وکولور (*de Vaucouleurs' law*) شناخته می‌شود و به‌طور ساده می‌گوید روشنایی سطحی کهکشان‌های بیضوی از مرکز به بیرون با توان یک‌چهارم شعاع کاهش می‌یابد.

۲- این دما مربوط به گاز داغ X-ray emitting است، نه گاز مولکولی سرد.

www.Journalofcosmointel.com



شـکل ۵۱- کهکشـان NGC 2865 که به وسیله‌ی تلسکوپ فضایـی هابـل گرفته شـده، نشـان‌دهنده‌ی یک کهکشـان بیضوی اسـت کـه در فاصله‌ی ۱۰۰ میلیون سـال نوری از ما قرار دارد. این نوع کهکشـان‌ها به عنوان سیسـتم گرانشـی با تکانه‌ی زاویه‌ای ویژه‌ی پایین شـناخته می‌شود؛ ساختاری که شکل کنونی آن حاصل بازتوزیع تدریجی تکانه‌ی زاویه‌ای در فرآینـد تکامـل دینامیکی، به‌ویژه طی رمبش‌های سـریع و ادغام‌هـای گرانشـی اسـت. ایـن فرآیندهـا بـا تضعیـف چرخـش منسـجم و افزایـش پراکندگی سـرعت سـتارگان، سبب شده‌اند مدارهای نامنظم در پتانسیل گرانشی عمیق مشـترک باریونی-مـاده‌ی تاریـک غالـب شـوند. در چنیـن سیسـتمی، پایداری ساختاری نه بر پایه‌ی حرکت چرخشی، بلکه بر اسـاس تعادل آماری میان انرژی جنبشـی تصادفی سـتارگان و میـدان گرانشـی برقـرار می‌شـود؛ به‌گونه‌ای که ریخت‌شناسـی بیضـوی، بازتابـی مسـتقیم از تاریخچـه‌ی دینامیکـی و تکاملـی تکانـه‌ی زاویـه‌ای کهکشـان به شـمار می‌آید.

Credit: ESA/Hubble & NASA

در این کهکشـان‌ها، ماده‌ی تاریک سـهم مهمی از جرم کل را تشـکیل می‌دهد و پایداری دینامیکی را تضمین می‌کند. در نواحی مرکزی، سـهم ماده‌ی تاریـک معمـولا حـدود ۲۰ تـا ۴۰ درصـد جـرم کل اسـت. اما در شـعاع‌های بزرگ‌تر که بیش از چند برابر شـعاع موثر R_e اسـت، می‌تواند بـه ۷۰ تا ۸۰ درصد نیز برسـد [۱۴۸], [۱۴۹]. حضور این هاله‌های گسـترده، عمـق پتانسـیل گرانشـی را افزایـش می‌دهد و از رمبش کل سیستم جلوگیری می‌کند، در واقـع در چنین پتانسـیل عمیق و گسـترده‌ای، سیسـتم بیش‌تـر به‌وسـیله‌ی پراکندگی سـرعت سـتارگان (پشـتیبانی فشـاری) پایـدار می‌مانـد تا چرخش منسجم شود. همین امر مانع شکل‌گیری دیسـک‌های نـازک و بازوهـای مارپیچـی پایـدار می‌شـود. بـه زبان سـاده‌تر اگـر تقریبا تمـام جرم فقـط در مرکـز متمرکـز بود، گرانـشْ همه‌چیز را به آن نقطه می‌کشـید و کهکشـان فرو می‌ریخت. اما چـون ماده‌ی تاریک جرم را در سراسـر هاله پخش می‌کنـد، نیروهـا از جهت‌هـای گوناگـون تـا حدی هم‌زمان یکدیگر را متعادل می‌کنند و سیسـتم در وضعیـت پایدار «ویریالی»[۱] باقی می‌ماند؛ به‌طوری که نه رمبش می‌کند و نه از هم می‌پاشد.

از دیـدگاه دینامیکـی، کهکشـان‌های بیضـوی محصـول سیسـتم‌هایی‌اند کـه طـی فرآیندهـای برهم‌کنـش و ادغـام، بخـش عمـده‌ی تکانـه‌ی زاویه‌ای منظم دیسـکی خـود را بازتوزیع کرده و در نتیجه، تکانه‌ی زاویه‌ای ویژه‌ی کم‌تری را نسبت به کهکشان‌های مارپیچی با جرم مشابه حفظ کرده‌اند [۱۵۰]. در چهارچوب مدل ΛCDM، این کهکشان‌ها اغلـب از ادغـام یـا رمبـش سیسـتم‌های چرخـان (ماننـد کهکشـان‌های مارپیچـی) شـکل گرفته‌اند [۱۵۱], [۱۵۲]؛ به این‌صورت که در فرآیند ادغام، نظم چرخش دیسـک از بیـن می‌رود و بخـش بزرگی از انرژی جنبشـی منظم چرخشی به حرکات تصادفی ستارگان در پتانسیل گرانشی حجمی (سه‌محوره) تبدیـل می‌شـود. ایـن فرآینـد موجـب افزایـش چگالـی مرکزی، از بیـن رفتن بازوهـای مارپیچی و پیدایـش پویایـی بی‌نظـم می‌شـود [۱۵۲]. از ایـن رو، کهکشـان‌های بیضوی نسبت به کهکشان‌های مارپیچی با جرم سـتاره‌ای مشابه، تکانه‌ی زاویه‌ای بسـیار کم‌تـری دارنـد و در نمودارهـای $M_* j_*^2$ کـه نشـان می‌دهد سـتارگان در هر جرم کل چه مقدار تکانـه‌ی زاویـه‌ای ویـژه دارنـد، در محدوده‌هـای پایین‌تر قرار می‌گیرند [۱۵۳] (شکل ۵۱).

۱- ویریالی (Wirial theorem) به سیستمی گفته می‌شود که به تعادل ویریالی رسیده باشد؛ به این معنا که بین انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی آن، رابطه‌ی 2T+U=0 برقرار باشد که در آن T انرژی جنبشی (به‌طور مثال ناشی از حرکت تصادفی ستارگان) و U انرژی پتانسیل گرانشی است. در چنین حالتی سیستم نه در حال رمبش است و نه در حال ازهم‌گسیختگی. ساختار کلی آن در طول زمان تقریبا ثابت باقی می‌ماند و سیستم در تعادل دینامیکی پایدار است.

۲- تکانه‌ی زاویه‌ای کل مولفه‌ی ستاره‌ای کهکشان، معادل j_* و جرم کل ستاره‌ای کهکشان، معادل M_* است.

در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM)، این ویژگی‌ها تفسیر کلان‌تری می‌یابند. در این مدل، پوسته‌ی کیهان به عنوان منبع اصلی گشتاور در نظر گرفته می‌شود و چرخش آن، سبب ایجاد نیروی گریز از مرکز در نواحی مرکزی کیهان می‌شود. از طرفی در این نواحی به خاطر خالی‌شدن ماده‌ی باریونی و حرکت آن به سمت پوسته، ویسکوزیته‌ی فضا کم‌تر است. در نتیجه، شرایط برای شکل‌گیری و پایداری کهکشان‌های مارپیچی در این مقیاس‌ها مناسب‌تر خواهد بود. در مقابل، در فواصل دورتر از مرکز، افزایش ویسکوزیته‌ی فضا که نتیجه‌ی ماده‌زایی پوسته و تشکیل تعداد زیادی از کهکشان‌ها است، طی افزایش حجم کیهان موجب اتلاف تکانه‌ی زاویه‌ای می‌شود و سیستم‌های کهکشانی به سمت ساختارهایی متراکم‌تر با بازوهای جمع‌شده که چرخش منظم و ضعیف‌تری دارند، سوق می‌یابند؛ ویژگی‌هایی که با ریخت‌شناسی بیضوی سازگارند. بر این اساس، در مدل کیهان کروی مورفولوژی کهکشان‌های بیضوی حاصل سه عامل اصلی است:

۱- چگالی ستاره‌ای بالا و نبود گاز سرد که مانع ستاره‌زایی جدید می‌شود.

۲- سهم زیاد ماده‌ی تاریک (ویسکوزیته‌ی بالای فضا) که حرکت تصادفی و پایداری گرانشی را حفظ می‌کند.

۳- کاهش یا اتلاف تکانه‌ی زاویه‌ای حاکم بر خود کهکشان در اثر ویسکوزیته‌ی بالای فضا.

در نتیجه مطابق مدل کیهان کروی، کهکشان‌های بیضوی به نواحی‌ای نسبت داده می‌شوند که در آن‌ها ویسکوزیته‌ی فضا و میدان گرانشی به خاطر وجود مقدار زیادی از ماده‌ی باریونی غالب بوده و کم‌ترین مقدار تکانه‌ی زاویه‌ای در مقیاس کهکشانی حفظ می‌شود.

- کهکشان‌های نامنظم

این اجرام دسته‌ای از کهکشان‌ها هستند که ساختار منظم مارپیچی یا تقارن بیضوی کلاسیک ندارند و در رده‌بندی هابل در قالب کهکشان‌های Irr (Irregular Galaxies) و dIrr (dwarf Irregular Galaxies) قرار می‌گیرند [۱۵۴], [۱۵۵]. این کهکشان‌ها اغلب کوچک‌تر از کهکشان‌های مارپیچی‌اند و جرم ستاره‌ای آن‌ها معمولا کم‌تر از $10^{10} M_{\odot}$ است [۱۵۵], [۱۵۶]. در بسیاری از کهکشان‌های نامنظم، مورفولوژی توده‌ای و ناهموار نور و حضور نواحی ستاره‌زایی پراکنده نشان می‌دهد بخشی از این سیستم‌ها یا هنوز به‌طور کامل به تعادل دینامیکی ویریالی نرسیده‌اند یا در مرحله‌ی گذار میان سیستم‌های چرخان منظم و سیستم‌های رمبیده به سر می‌برند [۱۵۶]. از دیدگاه مدل‌های تشکیل کهکشان، این کلاس می‌تواند برآیند ترکیبی از سناریوهایی مانند برهم‌کنش‌های گرانشی، ادغام‌های جزئی و رمبش‌های ناهمسان گاز در پتانسیل‌های کم‌عمق کوتوله‌ها باشد [۱۵۴], [۱۵۶].

از منظر دینامیک میان‌ستاره‌ای، این کهکشان‌ها معمولا توزیع ناهمگن و کم‌چگالی ستاره‌ای دارند و در عین حال در نواحی مرکزی یا ناحیه‌های خاصی از دیسک، خوشه‌های فشرده‌ای از ستارگان جوان و داغ دیده می‌شود که حاصل «ستاره‌زایی انفجاری»[۱] یا دوره‌های ستاره‌زایی تقویت شده است؛ در بیرون از این نواحی، چگالی ستاره‌ها به‌سرعت کاهش می‌یابد [۱۵۴], [۱۵۷]. در مقابل، چگالی گازی به‌ویژه گازهای «HI و H_2»[۲] در بسیاری از کهکشان‌های نامنظم کوتوله بسیار بالا است و در برخی نمونه‌ها، جرم گاز می‌تواند هم‌مرتبه با جرم ستاره‌ای یا حتی بخش بزرگی از جرم باریونی کل سیستم را تشکیل دهد [۱۵۵], [۱۵۷]. در این کهکشان‌ها قانون تجربی «کنیکات-اشمیت» که رابطه‌ای میان چگالی سطحی گاز و نرخ ستاره‌زایی برقرار می‌کند، همچنان صادق است؛ هرچند به‌دلیل ناهمسانی شدید توزیع گاز و فشار موضعی، پراکندگی این رابطه نسبت به دیسک‌های مارپیچی بسیار بیش‌تر است [۱۵۸], [۱۵۹].

ماده‌ی تاریک نیز در این‌گونه اجرام نقشی اساسی در پایداری دینامیکی ایفا می‌کند. مشاهدات چرخش در کهکشان‌های نامنظم کم‌جرم و کوتوله‌های گازغنی نشان می‌دهد منحنی‌های چرخش آن‌ها در فواصل زیاد تقریبا تخت یا به‌آرامی در حالت صعودی باقی می‌مانند که نشانه‌ای از حضور هاله‌های گسترده‌ی ماده‌ی تاریک است [۱۵۹], [۱۶۰]. تحلیل‌های دینامیکی و شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند نسبت جرم ماده‌ی تاریک به جرم باریونی در این کهکشان‌ها به مراتب بیش‌تر از کهکشان‌های مارپیچی است؛ طوری که در برخی موارد، ماده‌ی تاریک می‌تواند بیش از ۹۰٪ جرم کل را در بر گیرد و سیستم را در برابر رمبش گرانشی یا گسیختگی در محیط‌های پرتلاطم پایدار نگه دارد [۱۵۹], [۱۶۱].

تکانه‌ی زاویه‌ای در کهکشان‌های نامنظم، برخلاف کهکشان‌های مارپیچی دیسکی، به‌طور متوسط پایین‌تر است و میدان سرعت آن‌ها اغلب فاقد چرخش منظم و محوری قوی است؛ هرچند در بسیاری از dIrrها هنوز مولفه‌ای از چرخش دیسکی قابل تشخیص است [۱۵۵], [۱۵۹]. در چهارچوب مدل ΛCDM، چنین پیکربندی‌هایی می‌توانند نتیجه‌ی فرآیندهایی مانند ادغام‌های جزئی، برهم‌کنش‌های کشندی با کهکشان‌های بزرگ‌تر و رمبش‌های ناهمسان اولیه باشند که طی آن‌ها «تکانه‌ی زاویه‌ای منظم دیسکی» میان ستارگان، گاز و هاله‌ی ماده‌ی تاریک بازتوزیع شده و نظم چرخشی اولیه تضعیف می‌شود [۱۶۲], [۱۶۳]. مدارهای ستاره‌ها و گازها در پی این فرآیندها الزاما هم‌تراز و هم‌صفحه نیستند و الگوهای سرعت، ظاهری تصادفی و آشفته پیدا می‌کند. از این رو، کهکشان‌های نامنظم را می‌توان بخشی از طیف سیستم‌هایی دانست که یا در حال شکل‌گیری تدریجی ساختار دیسکی و سازمان‌یافتگی دینامیکی‌اند یا بازمانده‌ی کهکشان‌هایی هستند که در اثر تعامل‌های گرانشی و بازخورد ستاره‌ای، هندسه‌ی چرخشی منظم خود را دگرگون کرده‌اند [۱۵۶], [۱۶۴] (شکل ۵۲).

۱- عبارت ستاره‌زایی انفجاری (Starburst) در اخترفیزیک به فرآیندی گفته می‌شود که در آن، سرعت تشکیل ستاره‌ها به‌طور ناگهانی و بسیار زیاد افزایش می‌یابد.

۲- زمانی که گفته می‌شود «گاز HI و H_2»، منظور ترکیب گاز اتمی گسترده و گاز مولکولی متراکم است که با هم منبع اصلی جرم گازی و سوخت ستاره‌زایی در کهکشان‌ها هستند.

www.Journalofcosmointel.com

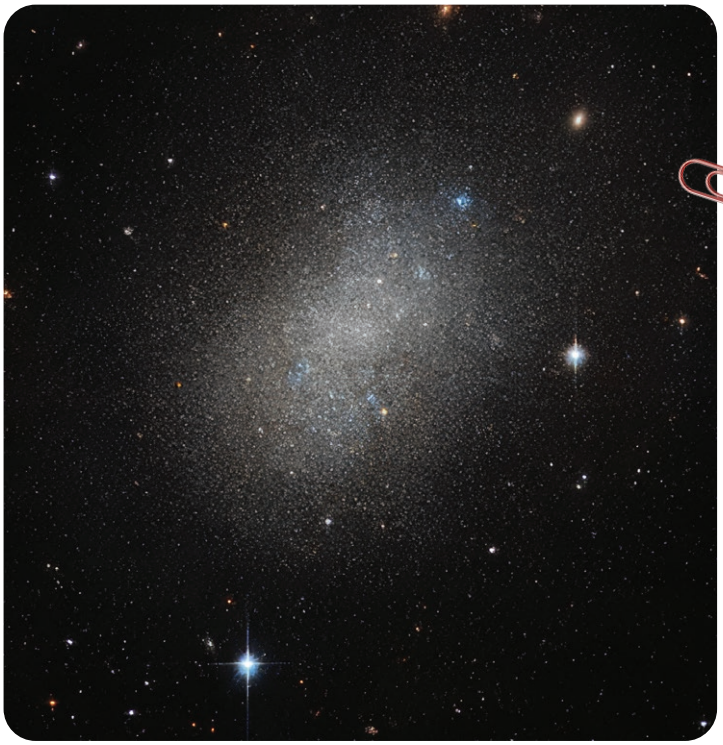
در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM)، پرتاب‌های باریونیِ حاصل از فعالیت پوسته (تجزیه‌ی TAM)، هسته‌های نخستین ستارگان را شکل می‌دهند و به‌تدریج با هم‌جوشی و هم‌گرایی گرانشی، منجر به تولد کهکشان‌های جوان می‌شوند. در نتیجه، نواحی مجاور پوسته، نواحی با بیش‌ترین نرخ ماده‌زایی و تشکیل کهکشان‌های جدید هستند.

از سویی، همین فرآیند پرتاب ماده از پوسته به درون سبب می‌شود در این لایه‌ها، نرخ واگرد شعاعی به دلیل اندازه‌گیری آن بر حسب نرخ دورشدن اجرام از ما نسبت به نواحی مرکزی کم‌تر به نظر برسد. این پدیده در مقیاس رصدی خود را به‌صورت کاهش ظاهری سرعت انبساط[1] یا همان «تنش هابل» نشان می‌دهد؛ به این معنا که کهکشان‌های نزدیک به این ناحیه، نسبت به انتظار مدل‌های خطی ΛCDM نرخ دور شدن کم‌تری از خود بروز می‌دهند، در حالی‌که علت آن دینامیک داخلی است و نه تفاوت واقعی در ثابت هابل.

به موازات این روند، همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد در نواحی مرکزی چرخش کلی کیهان به عنوان سیستم کل، منجر به پدیدآمدن نیروی گریز از مرکز نیز می‌شود. این میدان، به‌ویژه در فضاهایی با چگالی کم و ویسکوزیته‌ی پایین نواحی مرکزی، برآیندی شعاعی دارد که اجرام (کهکشان‌ها) و ماده‌ی میان‌ستاره‌ای را به سوی پوسته می‌کشد. به این ترتیب در مقیاس کلان، دو جریان متضاد برقرار است: یکی پرتاب ماده از پوسته به سمت درون و دیگری مهاجرت تدریجی اجرام از مرکز به سمت بیرون تحت اثر نیروی گریز از مرکز. تقاطع این دو جریان در شعاع معین، شرایطی برای تراکم بالای کهکشانی و نرخ بالای برخورد و ادغام اجرام فراهم می‌کند که همان منطقه‌ی پربرخورد میان‌کره‌ی کیهانی است. در چنین ناحیه‌ای، کهکشان‌ها یا جدیدا از فرآیند ماده‌زایی پوسته پدید آمده‌اند که برخی از آن‌ها هنوز به تعادل مداری نرسیده‌اند یا در اثر برخوردها و تعامل‌های گرانشی سایر کهکشان‌های از قبل به وجود آمده‌ی در حال حرکت به سمت آن‌ها، ساختار چرخشی منظم خود را از دست داده‌اند. حاصل هر دو مسیر، ایجاد کهکشان‌های نامنظم است؛ اجرامی با توزیع ستاره‌ای ناهماهنگ، گازهای فشرده‌ی داغ و چرخش‌های آشوبناک که نمایان‌گر دینامیک ناپایدار در این لایه‌های کیهان‌اند.

در نتیجه از منظر کیهان‌شناسی شعوری، حضور کهکشان‌های نامنظم در ناحیه‌ای مشخص میان ما و پوسته تصادف آماری نیست، بلکه بازتاب مستقیم از کروی‌بودن ساختار کیهان و چرخش همه‌محوری آن به شمار می‌رود. چرخش پوسته، تزریق مداوم ماده و انرژی به خاطر تجزیه‌ی آن و انتقال غیرشعاعی تکانه‌ی زاویه‌ای درون فضا که از سمت پوسته به مرکز کیهان است، با یکدیگر تعادل پویایی می‌سازند که در آن لایه‌های گوناگون کیهان مانند کهکشان‌های پرچرخش و دیسکی در نواحی نزدیک به مرکز، بیضوی‌های متراکم در نواحی میانی و در نهایت نامنظم‌های پویای ناحیه‌ی پربرخورد و کهکشان‌زایی‌های جوان نزدیک به پوسته که آخرین حلقه‌ی زنجیره‌ی دینامیک چرخشی کیهان به شمار می‌آیند، رفتارهایی متمایز اما پیوسته از خود نشان می‌دهند.

۱- شایان ذکر است سرعت انبساط کیهان در SCM معادل افزایش حجم کره‌ی کیهان است.



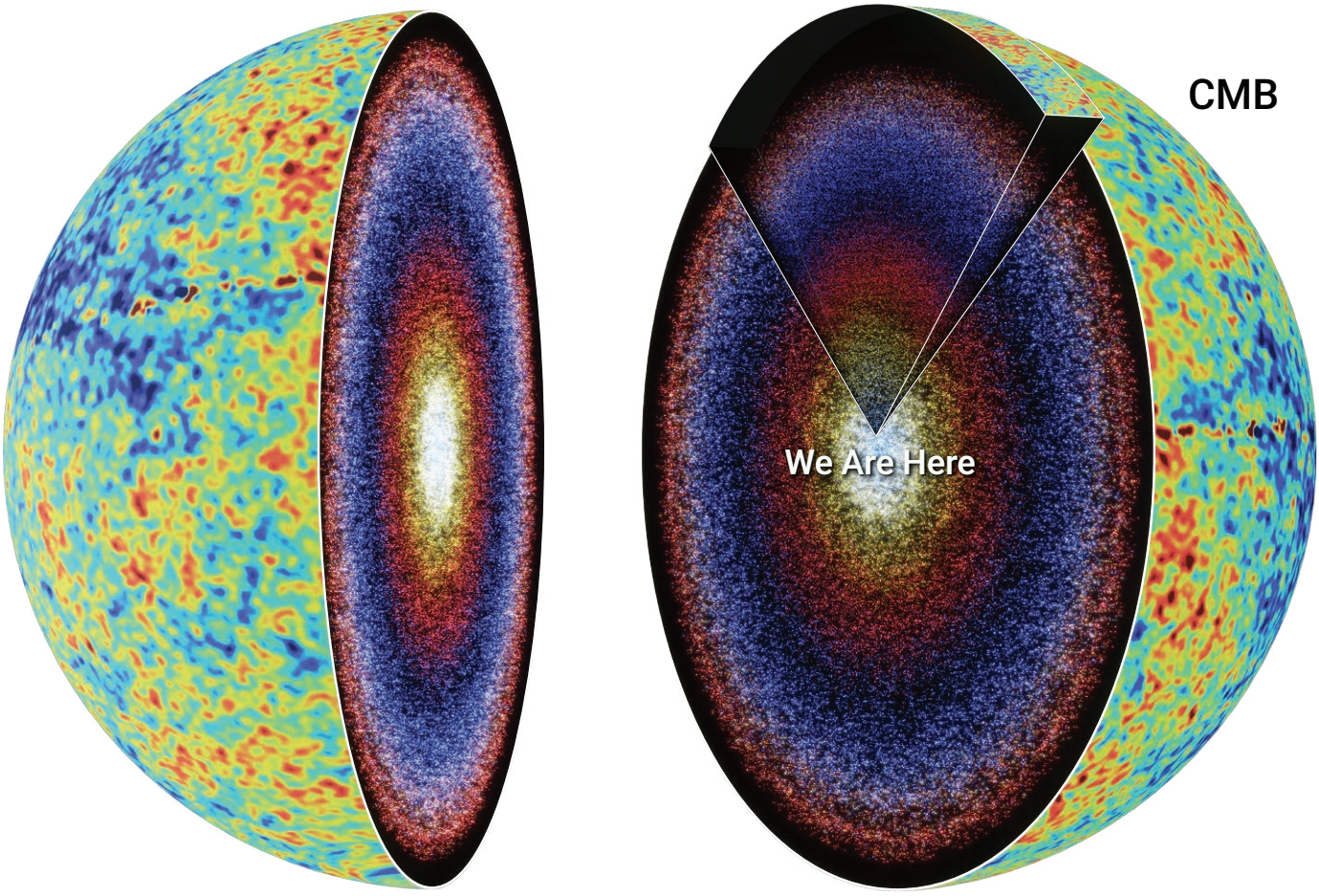
شکل ۵۲- کهکشان NGC 5264 که به وسیله‌ی تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده، نشان‌دهنده‌ی یک کهکشان نامنظم است. پویایی این کهکشان‌ها نه با چرخش منسجم دیسکی، بلکه با بازتوزیع ناکامل و کم‌بازده تکانه‌ی زاویه‌ای در یک پتانسیل گرانشی کم‌عمق و ماده‌ی تاریک غالب تعیین می‌شود. در چنین سیستمی، نبود تکانه‌ی زاویه‌ای کافی برای سازمان‌دهی چرخش پایدار به پیدایش میدان‌های سرعت نامتقارن، ستاره‌زایی لکه‌ای و ساختاری فاقد تقارن هندسی می‌انجامد؛ به‌گونه‌ای که ریخت فعلی کهکشان بازتابی مستقیم از تاریخچه‌ی دینامیکی برهم‌کنش‌ها، بازخورد گازی و انتقال ناهمسان تکانه‌ی زاویه‌ای میان ستارگان، گاز و هاله‌ی ماده‌ی تاریک است.

Credit: ESA/Hubble & NASA

مدل کیهان کروی و تفسیر داده‌های SDSS

۱۲-۱- تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی و پوسته‌ی فعال

در دورترین لایه‌ی نقشه‌ی SDSS، تابش پس‌زمینه‌ی ریزموج کیهانی (CMB) در فاصله‌ی حدود ۱۳٫۸ میلیارد سال نوری مشاهده می‌شود. در مدل ΛCDM، این تابش بازمانده‌ی دوران نوترکیبی پلاسما و آغاز شفافیت کیهان دانسته می‌شود. اما در SCM، این تابش حاصل فعل و انفعالات پوسته‌ی کیهان است؛ لایه‌ای از جنس ماده‌ی مطلق (TAM) که در آن تجزیه همواره ادامه دارد و انواع ماده و انرژی همراه فضا به درون کیهان آزاد می‌شوند. بنابراین، CMB نه صرفا بازتاب گذشته‌ی کیهان، بلکه نشانه‌ی نوری از نوترکیبی پلاسمای حاصل از احتراق مداوم سطح پوسته‌ی فعلی کیهان است. از آن‌جا که ناظر در مرکز هندسی کیهان کروی قرار دارد، تابش به‌صورت تقریبا یکنواخت مشاهده می‌شود؛ هرچند این تابش از پوسته‌ای گسیل می‌شود که خود در حال واگرد (دورشدن) است. گسترش شعاعی پوسته موجب کشیدگی طول‌موج و ایجاد گرادیان انتقال به سرخ در مرزهای قابل مشاهده می‌شود؛ پدیده‌ای که مطابق SCM، بازتاب هندسی واگرد شعاعی پوسته و تبیینی طبیعی از افزایش حجم کره‌ی کیهان به شمار می‌آید (شکل ۵۳).



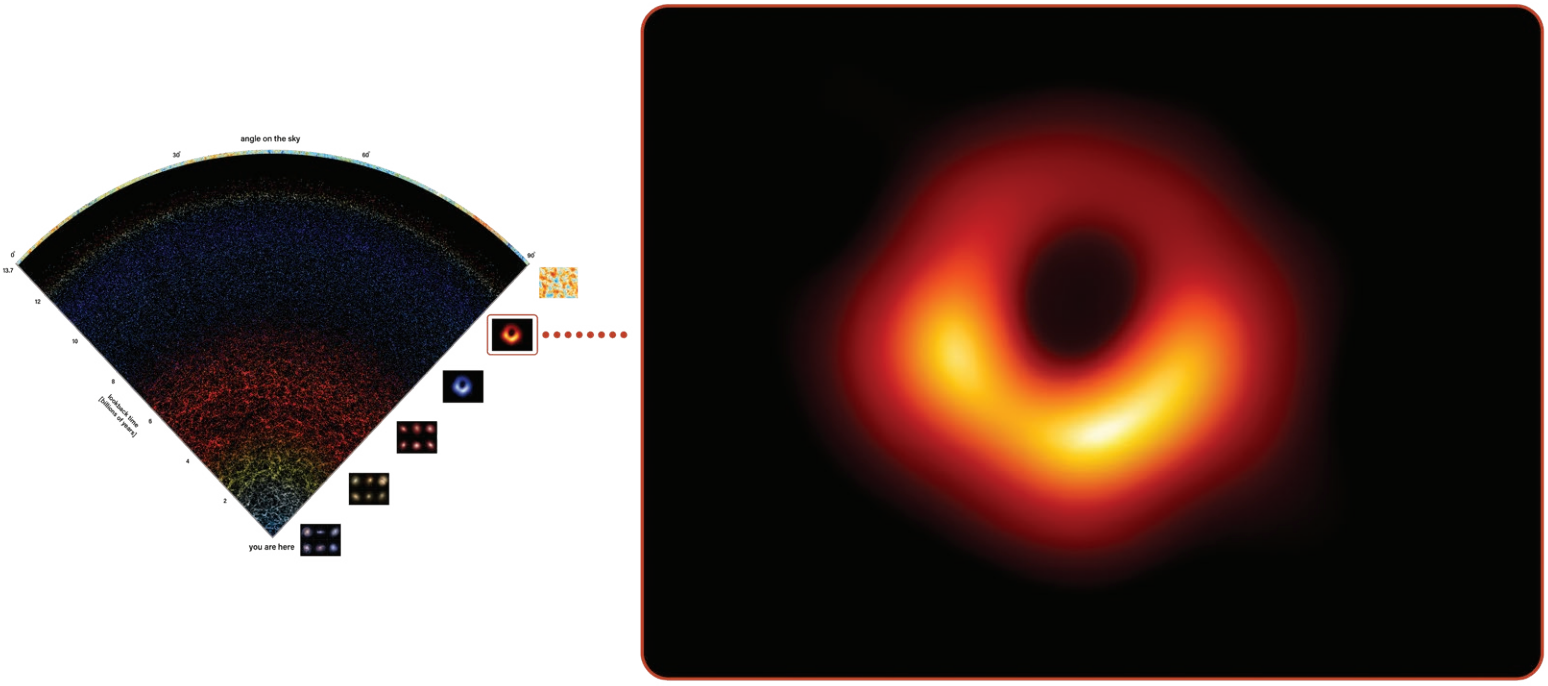
شکل ۵۳- تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی در نقشه‌ی سه‌بعدی کروی، نشان‌دهنده‌ی دویست‌هزار کهکشان و موقعیت کهکشان راه شیری در مرکز است که محققان دانشگاه جانز هاپکینز آن را تهیه کرده‌اند. هر چند از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج این موقعیت در کیهان جایگاه ویژه‌ای به شمار نمی‌آید اما در SCM واقعا کهکشان راه شیری در نواحی نزدیک به مرکز کیهان کروی (نه دقیقا خود مرکز) قرار داد.

Credit : by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

www.Journalofcosmointel.com

۱۲-۲- کمربند کوازارها و مرحله‌ی آغازین شکل‌گیری ساختارها در انتقال به سرخ بالا

در فاصله‌ی ۱۲ تا ۱۳٫۷ میلیارد سال نوری از کهکشان راه شیری، مجموعه‌ای از کوازارهای با انتقال به سرخ بالا ($z \approx 6\text{-}8$) مشاهده می‌شوند. در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM)، این ناحیه بیان‌گر فاز فعال ماده‌زایی در پوسته‌ی کیهان است؛ مرحله‌ای که در آن، جریان‌های پلاسما باعث تشکیل هسته‌های اولیه‌ی کهکشانی می‌شوند. در این فرآیند، سرعت واگرد و فاصله‌ی شعاعی این نواحی از ناظر مرکزی چنان زیاد است که فوتون‌های پرانرژی و آبی کوازارها در مسیر عبور از فضای در حال گسترش کشیده شده، به‌صورت انتقال به سرخ شدید دیده می‌شوند. به این ترتیب، می‌توان کمربند کوازارهای ثبت‌شده در داده‌های پیمایش SDSS را بازتاب تجزیه‌ی فعال TAM به ماده و انرژی دانست که منجر به پیدایش اجرام جوان و درخشان در آن نواحی از کیهان می‌شود (شکل ۵۴).

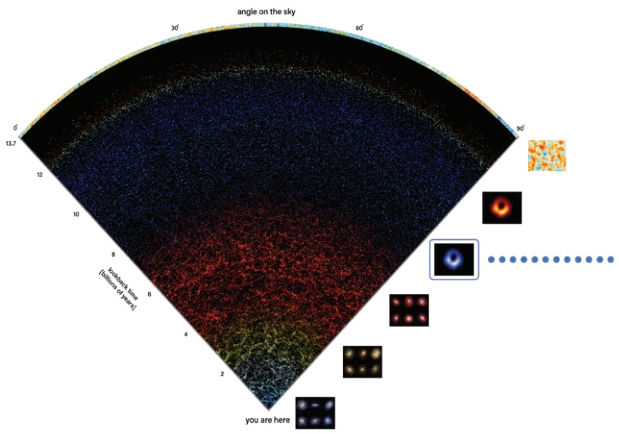


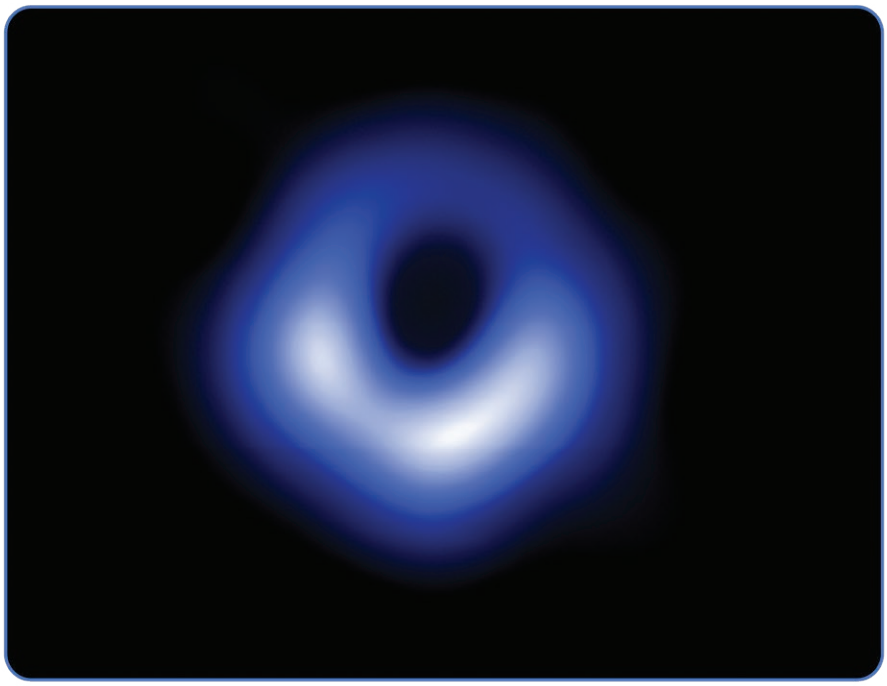
شکل ۵۴- کوازارهای در حال انتقال به سرخ در نقشه‌ی سه‌بعدی از دویست‌هزار کهکشان که محققان دانشگاه جانز هاپکینز تهیه کرده‌اند. این کوازارها در مدل کیهان کروی بیان‌گر تشکیل کهکشان‌های جوان در نواحی نزدیک به پوسته‌ی کیهان هستند.

Credit : by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

۱۲-۳- لایه‌ی میانی کوازارها (۱۲-۸ میلیارد سال نوری)

در مدل ΛCDM، دوره‌ای از کیهان با انتقال به سرخ تقریبی یک تا سه وجود دارد (در دیدگاه رایج معادل ۸ تا ۱۱ میلیارد سال پیش) که به عنوان عصر اوج چگالی تشکیل کهکشان‌ها شناخته می‌شود. این عصر، زمانی است که نرخ تشکیل ستاره‌ها و چگالی تشکیل کهکشان‌ها به حداکثر خود یعنی حدود ۱۰ تا ۲۰ برابر نرخ فعلی کیهان می‌رسد. با توجه به این موضوع مطابق نقشه‌ی SDSS در فاصله‌ی ۸ تا ۱۲ میلیارد سال نوری از کهکشان راه‌شیری، تراکم بالایی از کوازارهای آبی دیده می‌شود که مربوط به این دوره است. کوازارها سیاهچاله‌های عظیمی‌اند که در مرکز کهکشان‌های خاصی قرار دارند و با جذب گاز و ستاره‌های اطراف، بسیار درخشان می‌شوند و می‌توان آن‌ها را در سراسر کیهان مشاهده کرد. نور این اجرام به دلیل سقوط گاز و غبار به درون سیاهچاله، داغ شده و به رنگ آبی دیده می‌شود. اما در چهارچوب SCM، در این ناحیه چگالش ماده‌ی باریونی و به دنبال آن شکل‌گیری ماده‌ی تاریک زیاد است. طوری که هسته‌های کهکشانی عظیم و درخشان پدید می‌آیند. به عبارتی تراکم نسبی بالای اجرام به خاطر این است که در این فاصله از پوسته، کیهان در زمان فعلی در حال تشکیل ساختارهای اولیه است؛ هرچند تعداد مطلق اجرام، کم‌تر از نواحی میانی است (شکل ۵۵).





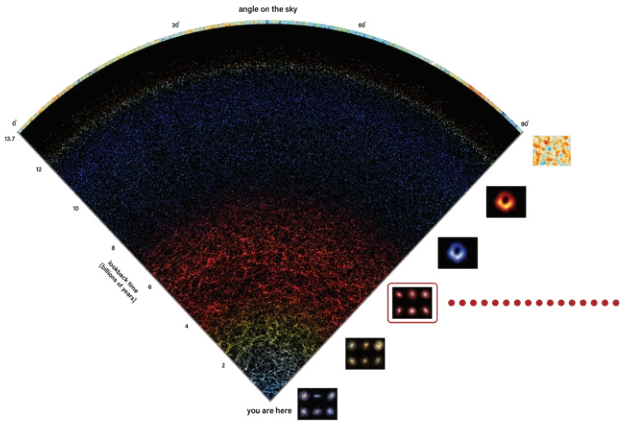
شکل ۵۵ - فاصله‌ی تقریبی ۸ تا ۱۲ میلیارد سال نوری از کهکشان راه شیری که ناحیه ای است که در آن تراکم اجرام در حال تشکیل (کوازارها) به‌طور نسبی بالا است. این امر از دیدگاه SCM به دلیل ماده‌زایی پوسته‌ی کیهان است. کوازارها سیاهچاله‌های بسیار پرجرمی‌اند که در مرکز کهکشان‌های خاص قرار دارند که اگر گازها و ستارگان اطراف را جمع کنند، بسیار درخشان شده، در سراسر کیهان دیده می‌شوند و نور آبی دارند.

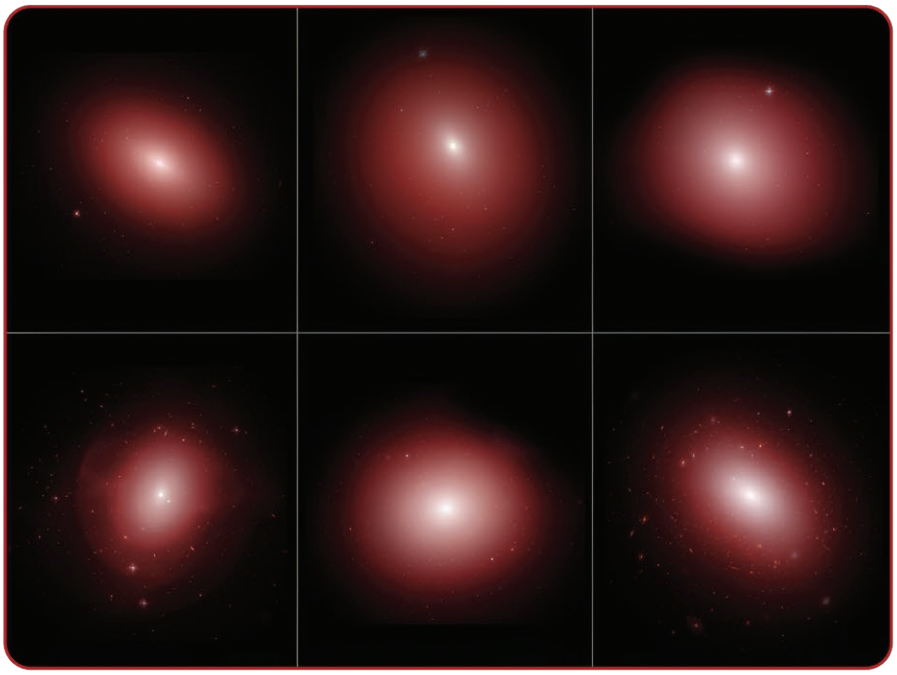
Credit : by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

۱۲-۴- ناحیه‌ی کهکشان‌های بیضوی (۳-۷ میلیارد سال نوری)

در این بخش از کیهان که فاصله‌ی آن با ما حدود ۳ تا ۷ میلیارد سال نوری است، جمعیت غالب کهکشان‌ها از نوع بیضوی است؛ کهکشان‌هایی که به دلیل توقف فرآیند ستاره‌زایی و حضور غالب ستارگان پیر و کم‌دما، تابشی سرخ‌رنگ از خود گسیل می‌کنند. در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM) شکل بیضوی کهکشان‌ها در ناحیه‌ی میانی کیهان، یعنی میان مرکز و پوسته، حاصل برهم‌کنش دو عامل بنیادی است: افزایش ویسکوزیته‌ی فضا و به دنبال آن کاهش تدریجی تکانه‌ی زاویه‌ای اجرام. در این مدل، ویسکوزیته‌ی فضا با توجه به موقعیت و عملکرد پوسته و همچنین نحوه‌ی توزیع جرم، تابعی افزایشی از شعاع است؛ به‌گونه‌ای که فضا در مرکزْ رقیق‌تر (ویسکوزیته‌ی کم‌تر) و در لایه‌های نزدیک به پوسته متراکم‌تر (ویسکوزیته‌ی بیش‌تر) است. این تغییر در انقباض فضا سبب می‌شود حرکت چرخشی اجرام در نواحی میانی با مقاومت روبه‌رو شود و بخشی از انرژی جنبشی زاویه‌ای آن‌ها بر اثر پاسخ دینامیکی ناشی از ویسکوزیتی فضا مستهلک شود. در نتیجه، سرعت زاویه‌ای اجزای این کهکشان‌ها به دور مرکز خود کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در مسیر مهاجرت اجرام از مرکز کیهان به سمت پوسته یعنی با افزایش شعاع، تکانه‌ی زاویه‌ای محلی سیستم‌های کهکشانی در فاصله‌ی خاصی کاهش پیدا می‌کند. این افت، که در نواحی با ویسکوزیته‌ی بالا رخ می‌دهد موجب می‌شود نیروی گرانش، نقش غالب‌تری در دینامیک مداری داشته باشد و مسیرهای حرکتی از حالت دایره‌ای یا مارپیچی منظم به مدارهای کشیده‌تر و بیضوی دگرگون شوند. به این ترتیب، بیضوی‌بودن کهکشان‌ها را می‌توان نتیجه‌ی هم‌زمان پاسخ هندسی آن‌ها به ویسکوزیته‌ی بالای فضا و کاهش تکانه‌ی زاویه‌ای اجرام دانست. به بیان فیزیکی، فضا در نواحی میانی کیهان به واسطه‌ی تجمع ماده‌ی باریونی مانند محیطی با ویسکوزیته‌ی موثر عمل می‌کند که پیرامون کهکشان‌ها، نظم دایره‌ای مدارهای ستارگان را کاهش می‌دهد و باعث گذار آن‌ها به حالت پویای پایدار بیضوی می‌شود. این گذار هندسی از چرخش منظم به مدارهای بیضوی، نشان‌گر ناحیه‌ای از تعادل دینامیکی میان چرخش و گرانش در بستر ویسکوز فضا است؛ جایی که چرخش هنوز پایان نیافته اما چگالی فضا چنان زیاد است که ساختارهای کهکشانی از قرص‌های مارپیچی نازک به بیضوی‌های متراکم دگرگون می‌شوند (شکل ۵۶).

www.Journalofcosmointel.com



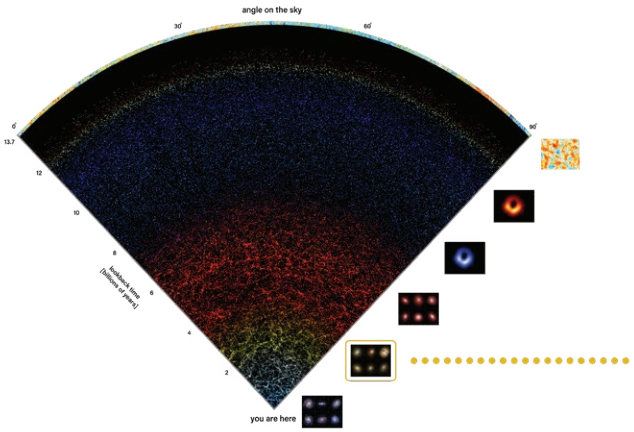


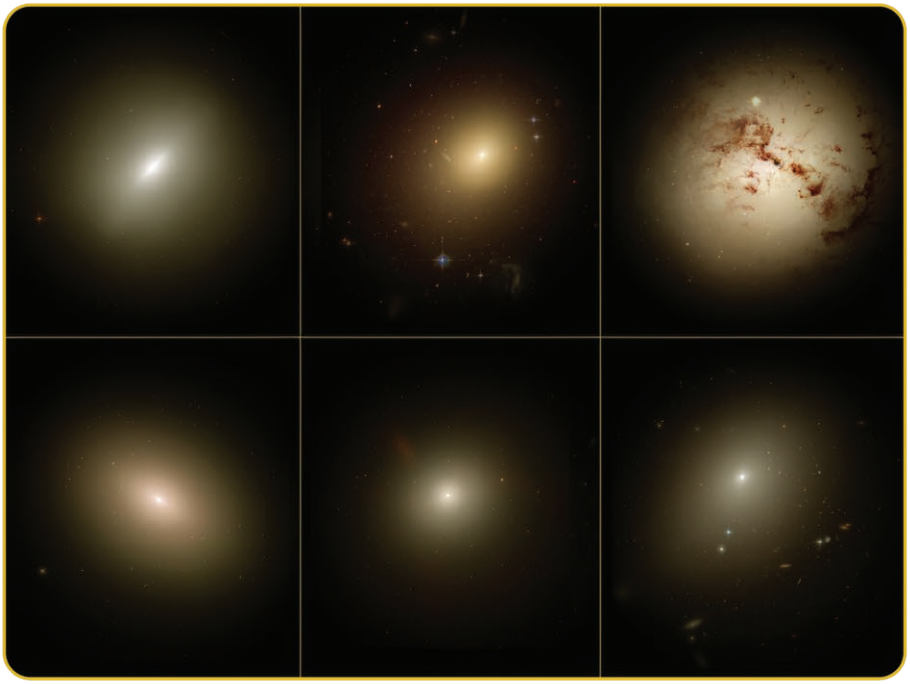
شـکل ۵۶- کهکشـان‌های بیضی‌شکل در حال انتقال به سـرخ. در این تصویر مشاهده می‌شـود که فوتون‌ها با افزایش حجم جهانْ کشیده می‌شوند و اجرامْ قرمزتر به نظر می‌رسند که در این فاصله از آن‌جا که ما دیگر کهکشان های مارپیچی کم‌نورتر را تشخیص نمی‌دهیم، ساختار رشته‌ای کم‌تر قابل مشاهده است.

Credit : by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

۱۲-۵- کهکشان‌های بیضوی زرد و نواحی درونی‌تر (۲-۳ میلیارد سال نوری)

در بـازه‌ی فاصلـه‌ی ۲ تـا ۳ میلیـارد سـال نـوری، جمعیـت قابل توجهی از کهکشـان‌های بیضوی کهن و زردرنگ مشـاهده می‌شـود؛ کهکشـان‌هایی کـه به‌طـور میانگیـن دارای چگالـی سـتاره‌ای و درخشـندگی سـطحی بالاتـری نسـبت بـه مارپیچی‌ها هسـتند. در چهارچـوب مدل کیهان کـروی (SCM)، این ناحیـه نمایان‌گر لایه‌ای گـذار میـان بخش‌هـای درونـی و بیرونـی کیهـان بـوده و فضایی با گرانـروی بالا اما سـرعت زاویه‌ای متوسـط محسـوب می‌شـود. این ویژگی با رفتار دینامیکی پیش‌بینی‌شـده‌ی این مدل سـازگار است؛ جایـی کـه چگالـی مـاده‌ی باریونـی و شـدت فرآیندهای تابشـی در شـعاعی کـه گرادیان ویسـکوزیته‌ی فضـا تغییر می‌کند، بـه مقدار بیش‌تـری می‌رسـد. مطابق SCM، ویسـکوزیته‌ی فضا تابع شـعاع اسـت و شکل آن بر اسـاس توزیع جرم تعیین می‌شـود. بنابراین، گرادیـان ویسـکوزیته می‌توانـد در شـعاع معینـی تغییـر علامـت دهـد؛ بـه این معنا که رفتار تغییرات از روند افزایشـی به کاهشـی (یـا برعکـس) گذر می‌کند. در ایـن ناحیه‌ی گـذار، چگالی ماده و در نتیجـه چگالی مـاده‌ی تاریک به مقدار بالایی می‌رسـد و همین امر بـا توجـه بـه توضیحاتی که قبلا نیز داده شـد منجر به شـکل‌گیری کهکشان‌های بیضوی می‌شود (شکل ۵۷).





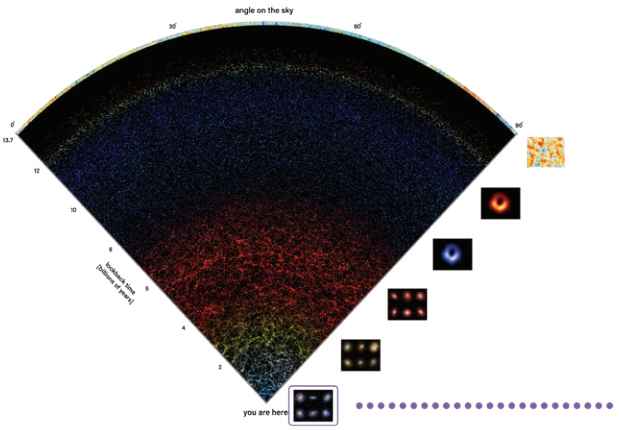
شکل ۵۷- کهکشان‌های بیضوی، مایل به زرد و بسیار درخشان‌تر از کهکشان‌های مارپیچی‌اند که می‌توانیم آن‌ها را از فاصله‌ی دورتری از کهکشان‌های مارپیچی مشاهده کنیم.

Credit : by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

۱۲-۶- ناحیه‌ی کهکشان‌های مارپیچی (۱-۲ میلیارد سال نوری)

در نواحی مجاور رأس این نقشه، مجموعه‌ای از کهکشان‌های مارپیچیِ آبی‌رنگ دیده می‌شود که دیسک‌های منظم، بازوهای مشخص و نرخ ستاره‌زایی متوسط دارند. در چهارچوب مدل کیهان کروی (SCM)، این دسته از کهکشان‌ها در لایه‌هایی قرار می‌گیرند که ویسکوزیته‌ی فضایی در آن‌ها پایین است و چرخش پیکره‌ی کیهان در این ناحیه حالتی پایدار دارد. در چنین محیطی، مقاومت دینامیکی فضا کم‌تر بوده و انتقال و حفظ تکانه‌ی زاویه‌ای در ساختار دیسکی این کهکشان‌ها با آزادی بیش‌تری صورت می‌گیرد؛ امری که به پایداری شکل مارپیچی و تقارن شعاعی آن‌ها کمک می‌کند. در این تفسیر، نظم هندسی و چیدمان متقارن مارپیچی‌ها تنها بازتابی از یکنواختی چگالی ماده در مقیاس‌های بزرگ نیست، بلکه نشانه‌ای از موقعیت ناظر (کهکشان راه شیری) در ساختار کروی کیهان نیز محسوب می‌شود؛ موقعیتی که در SCM، دینامیک محلی را به الگوی چرخش کلان‌مقیاس پوسته و لایه‌های درونی پیوند می‌دهد (شکل ۵۸).

www.Journalofcosmointel.com





شکل ۵۸- در این تصویر، هر نقطه نماینده‌ی یک کهکشان است که رنگ آن بر اساس طیف نوری و درخشش ظاهری نمایش داده شده است. کهکشان‌های مارپیچی معمولا کم‌نورتر و متمایل به رنگ آبی‌اند؛ چنان که نشانه‌ای از حضور ستارگان جوان و فعالیت ستاره‌زایی در بازوهای‌شان هستند. کهکشان ما راه شیری نیز از همین نوع است و اگر از بیرون آن را مشاهده می‌کردیم، بسیار شبیه یکی از این مارپیچ‌های آبی دیده می‌شد.

Credit : by B. Ménard & N. Shtarkman, Johns Hopkins University

۱۲- منشاء میدان مغناطیسی جهان و رابطه‌ی آن با چرخش کیهان در SCM

میدان مغناطیسی یکی از بنیادی‌ترین پدیده‌های فیزیکی در جهان است؛ ناحیه‌ای از فضا که در آن بارهای الکتریکیِ متحرکْ نیروی لورنتس را تجربه می‌کنند، نیرویی که جهت آن عمود بر سرعت ذره و بردار میدان مغناطیسی است [۱۶۵]. از منظر الکترومغناطیس کلاسیک، منشاء این میدان می‌تواند حرکت بارهای الکتریکی یا تغییرات زمانی میدان الکتریکی باشد. اما در مقیاس‌های کیهانی، میدان مغناطیسی ساختاری بسیار پیچیده‌تر دارد و رفتار آن به‌طور پیوسته با دینامیک پلاسما، تابش و گرانش تعیین می‌شود [۱۶۶]. در گستره‌ی کیهان، میدان‌های مغناطیسی از کوچک‌ترین مقیاس‌ها تا بزرگ‌ترین ساختارهای مشاهده‌شده حضور دارند. در ابرهای مولکولی که زادگاه ستارگان‌اند، میدان مغناطیسی با ایجاد فشار و تنش در برابر فروپاشی گرانشی مقاومت کرده، نرخ و الگوی شکل‌گیری ستارگان را تنظیم می‌کند [۱۶۷]. این میدان‌ها مسیر جریان گاز را هدایت و تکانه‌ی زاویه‌ای را منتقل می‌کنند و حتی در شکل‌گیری جت‌ها و بادهای ستاره‌ای نقش دارند [۱۶۸]. در مقیاس کهکشانی، میدان‌های مغناطیسی با چگالی انرژی قابل مقایسه با انرژی حرارتی یا آشفتگی‌های میان‌ستاره‌ای، در دینامیک گاز، پایداری دیسک‌ها و سازمان‌یافتگی ساختارهایی همچون بازوهای مارپیچی مشارکت دارند؛ هرچند پایداری اصلی بازوهای مارپیچی از امواج چگالی ناشی می‌شود [۱۶۹]. افزون بر این، میدان‌های مغناطیسی در انتقال ماده و انرژی میان دیسک و هاله نیز فعال‌اند [۱۷۰].

پرتوهای کیهانی نیز که همان ذرات باردار با انرژی‌های بسیار بالا هستند، بدون حضور میدان‌های مغناطیسی معنا و پایداری ندارند؛ زیرا خطوط میدان، مسیر آن‌ها را خم کرده، موجب پراکندگی و به دام افتادنشان در محیط میان‌ستاره‌ای می‌شود. در عین حال، همین ذرات از طریق ناپایداری‌ها و امواج آلفون[۱] به پویایی و پایداری میدان مغناطیسی کمک می‌کنند [۱۷۱]. در مقیاس‌های بزرگ‌تر، میدان‌های مغناطیسی نه‌تنها بر رسانش حرارتی و آشفتگی پلاسما یا گازها در محیط درون‌خوشه‌ای اثر می‌گذارند، بلکه در انتشار پرتوهای کیهانی با انرژی بالا و شکل‌گیری

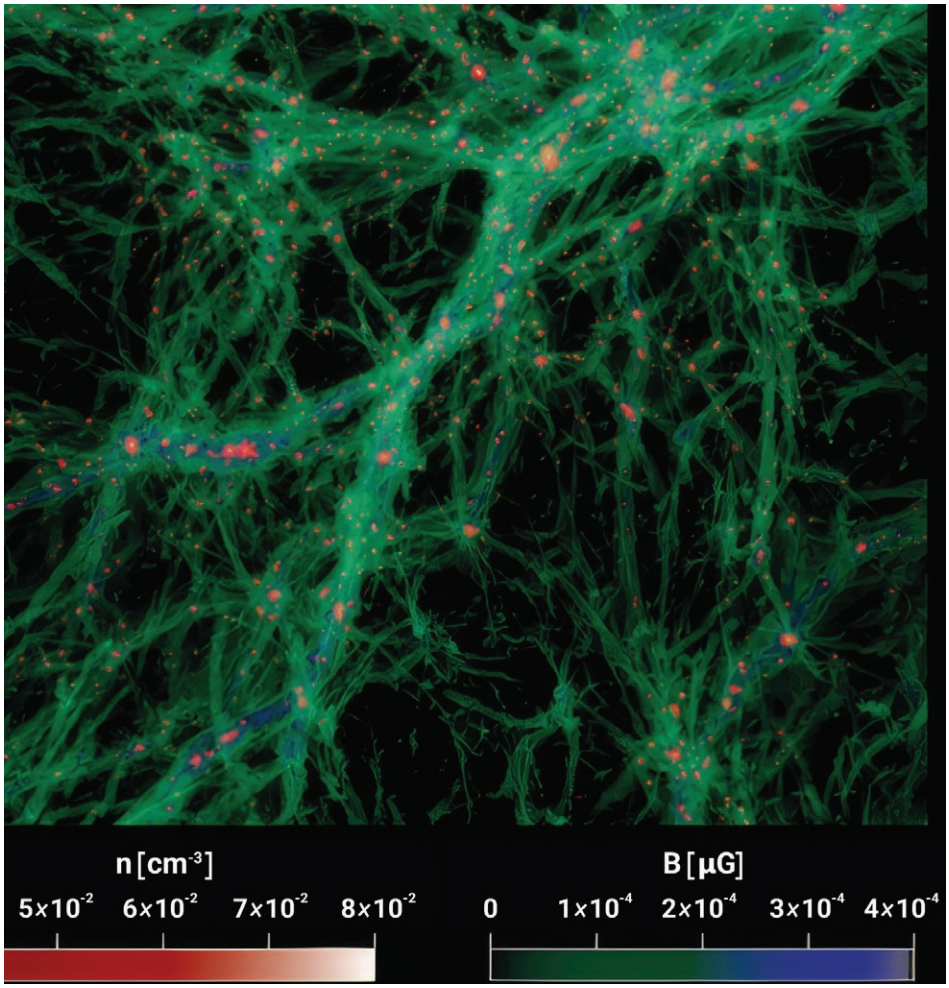
۱- هانس آلفون (Hannes Alfvén)، فیزیک‌دان سوئدی است که سال ۱۹۴۲ برای کشف موج‌های مغناطیسی پلاسمایی جایزه‌ی نوبل فیزیک دریافت کرد. موج آلفون (Alfvén wave) نوعی نوسان در پلاسما است که در آن ذرات باردار و میدان مغناطیسی به‌طور جمعی نوسان می‌کنند. در این موج، نیروهای بازگرداننده از تنش خطوط میدان مغناطیسی ناشی می‌شود؛ درست مانند کشی که وقتی کشیده شود، تمایل دارد دوباره به حالت اولیه بازگردد.

تابش سنکروترون[1] از رشته‌های کیهانی نیز نقشی تعیین‌کننده دارند [۱۷۲], [۱۷۳].

در نظریه‌ی مغناطیس هیدرودینامیک (MHD) (Magnetohydrodynamics) که چهارچوب اصلی فهم رفتار و پویایی میدان‌های مغناطیسی در محیط‌های کیهانی است، جریان‌های پلاسما و میدان‌ها همچون سیال رسانای واحد عمل می‌کنند؛ چنان که میدانْ همراه با سیال حرکت کرده، کشیده و پیچیده می‌شود و در اثر آشفتگی‌ها و برش‌های سرعتی[2]، تقویت یا تضعیف می‌شود [۱۷۴]. به این ترتیب، میدان مغناطیسی به جای آن‌که تنها نتیجه‌ای از حرکت بارها باشد، به بازیگری فعال در تکامل ساختارهای کیهانی تبدیل می‌شود. در مجموع، میدان مغناطیسی نه‌تنها صرفا پدیده‌ای محلی یا گذرا نیست، بلکه بخشی از بافت دینامیکی کیهان نیز به شمار می‌آید؛ عاملی که در تشکیل ستارگان و کهکشان‌ها، حرکت پرتوهای کیهانی، پویایی کهکشان‌ها و شکل‌گیری ساختار بزرگ‌مقیاس فضا نقش بنیادی دارد و بدون درک آن، تصویری کامل از تاریخ و دینامیک جهان ممکن نیست [۱۷۵], [۱۷۶] (شکل ۵۹).

۱- «سنکروترون» (Synchrotron) به نوعی تابش الکترومغناطیسی اشاره دارد که وقتی ذرات باردار با سرعت‌های نزدیک به نور در میدان مغناطیسی منحرف می‌شوند، گسیل می‌شود.

۲- برش‌های سرعتی (velocity shear) به نواحی‌ای در جریان گاز اشاره دارد که سرعت سیال در نقاط گوناگون متفاوت است؛ به این معنا که بخش‌های مجاور گاز با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کنند.



شکل ۵۹- نمای سه‌بعدی چگالی گاز و شدت میدان مغناطیسی در شبیه‌سازی MHD کیهانی با حجم $100^3 \mathrm{Mpc}^3$ از پروژه‌ی MAGCOW. در این شبیه‌سازی، یک بذر مغناطیسی، «پرایموردیال» یکنواخت با مقدار $B_0 = 0.1$ nG (حرکت همراه) را تکامل می‌دهد و نشان داده می‌شود تشکیل ساختارهای بزرگ‌مقیاس، شوک‌ها، آشفتگی‌ها و جریان‌های برشی، چه‌گونه میدان‌های مغناطیسی را در سراسر شبکه‌ی کیهانی تقویت و بازتوزیع می‌کنند. میدان‌های مغناطیسی قوی‌تر، رشته‌ها، محیط‌های خوشه‌ای و مناطق تحت تاثیر شوک را ردیابی می‌کنند، در حالی که خلاها میدان‌های بسیار ضعیف‌تری را حفظ می‌کنند.

Adapted from Vazza, F., Brüggen, M., & Hinz, P. (2021), "The Magnetisation of the Cosmic Web: A Study Using the MAGCOW Simulations," Galaxies, 9(4), 109, Figure 1. Licensed under CC BY 4.0

www.Journalofcosmointel.com

بنابراین کیهان‌شناسان، مبداء میدان‌های مغناطیسی را به سه مرحله تقسیم‌بندی می‌کنند:

۱- بذرگذاری اولیه (پیدایش میدان‌های بذر) (Seed fields)

۲- تقویت آن‌ها از طریق دینامو‌ها و توربولانس

۳- گسترش میدان در فضا

مشاهدات نشان می‌دهند کهکشان‌ها حتی در انتقال به سرخ‌های پایین، میدان‌هایی با شدت چند میکروگاوس دارند. چنین شدتی تنها در صورتی ممکن است که میدان‌ها در آغاز بسیار ضعیف بوده، سپس با سازوکارهای فیزیکی گوناگون تقویت شده باشند [۱۷۷].

بذرهای مغناطیسی می‌توانند منشاء کیهانی یا اخترفیزیکی داشته باشند. در برخی مدل‌های تورمی که در آن‌ها «ناوردایی پیمانه‌ای» (Scaleinvariance) شکسته می‌شود یا کوپلینگ غیرمینیمال میان میدان‌های پیمانه‌ای و هندسه‌ی فضا-زمان برقرار است، نوسانات کوانتومی می‌توانند به میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف در مقیاس بزرگ تبدیل شوند [۱۷۸]. دسته‌ای دیگر از این بذرها منشاء اخترفیزیکی دارند. برای نمونه در سازوکار باتری بیرمن[۱]، اگر گرادیان‌های چگالی و فشار الکترونی بر هم منطبق نباشند، در پلاسما نیروی الکتروموتیو[۲] به وجود می‌آید که این باعث تولید میدان مغناطیسی می‌شود. این فرآیند می‌تواند در جبهه‌های شوک[۳]، نواحی یونیزاسیون[۴]، فروپاشی‌های اولیه‌ی کهکشانی یا حتی در بقایای ابرنواخترها و دیسک‌های برافزایشی رخ دهد [۱۷۹]. در مرحله‌ی دوم، باید میدان‌های بذر ضعیف تقویت شوند تا به مقدارهای مشاهده‌شده برسند. این تقویت معمولا به وسیله‌ی دینامو‌های مغناطیسی انجام می‌شود. در کهکشان‌های چرخان، دینامو‌ی میانگین (α-Ω)[۵] حاصل برهم‌کنش میان چرخش تفاضلی و توربولانس است که میدان‌های ضعیف را به میدان‌های منظم و قوی‌تر تبدیل می‌کند. درون ستارگان نیز جریان‌های همرفتی و چرخش تفاضلی باعث پیدایش دینامو‌ی ستاره‌ای می‌شوند که می‌توانند میدان‌هایی را تولید و از طریق بادهای مغناطیسی یا انفجارهای ابرنواختری به محیط میان‌ستاره‌ای تزریق کند [۱۸۰]. توربولانس شدید و برش‌های سرعتی جریان گاز در کهکشان‌ها همراه ادغام‌ها و شوک‌های برافزایشی[۶] میدان‌ها را در مقیاس‌های کوچک و بزرگ تقویت می‌کنند [۱۸۱].

در مرحله‌ی پایانی، میدان‌های تقویت‌شده در سراسر کیهان توزیع می‌شوند. فرآیندی مانند فروپاشی گرانشی هاله‌ها، شکل‌گیری دیسک‌های کهکشانی، بادهای ستاره‌ای و جریان‌های خروجی موجب می‌شوند میدان مغناطیسی از نواحی ستاره‌زا به فضای میان‌کهکشانی منتقل شود. در نتیجه، رشته‌های کیهانی و محیط میان‌خوشه‌ای می‌توانند میزبان پلاسمای مغناطیسی‌شده‌ای باشند که یا در همان‌جا ایجاد شده یا از کهکشان‌ها و خوشه‌ها به آن منتقل شده است [۱۷۳]. در مجموع، میدان مغناطیسی کیهانی پدیده‌ای چندمرحله‌ای و چندمقیاسی است که از شکل‌گیری بذرهای بسیار ضعیف آغاز می‌شود، سپس از طریق سازوکارهایی همچون دینامو‌های مغناطیسی و آشفتگی‌های توربولانسی تقویت می‌شود و در نهایت در سراسر ساختار بزرگ‌مقیاس جهان گسترش می‌یابد. هرچند گرانش محرک اصلی شکل‌گیری ساختارها است اما میدان مغناطیسی نقشی اساسی در پایداری دینامیکی، انتقال تکانه و تاریخ انرژی کیهان ایفا می‌کند [۱۸۲], [۱۸۳].

در این راستا، پژوهش‌های ژئوفیزیکی، خورشیدی و اخترفیزیکی طی دهه‌های گذشته نشان داده‌اند توربولانس، همرفت و حرکت‌های برشی در سیال رسانای الکتریکی می‌توانند به‌طور خودسازمان‌یافته میدان‌های مغناطیسی را تولید، تقویت و نگه‌داری کنند [۱۷۹]. با این حال پرسش بنیادی‌تر از همین‌جا آغاز می‌شود: «اگر دینامو نمی‌تواند میدان را از هیچ ایجاد کند، منشاء بذرهای مغناطیسی آغازین کیهان چیست و چه سازوکاری موجب شده این میدان‌ها تا امروز در مقیاس‌های کیهانی باقی بمانند؟» به بیان دقیق‌تر، دینامو،

۱- سازوکار باتری بیرمن (Biermann battery) فرآیندی است که اگر گرادیان‌های چگالی و فشار الکترونی در پلاسما هم‌جهت نباشند ($\nabla n_e \times \nabla p_e \neq 0$) در آن نیروی الکتروموتیو ایجاد می‌شود که بدون نیاز به میدان پیشین، میدان مغناطیسی اولیه را تولید می‌کند.

۲- نیروی الکتروموتیو (Electromotive Force) یا (EMF) به معنای ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در پلاسما است؛ به معنای فرآیندی که باعث می‌شود جریان الکتریکی شکل بگیرد.

۳- جبهه‌ی شوک (Shock Front) ناحیه‌ای باریک در پلاسما یا گاز است که در آن، چگالی، دما و سرعت به‌طور ناگهانی تغییر می‌کنند؛ مانند موج ضربه‌ای حاصل از انفجار ابرنواختر یا برخورد گازهای پرسرعت.

۴- ناحیه‌ی یونیزاسیون (Ionization Region) بخشی از فضا است که در آن اتم‌ها بر اثر تابش پرانرژی یا برخورد ذرات، الکترون‌های خود را از دست داده‌اند و به یون تبدیل شده‌اند؛ مانند حباب‌های یونیزه پیرامون ستارگان جوان داغ.

۵- نماد (α-Ω) در عبارت «دینامو‌ی میانگین» به دو فرآیند فیزیکی اصلی در نظریه‌ی دینامو‌ی مغناطیسی اشاره دارد که با هم باعث تولید و تقویت میدان مغناطیسی منظم در مقیاس‌های بزرگ (مثل کهکشان‌ها) می‌شوند.

۶- واژه‌ی برافزایشی (Accretion) در اخترفیزیک به معنای تجمع یا فروریزش تدریجی ماده روی جسم مرکزی تحت تاثیر گرانش است.

تقویت‌کننده‌ی میدان است، نه پدید آورنده‌ی آن. اما این‌که این بذرهای اولیه چرا و کجا برای نخستین بار در کیهان شکل گرفته‌اند، هنوز به‌طور کامل روشن نیست. در نتیجه همان‌طور که اشاره شد چندین سناریوی نظری مانند سناریوهای تورمی (در برخی مدل‌های تورمی در صورت شکسته‌شدن ناوردایی پیمانه‌ای[1] یا وجود برهم‌کنش‌های غیرمینیمال[2] میان میدان‌های پیمانه‌ای[3] و هندسه‌ی فضا-زمان، نوسانات کوانتومی می‌توانند در دوران تورم به میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف در مقیاس‌های بزرگ تبدیل شوند [۱۸۴])، گذارهای فازی در جهان آغازین (گذارهای الکتروضعیف (Electroweak) یا QCD (Quantum Chromodynamics)) می‌توانستند ناهمسان‌گردی در پلاسما ایجاد کنند که منشاء ناپایداری ویبل[4] و جریان‌های بذر میدان باشد [۱۸۴]) یا سازوکارهای محلی‌تر در کهکشان‌های نخستین (به این معنا که در خود کهکشان‌های آغازین، شوک‌های ناشی از انفجارهای ابرنواختری و فروپاشی گرانشی ستارگان اولیه می‌توانستند محیطی ایجاد کنند که در آن گرادیان‌های چگالی و دما ناهم‌جهت شوند و به این ترتیب، شرایط لازم برای فعال‌شدن سازوکار باتری بیرمن فراهم شود [۱۸۵]) برای آن پیشنهاد شده است که این موضوع همان «مسئله‌ی منشاء مغناطیسی کیهان» است که یکی از مسائل باز بزرگ در کیهان‌شناسی معاصر است.

علی‌رغم همه‌ی این کاوش‌ها و سناریوهای مختلف، همان‌طور که قبلا نیز به نحوی بیان شد، پرسش بنیادی این است که «چرا چنین میدانی باید در اطراف تمامی اجرام، از ذرات زیراتمی تا ساختارهای کهکشانی و خوشه‌ای وجود داشته باشد؟» و «چرا جهان در کل، باید همواره حامل این میدان باشد؟» میدانی که در پویایی، پایداری و حتی شکل‌گیری ساختارهای کیهانی نقش تعیین‌کننده دارد. به بیان دیگر «خاستگاه اصلی این میدان فراگیر چیست و از کجا سرچشمه می‌گیرد؟» این پرسش‌ها که در زمره‌ی اسرار کیهان قرار دارند، در چهارچوب فیزیک کلاسیک و مدل استاندارد (ΛCDM) پاسخ قطعی ندارند و همچنان از چالش‌های باز و بنیادی علم کیهان‌شناسی نوین به شمار می‌روند.

در ادامه‌ی این بررسی، نظریه‌ی کیهان دوار طاهری با طرح دیدگاهی نوین، پاسخی فیزیکی به این پرسش‌ها ارائه می‌دهد. در این دیدگاه، منشاء میدان مغناطیسی کل کیهان، نه در فرآیندهای محلی پس از تشکیل کهکشان‌ها، بلکه در پوسته‌ی کیهان نهفته است؛ همان لایه‌ی فعال در حال تجزیه و چرخان که منبع آزادسازی فضا و تولید انواع ماده و انرژی به شمار می‌آید. پوسته به واسطه‌ی فرآیند تجزیه‌ی TAM همواره در حال آزادسازی فضا و پرتاب ذرات بنیادین به درون کیهان است. این فرآیند نه‌تنها منجر به پیدایش ماده‌ی باریونی و ساختارهای نخستین می‌شود، بلکه نوعی تلاطم پویای کیهانی را نیز ایجاد می‌کند که به عنوان خاستگاه میدان مغناطیسی جهان عمل می‌کند.

بر اساس تحقیقات و آزمایش‌های محققان در فیزیک MHD، تلاطم یا جریان‌های برشی در سیالات رسانای الکتریکی مانند پلاسمای ستاره‌ای یا هسته‌ی سیارات می‌توانند میدان‌های مغناطیسی از پیش موجود را از طریق فرآیند دینامو تقویت و بازتولید کنند. از طرفی در مقیاس‌های نجومی نیز سیال رسانایی که در حال چرخش و همرفت است، می‌تواند میدان مغناطیسی خود را برای میلیاردها سال حفظ کند. این همان سازوکاری است که در مدل کیهان کروی به مقیاس جهانی تعمیم می‌یابد. به عبارتی چرخش پوسته‌ی کیهان و تجزیه‌ی پیوسته‌ی TAM، همچون دینام عظیم کیهانی‌ای عمل می‌کند که در آن تلفیق حرکت جنبشی ناشی از چرخش و ماده‌زایی، میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. همان‌طور که بیان شد، در این فرآیند پوسته‌ی کیهان طی تجزیه‌ی نامتقارن، نه‌تنها همواره در حال اعمال گشتاور است، بلکه پیوسته فضا و امواج بنیادین را به صورت مولفه‌های غیرشعاعی آزاد و به درون کیهان پرتاب می‌کند. این امواج که از یک سو با اختلاف سرعت حین پرتاب از نواحی گوناگون پوسته مواجه می‌شوند و از سوی دیگر در جریان پیچشی خود فضای آزادشده قرار می‌گیرند در فاصله‌ای از پوسته با برخورد به یکدیگر و در هم‌بافتگی با توجه به کاهش دما (به علت دورشدن پوسته از آن ناحیه)، به ماده‌ی باریونی تبدیل می‌شوند. به موازات این عمل، تکانه‌ی زاویه‌ای حاصل از چرخش پوسته که به ذرات و بستر فضا منتقل می‌شود دو پیامد بنیادین را به دنبال می‌آورد: نخست آن‌که ذرات باردار تازه تولیدشده در بستر فضایی که با فاصله‌گرفتن از پوسته ویسکوزیته‌ی متغیر پیدا کرده، دچار تلاطم می‌شوند و دوم آن‌که همین تلاطم از طریق سازوکار دینام، بخشی از انرژی جنبشی را هر چند جزئی به میدان مغناطیسی تبدیل می‌کند. به عبارتی با توجه به این‌که محیط با دمای بالا شرایط پلاسمای رسانا را فراهم می‌کند و سرعت ذرات تولیدشده در این محیط در جهت‌های گوناگون به خاطر عدم هم‌راستایی در گرادیان فشار

۱- ناوردایی پیمانه‌ای (Gauge Symmetry Breaking) به این معنا است که قوانین فیزیک با تغییرات بازتعریف میدان‌های بنیادی (مانند میدان الکترومغناطیسی) تغییر نکنند. شکسته‌شدن ناوردایی به معنای این است که یک نظریه اجازه می‌دهد این تقارن دیگر برقرار نباشد و در نتیجه میدان‌های پیمانه‌ای می‌توانند به‌طور واقعی انرژی بگیرند یا تولید شوند.

۲- برهم‌کنش غیرمینیمال (Non-minimal Coupling) به این معنا است که میدان‌ها علاوه بر برهم‌کنش‌های استاندارد خود، به‌طور مستقیم به انحنای فضا-زمان یا کمیت‌های هندسی دیگر وابسته شوند. چنین برهم‌کنشی اجازه می‌دهد میدان‌های پیمانه‌ای رفتار متفاوتی در دوران تورم داشته باشند و بتوانند تقویت یا تولید شوند.

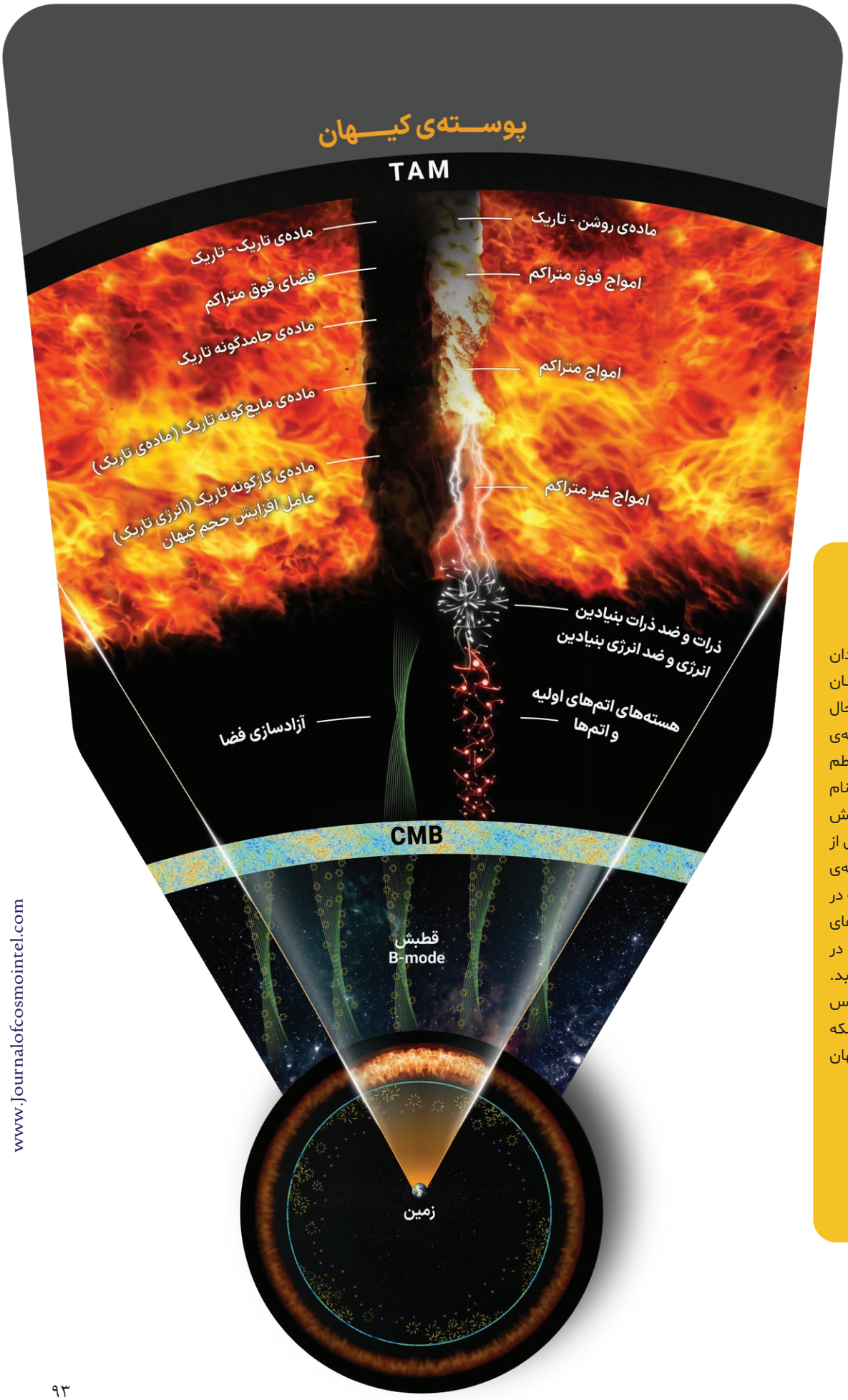
۳- میدان‌های پیمانه‌ای (Gauge Fields) میدان‌هایی هستند که نیروهای بنیادی مانند الکترومغناطیس، برهم‌کنش ضعیف و قوی را توصیف می‌کنند و با تقارن‌های پیمانه‌ای تعریف می‌شوند. زمانی که گفته می‌شود میدان‌های پیمانه‌ای با هندسه‌ی فضا-زمان برهم‌کنش دارند، به معنای این است که رفتار این میدان‌ها به انحنای فضا یا تغییرات کیهان وابسته می‌شود.

۴- ناپایداری ویبل (Weibel instability) یکی از بنیادی‌ترین سازوکارهای فیزیک پلاسما است که می‌تواند به‌طور خودبه‌خودی میدان مغناطیسی ایجاد کند؛ حتی وقتی هیچ میدان اولیه‌ای وجود ندارد.

www.Journalofcosmointel.com

و گرادیان چگالیْ یکسان نیست، بنابراین، این ناهمسان‌گردی منجر به ایجاد جریان‌های ریزمقیاس شده، میدان مغناطیسی اولیه ایجاد می‌شود. به این ترتیب، در چهارچوب مدل کیهان کروی، پوسته‌ی در حال چرخش کیهان همچون دینام عظیم کیهانی عمل می‌کند.

از سوی دیگر، اندکی دورتر از پوسته، پلاسمای مات هیدروژن و ذرات باردار بنیادین ایجادشده اجزای درون کیهان را به شکل کمربندی در بر می‌گیرند و جریان‌های همرفتی در این ناحیه با افزایش رسانایی و چرخش فضا، به تقویت میدان مغناطیسی جهانی یاری می‌رسانند. بنابراین، کل کیهان مانند سیستم خودنگه‌دار مغناطیسی‌ای عمل می‌کند که در آن چرخش پوسته و ماده‌زایی به‌صورت هم‌زمان منبع ایجاد و پایداری میدان مغناطیسی‌اند و تا زمانی که تجزیه‌ی پوسته ادامه دارد، دینام کیهانی نیز فعال باقی می‌ماند و میدان مغناطیسی، هرچند ضعیف اما پایدار در سراسر فضا حفظ می‌شود. در مقابل، در مراحل پایانی واگرد فضا با کاهش نرخ تجزیه و افت چرخش پوسته، این میدان به‌تدریج تضعیف می‌شود؛ طوری که در پایان واگرد کیهان با توجه به این‌که از یک طرف پوسته‌ای وجود نخواهد داشت تا ماده‌زایی را ادامه دهد و از طرف دیگر همه‌ی اجرام داخل کیهان به امواج بنیادین سازنده‌ی خود تبدیل خواهند شد، میدان مغناطیسی کاملا از بین خواهد رفت (شکل ۶۰).



شکل ۶۰- نمای شماتیک خاستگاه میدان مغناطیسی جهان در نظریه‌ی کیهان دوار طاهری. پوسته‌ی چرخان و در حال تجزیه‌ی کیهان با آزادسازی پیوسته‌ی فضا، پرتاب ذرات بنیادین و ایجاد تلاطم در بستر سیال‌گونه‌ی فضا، همچون دینام کیهانی عمل می‌کند. برهم‌کنش چرخش پوسته، امواج بنیادین و تلاطم ناشی از فرآیند TAM، میدان مغناطیسی اولیه‌ی کیهان را پدید می‌آورد؛ میدانی که در ادامه‌ی این روند، به وسیله‌ی جریان‌های همرفتی و ویسکوزیته‌ی متغیر فضا در سراسر ساختار کیهانی گسترش می‌یابد. در این چهارچوب، منشاء مغناطیس کیهانی نه صرفا یک رویداد محلی، بلکه پیامد مستقیم پویایی پوسته‌ی کیهان در کلان مقیاس نیز است.

www.Journalofcosmointel.com

۱۳- اسپین در ذرات

اسپین ذرات در فیزیک نوین، تکانه‌ی زاویه‌ای ذاتی است که به‌صورت درونی و مستقل از هرگونه حرکت مداری در ذره وجود دارد. به‌طور مثال، تکانه‌ی زاویه‌ای الکترون یا از حرکت مداری آن در میدان (L) یا از خاصیت ذاتی اسپین (S) آن می‌آید. در واقع از دیدگاه فیزیک رایج می‌توان گفت اسپین از چرخش جسم ناشی نمی‌شود، بلکه از تقارن‌های فضا-زمان در نظریه‌ی دیراک و نمایش‌های گروه «لورنتس/پوانکاره» سرچشمه می‌گیرد. این کمیت به وسیله‌ی «اپراتورهای تکانه‌ی زاویه‌ای»[۱] تعریف می‌شود. اسپین از نظر ریاضی نیز همان قواعد تکانه‌ی زاویه‌ای را دارد و همان‌طور که بیان شد برخلاف تکانه‌ی زاویه‌ای کلاسیکی به هیچ حرکت مداری واقعی‌ای وابسته نیست. به همین دلیل حتی اگر ذره در حالت کوانتومی خاصی قرار داشته باشد که میانگین مکان آن ثابت است، اسپین آن همچنان به عنوان ویژگی ذاتی وجود دارد و می‌توان آن را اندازه گرفت. گسسته‌بودن جهت‌گیری اسپین سیستم اتمی، نخستین بار در آزمایش اشترن-گرلاخ (Stern-Gerlach) (برای اتم‌های نقره) آشکار شد. این آزمایش نشان داد مولفه‌ی «اسپین/ممان مغناطیسی سیستم»، مقادیر گسسته می‌گیرد و با تصویر کلاسیکی پیوسته ناسازگار است؛ امری که با تصویر کلاسیکی ممان مغناطیسی ناشی از چرخش جسم صلب، سازگار نیست [۱۸۶], [۱۸۷], [۱۸۸].

در نظریه‌ی کوانتومی نسبیتی، منشاء اسپین از ساختار تقارنی فضا-زمان ظاهر می‌شود. در رده‌بندی گروه پوانکاره[۲] (رده‌بندی ویگنر)، حالت‌های «تک‌ذره» با کمیت‌های ناوردا مانند جرم و اسپین (برای ذرات جرم‌دار) یا مارپیچگی[۳] (برای ذرات بی‌جرم) مشخص می‌شوند و علاوه بر آن، ذرات می‌توانند اعداد کوانتومی درونی (بارها و اعداد کوانتومی مدل استاندارد) نیز داشته باشند [۱۸۹]. اسپین در این نظریه، برچسب نمایش گروه لورنتس-پوانکاره[۴] است و از خواص ریاضی این نمایش‌ها ناشی می‌شود، نه از چرخش فیزیکی پوسته‌ی مادی [۱۹۰]. به‌طور مثال در مورد الکترون، معادله‌ی دیراک به‌طور خودکار حالت‌های اسپین $\frac{۱}{۲}$ و ممان مغناطیسی در مرتبه‌ی اول با $g \approx 2$ [۵] را تولید می‌کند، بدون این‌که نیاز باشد برای الکترون ساختار داخلی یا چرخش کلاسیکی فرض کنیم. بنابراین، اثرهای ظریف الکترودینامیک کوانتومی (Quantum Electrodynamics) (QED) مقدار دقیق ممان مغناطیسی الکترون را کمی تغییر می‌دهند اما اصل وجود اسپین و دو حالت آن به‌طور مستقیم از معادله‌ی دیراک به‌دست می‌آید [۱۹۱].

از دیدگاه آزمایشگاهی، تا امروز شواهد معتبری برای وجود پوسته‌ی جامد یا ساختار داخلی قابل تفکیک در الکترون یا کوارک‌ها به دست نیامده است. داده‌های پراکندگی و برهم‌کنش در انرژی‌های بالا نیز نشان می‌دهند الکترون در تحلیل‌های دقیق برخوردهای پرانرژی از جمله در داده‌های برخورددهنده‌ی بزرگ الکترون-پوزیترون (LEP) (Large Electron-Positron Collider) تا مقیاس‌های بسیار کوچک، رفتاری سازگار با ذره‌ی نقطه‌ای دارد و برای اندازه‌ی موثر آن تنها کران بالایی در حدود $10^{-19}\ \mathrm{m} \lesssim$ گزارش می‌شود. برای کوارک‌ها نیز، تحلیل داده‌های پراکندگی عمیق ناکشسان (DIS) (Deep Inelastic Scattering) (نوعی آزمایش استاندارد در فیزیک ذرات است که برای دیدن «ساختار درونی» ذرات مرکب مانند پروتون استفاده می‌شود) در برخورد دهنده‌ی الکترون/پوزیترون-پروتون (HERA) (Hadron-Elektron Ring Anlage) در قالب مدل‌های فرم‌فاکتور[۶] یا برهم‌کنش‌های موثر کران‌های بالایی در مرتبه‌ی $10^{-19}\ \mathrm{m} \lesssim$ برای شعاع موثر ارائه می‌دهد. بنابراین، تا این مقیاس‌ها هیچ ساختار داخلی قابل تفکیکی مشاهده نشده و نتایج صرفا به‌صورت محدودیت‌های تجربی بر اندازه‌ی موثر بیان می‌شوند [۱۹۲], [۱۹۳]. تحلیل‌های کلاسیکی نشان می‌دهند اگر الکترون را کره‌ی باردار در حال چرخش در نظر بگیریم که اسپین $\frac{\hbar}{2}$ و ممان مغناطیسی مشاهده‌شده را تولید کند، لازم می‌شود سرعت نقاط سطحی از سرعت نور فراتر رود؛ این با نسبیت ویژه ناسازگار است و مدل «پوسته‌ی چرخان» را به عنوان توضیح اسپین رد می‌کند [۱۹۴].

بر این اساس، در جمع‌بندی کلی می‌توان تصویر علمی پذیرفته‌شده از اسپین ذرات بنیادی را چنین بیان کرد: اسپین کمیتی بنیادی است که ریشه در تقارن‌های فضا-زمان و ساختار نظریه‌های میدان‌های کوانتومی نسبیتی دارد و منشاء آن نه حرکت مکانیکی است و نه وجود پوسته یا ساختار مادی چرخان. با در نظر گرفتن دقت آزمایش‌های کنونی،

۱- اپراتورهای تکانه‌ی زاویه‌ای مانند «خط‌کش‌های کوانتومی» هستند که میزان چرخش یا وضعیت چرخشی ذره را اندازه‌گیری و توصیف می‌کنند.

۲- گروه پوانکاره (Wigner classification of the Poincaré group) چهارچوب ریاضی است که نشان می‌دهد ذرات در برابر تبدیل‌های نسبیتیِ فضا-زمان چگونه رفتار می‌کنند.

۳- در رده‌بندی ویگنر، مارپیچگی (Helicity) همان نقش اسپین را برای ذرات بی‌جرم بازی می‌کند؛ عدد کوانتومی ناوردا که از ساختار تقارنی فضا-زمان می‌آید، نه از چرخش فیزیکی ذره.

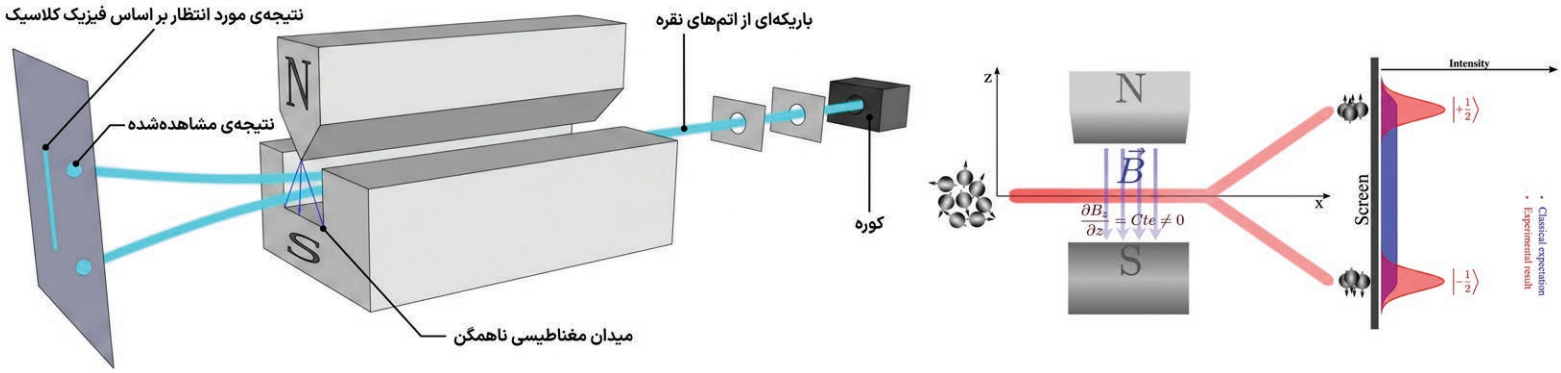
۴-گروه لورنتس تقارن‌های چرخش و تبدیل‌های نسبیتی را توصیف می‌کند؛ گروه پوانکاره این تقارن‌ها را همراه با انتقال‌های فضایی-زمانی ترکیب می‌کند و چهارچوب کامل تقارن‌های نسبیت خاص را می‌سازد.

۵-معادله‌ی دیراک مقدار $g=2$ را برای ممان مغناطیسی الکترون پیش‌بینی می‌کند؛ مقدار واقعی کمی بزرگ‌تر است ($g\approx2.0023$) که ناشی از تصحیحات QED است.

۶- روش استانداردی برای این‌که بررسی کنیم آیا ذره‌ای مانند کوارک ممکن است «اندازه‌ی موثر» داشته باشد یا نه و اگر دارد، چه‌قدر باید کوچک باشد تا در داده‌ها دیده نشود.

هیچ نشانه‌ی تجربی معتبری از وجود ساختار درونی یا سطح چرخان برای الکترون و کوارک‌ها مشاهده نشده است؛ به‌گونه‌ای که این ذرات در چهارچوب مدل استاندارد، تا مقیاس‌های طولی قابل دسترس آزمایشگاهی به‌صورت نقطه‌ای و بدون اندازه‌ی داخلی قابل تشخیص توصیف می‌شوند.

میان آزمایش‌های گوناگون نیز هرچند اشترن-گرلاخ به‌طور مستقیم ساختار درونی را نمی‌سنجد اما نشان می‌دهد اسپین را نمی‌توان به‌صورت چرخش مکانیکی سطح یا پوسته تفسیر کرد و کران‌های تجربی بر اندازه‌ی موثر الکترون و کوارک‌ها نیز از پراکندگی‌های پرانرژی به‌دست می‌آید (شکل ۶۱). حال این‌که هرگونه تبیین فراتر از این چهارچوب از جمله در قالب دیدگاه‌های کیهان‌شناختی یا تفسیری، مستلزم بررسی مفاهیم بنیادی‌تری مانند ماهیت جرم و تقارن‌ها در نظریه‌های فیزیکی است.



شکل ۶۱- چپ: تصویرسازی آزمایش اسپین کوانتیزه اشترن-گرلاخ. راست: شرط $\partial B_z/\partial z \neq 0$ نشان می‌دهد میدان مغناطیسی ناهمگن است؛ این ناهمگنی باعث می‌شود حالت‌های گوناگون اسپین، نیروی متفاوتی تجربه کرده و تفکیک فضایی پرتو در آزمایش اشترن-گرلاخ رخ دهد.

Credit: Theresa Knott, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

جرم نیز در فیزیک، کمیتی بنیادی است که در کاربردهای مقدماتی گاهی به‌صورت «مقدار ماده» توصیف می‌شود اما در بیان استاندارد فیزیک مدرن، جرم سیستم «کمیت ناوردایی» است که با اینرسی و رابطه‌ی انرژی-تکانه در نسبیت پیوند دارد [۱۹۵]. به عبارتی جرم، ویژگی ذاتی هر سیستم فیزیکی است که در دستگاه SI بر حسب کیلوگرم اندازه‌گیری می‌شود و در رفتارهای گوناگون اجسام، از جمله مقاومت در برابر شتاب‌گیری (اینرسی) و همچنین در ایجاد و تجربه‌ی برهم‌کنش‌های گرانشی، نقش تعیین‌کننده دارد [۱۹۶].

در نگاه مدرن فیزیک، «جرم» مفهومی چندوجهی است که در چهارچوب اصلی کلاسیک، نسبیتی، کوانتومی و نظریه‌ی میدان به‌صورت مکمل ظاهر می‌شود. در فیزیک کلاسیک، جرم به عنوان کمیتی بنیادی نقش دوگانه‌ای ایفا می‌کند؛ از یک سو شاخص لختی است و میزان مقاومت جسم در برابر تغییر شتاب را تعیین می‌کند و از سوی دیگر منبع گرانش است؛ به‌گونه‌ای که قانون دوم نیوتن و قانون گرانش جهانی هر دو به واسطه‌ی همین کمیت فرمول‌بندی می‌شوند [۱۹۷]. آزمایش‌های اصل هم‌ارزی ضعیف (Weak Equivalence Principle) (WEP) نشان داده‌اند شتاب سقوط آزاد برای اجسام با ترکیب‌های متفاوت در محدوده‌ی دقت‌های بسیار بالا یکسان است؛ این نتیجه، یکی از پایه‌های تجربی نسبیت عام به شمار می‌آید.

www.Journalofcosmointel.com

در نسبیت خاص، جرم سکون (یا جرم ناوردا)[1] به عنوان تنها کمیت ثابتْ میان دستگاه‌های لخت ظاهر می‌شود و از طریق رابطه‌ی انرژی-تکانه ($E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$) به انرژی سکون ($E_0 = mc^2$) پیوند می‌خورد. حال این‌که نسبیت عام این چهارچوب را گسترش می‌دهد و نشان می‌دهد منشاء گرانش نه صرفا جرم، بلکه کل محتوای انرژی-تکانه‌ی ماده و میدان‌ها است؛ به بیان دیگر، جرم تنها یکی از اجزای تانسور «انرژی-تکانه» است که در معادلات میدان اینشتین، هندسه‌ی فضا-زمان را تعیین می‌کند [۱۹۸].

در مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی، جرمْ عدد ثابتی است که در معادله‌ی شرودینگر ظاهر می‌شود و مشخص می‌کند «موج ذره»[2] با چه سرعتی پخش می‌شود و تغییر می‌کند. در این سطح، جرم نه یک اپراتور، بلکه «پارامتر لختی‌ساز»[3] است که نوع ذره و «ویژگی‌های طیفی سیستم»[4] را تعیین می‌کند [۱۹۹].

در نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی، جرم ذره ابتدا به‌صورت پارامتری در لاگرانژین میدان‌ها ظاهر می‌شود؛ یعنی در مجموعه‌قوانینی که تعیین می‌کنند هر میدان چه‌گونه تکامل یابد و چه‌گونه با میدان‌های دیگر برهم‌کنش کند. با این حال، مقدار جرمی که در آزمایش اندازه‌گیری می‌شود، لزوما همان پارامتر اولیه نیست. رفتار واقعی میدان در فضا-زمان که در قالب «تابع انتشار» (Propagator) توصیف می‌شود، نشان می‌دهد برهم‌کنش‌های کوانتومی باعث فرآیند خودانرژی (Self-energy) و در کل اصلاحاتی می‌شوند که جای «قطب تابع انتشار» (Pole of the Propagator) را جابه‌جا می‌کند؛ جرم فیزیکی ذره از همین قطب (به عنوان جرم روی پوسته) استخراج می‌شود. در نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی، تابع انتشار کامل (Full/renormalized propagator) اطلاعات دینامیکی میدان و برهم‌کنش‌های آن را در قالب ساختار تحلیلی خود حمل می‌کند. «قطب تابع انتشار» به مقدارهای چهارتکانه p گفته می‌شود که در آن مخرج تابع انتشار کامل (شامل تصحیحات خودانرژی Σ) صفر می‌شود. برای حالت تک‌ذره‌ای فیزیکی پایدار، این قطب روی محور حقیقی قرار دارد و شرط $p^2 = m^2_{\text{pole}}$ جرم فیزیکی (Pole mass) را تعیین می‌کند.

در صورت ناپایداری ذره، قطب به‌طور کلی مختلط است و علاوه بر جرم، پهنای واپاشی نیز از بخش موهومی آن به‌دست می‌آید. برهم‌کنش‌ها می‌توانند مکان قطب را نسبت به پارامتر جرم اولیه در لاگرانژین جابه‌جا کنند؛ از این رو، جرم مشاهده‌پذیر از موقعیت قطب تابع انتشار کامل استخراج می‌شود [۲۰۰]. این تغییرات پیوسته که در مقیاس‌های گوناگون انرژی رخ می‌دهند، موجب جابه‌جایی در موقعیت قطب تابع انتشار می‌شوند و همین قطب، همان مقدار جرم فیزیکی ذره را تعیین می‌کند. برای استخراج این مقدار واقعی، نظریه از فرآیندی به نام «Renormalization» یا «بازبه‌هنجارسازی» استفاده می‌کند که روشی برای سامان‌دهی و بازتعریف کمیت‌ها است تا اثرات کوانتومی برهم‌کنش‌ها به‌درستی در نتیجه‌ی نهایی منظور شوند و مقدار قابل مشاهده‌ی جرم با آنچه در آزمایش اندازه‌گیری می‌شود، سازگار باشد. بنابراین، جرم فیزیکی نه عددی خام در معادله‌ی اولیه، بلکه حاصل تکامل میدان، ساختار تابع انتشار و اصلاحات کوانتومی است؛ ویژگی‌ای که از رفتار دینامیکی میدان در جهان واقعی ناشی می‌شود [۲۰۱].

در مدل استاندارد نیز سازوکار هیگز نقش اصلی را در ایجاد جرم برای بوزون‌های پیمانه‌ای $W^{\pm}$ و Z^0 و نیز برای فرمیون‌ها بر عهده دارد. این جرم از آن‌جا به وجود می‌آید که میدان‌های ماده و پیمانه‌ای با مقدار خلاء غیرصفر میدان هیگز برهم‌کنش می‌کنند [۲۰۲], [۲۰۳], [۲۰۴]. با وجود نقش بنیادین سازوکار هیگز در تعیین جرم ذرات اولیه، جرم عمده‌ی ماده‌ی باریونی جهان از این سازوکار ناشی نمی‌شود. به‌طور مثال پروتون‌ها و نوترون‌ها که تقریبا تمام جرم ماده‌ی مرئی را تشکیل می‌دهند، سیستم‌های مرکبی هستند که جرم آن‌ها از ساختار درونی‌شان برمی‌خیزد. به این‌صورت که این ذرات، جرم خود را از انرژی جنبشی کوارک‌ها، انرژی پیوندی فراهم‌شده به واسطه‌ی گلوئون‌ها در چهارچوب برهم‌کنش قوی و در نهایت از دینامیک غیرخطی میدان‌های رنگی به دست می‌آورند. در این میان، جرم سکون کوارک‌های سبک تنها سهم اندکی دارد و بخش اعظم جرم نهاییِ هادرون‌ها[5] محصول انرژی ذخیره‌شده در میدان‌های قوی است [۲۰۵], [۲۰۶].

۱- این کمیت تحت تبدیلات لورنتس ناوردا است؛ به این معنا که همه‌ی ناظران مقدار یکسانی برای آن به دست می‌آورند.

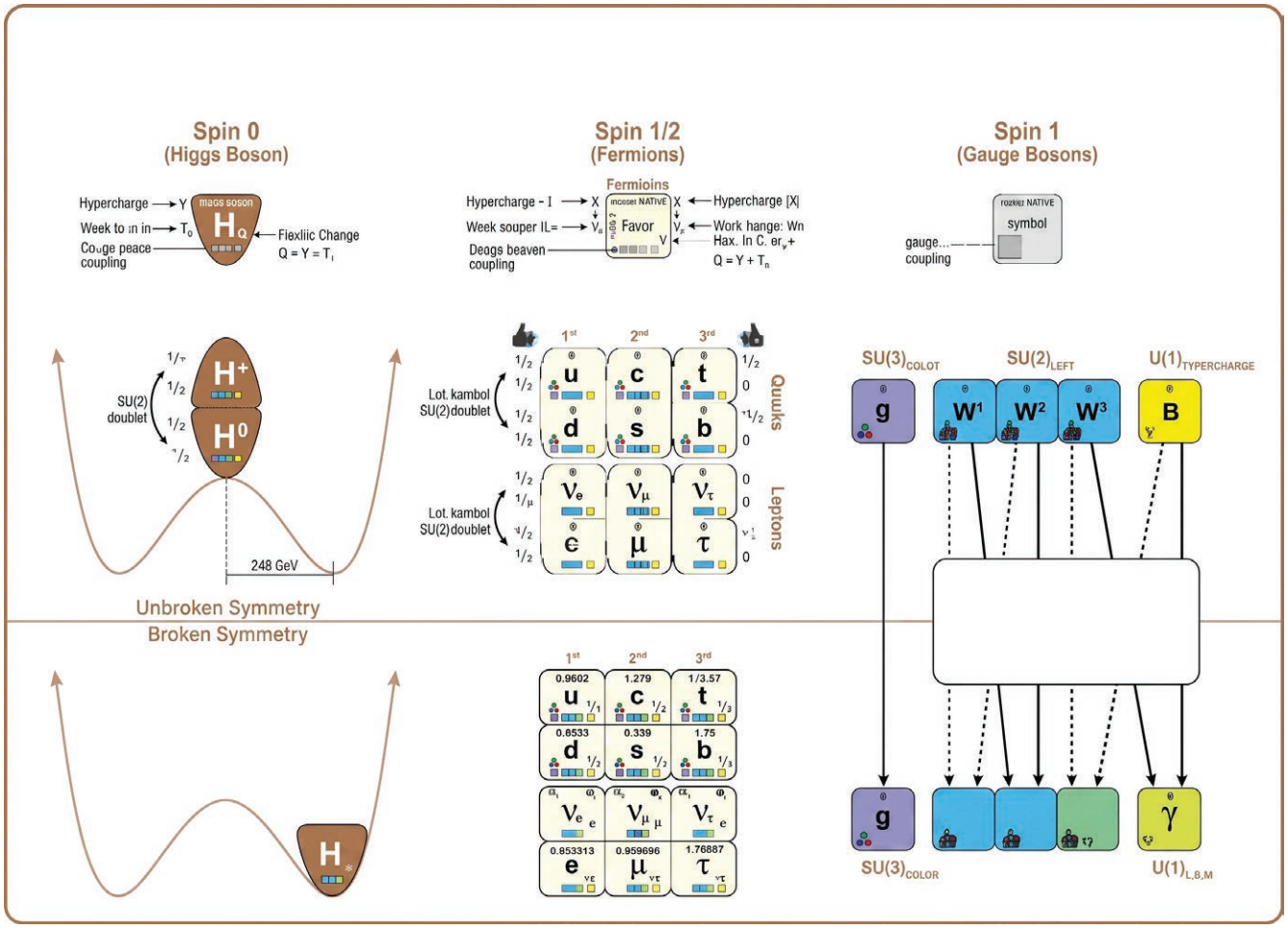
۲- تابع موجی که یک ذره را توصیف می‌کند.

۳- عددی که میزان مقاومت ذره در برابر تغییرات موجی را تعیین می‌کند. در معادله‌ی شرودینگر، جرم در ضریب انرژی جنبشی ظاهر می‌شود؛ طوری که اگر جرم زیاد باشد موج ذره آهسته‌تر پخش می‌شود و اگر جرم کم باشد، موج سریع‌تر تغییر می‌کند.

۴- یعنی جرم تعیین می‌کند: ۱- فاصله‌ی بین انرژی‌های مجاز ذره چه میزان باید باشد. ۲- چه ترازهایی در اتم یا پتانسیل به‌وجود بیاید. ۳- چه فرکانس‌هایی از تابش جذب یا گسیل شود.

۵- ذرات مرکب مانند پروتون‌ها و نوترون‌ها که از کوارک‌ها ساخته شده‌اند.

در مجموع، جرم در فیزیک مدرن به‌صورت کمیتی واحد اما چندلایه ظاهر می‌شود. در فیزیک کلاسیک، جرم بیان‌گر لَختی و نیز منبع برهم‌کنش گرانشی است. در نسبیت خاص، جرم ناوردا با انرژی سکون از طریق رابطه‌ی $E_0 = mc^2$ مرتبط می‌شود و در نسبیت عام، اگرچه جرم به‌تنهایی منبع گرانش نیست اما به عنوان بخشی از محتوای تانسور انرژی-تکانه در تعیین هندسه‌ی فضا-زمان نقش دارد. در مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی، جرمْ پارامتری ثابت و غیرعملگر است که مقیاس اینرسی و دینامیک موجی ذرات را در معادله‌ی شرودینگر تعیین می‌کند. در نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی، جرم به‌صورت پارامتری در لاگرانژین ظاهر می‌شود و مقدار فیزیکی آن می‌تواند تحت تاثیر برهم‌کنش‌ها، بازبه‌هنجارسازی و سازوکارهای تقارن‌شکنی مانند سازوکار هیگز تعیین شود (شکل ۶۲). این توصیف یکپارچه نشان می‌دهد در چهارچوب فیزیک مدرن، جرم نه فقط مقدار ماده، بلکه کمیتی مرتبط با انرژی، تقارن‌ها و ساختار دینامیکی میدان‌ها است که بسته به مقیاس و چهارچوب‌های نظری، جلوه‌های متفاوتی می‌یابد.



شکل ۶۲- مدل استاندارد فیزیک ذرات. این شکل ذرات بنیادی مدل استاندارد (بوزون هیگز، سه نسل کوارک‌ها و لپتون‌ها و بوزون‌های پیمانه‌ای) را نشان می‌دهد که شامل نام، جرم، اسپین، بار، کایرالیته و برهم‌کنش‌های آن‌ها با نیروهای قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی است. نقش حیاتی بوزون هیگز نیز در شکست تقارن نشان می‌دهد چه‌گونه خواص ذرات گوناگون در فاز متقارن انرژی بالا و فاز شکست تقارن انرژی پایین متفاوت است.

Credit: Cush, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0

اما بر اساس نظریه‌ی کیهان‌شناسی شعوری، وجود جرم در ماده‌ی باریونی نه پارامتری از پیش داده شده، بلکه برآیند درهم‌بافتگی دینامیک امواج بنیادینی است که از تجزیه‌ی TAM در پوسته‌ی کیهان آزاد می‌شوند. این امواج در لحظه‌ی رهایی از پوسته در وضعیت فوق متراکم و انرژی بسیار بالا قرار دارند که حین واگرد فضا با دورشدن از پوسته در ناحیه‌هایی با دمای پایین‌تر، به‌ترتیب از حالت فوق متراکم به متراکم و در ادامه به امواج غیرمتراکم گذار می‌کنند.

در این چهارچوب، ذره زمانی شکل می‌گیرد که بخشی از این امواج غیرمتراکم به‌جای آن‌که صرفا از کنار هم عبور کنند در ناحیه‌ی محدودی از فضا به‌طور پایدار در هم بافته شوند و به دام افتاده باشند. در این ناحیه تداخل پایدار امواج، بسته‌ی موجی به وجود

www.Journalofcosmointel.com

می‌آورد که هم از نظر مکانی محدود و هم از نظر فرکانسی بسته به نوع ذره‌ی در حال تشکیل می‌تواند بسیار بالا باشد. شدت تداخل و پایداری این بسته‌ی موجی، میدان گرانشی موضعی پدید می‌آورد. هرچه چگالی انرژی موجی و درهم‌بافتگی آن در این ناحیه بالاتر باشد، نقش گرانش قوی‌تر شده، انقباض موضعی فضا بیش‌تر می‌شود. در SCM، می‌توان جرم ذره را به‌صورت فشردگی و ماندگاری این بسته‌ی موجی تعریف کرد. ذره‌ای با جرم بیش‌تر، یعنی امواج درهم‌بافته‌ی بیش‌تر. به این ترتیب ذره، سیستم «موجی-فضایی» فشرده است که از دو عامل فشردگی و درهم‌بافتگی امواج بنیادین و واکنش انقباضی فضا در اطراف این امواج به وجود می‌آید. این تغییر در ویژگی فضا که به‌صورت افزایش «ویسکوزیته‌ی فضا» پیرامون این امواج ظاهر می‌شود، باعث می‌شود چگالی فضا در ناحیه‌ای که برخورد و درهم‌بافتگی امواج صورت گرفته است، اندکی بالاتر از حالت عادی باشد. این امر منجر به گرانروی بیش‌تر در رفتار سیال‌گونه‌ی فضا می‌شود که از این درهم‌بافتگی پشتیبانی دینامیکی می‌کند.

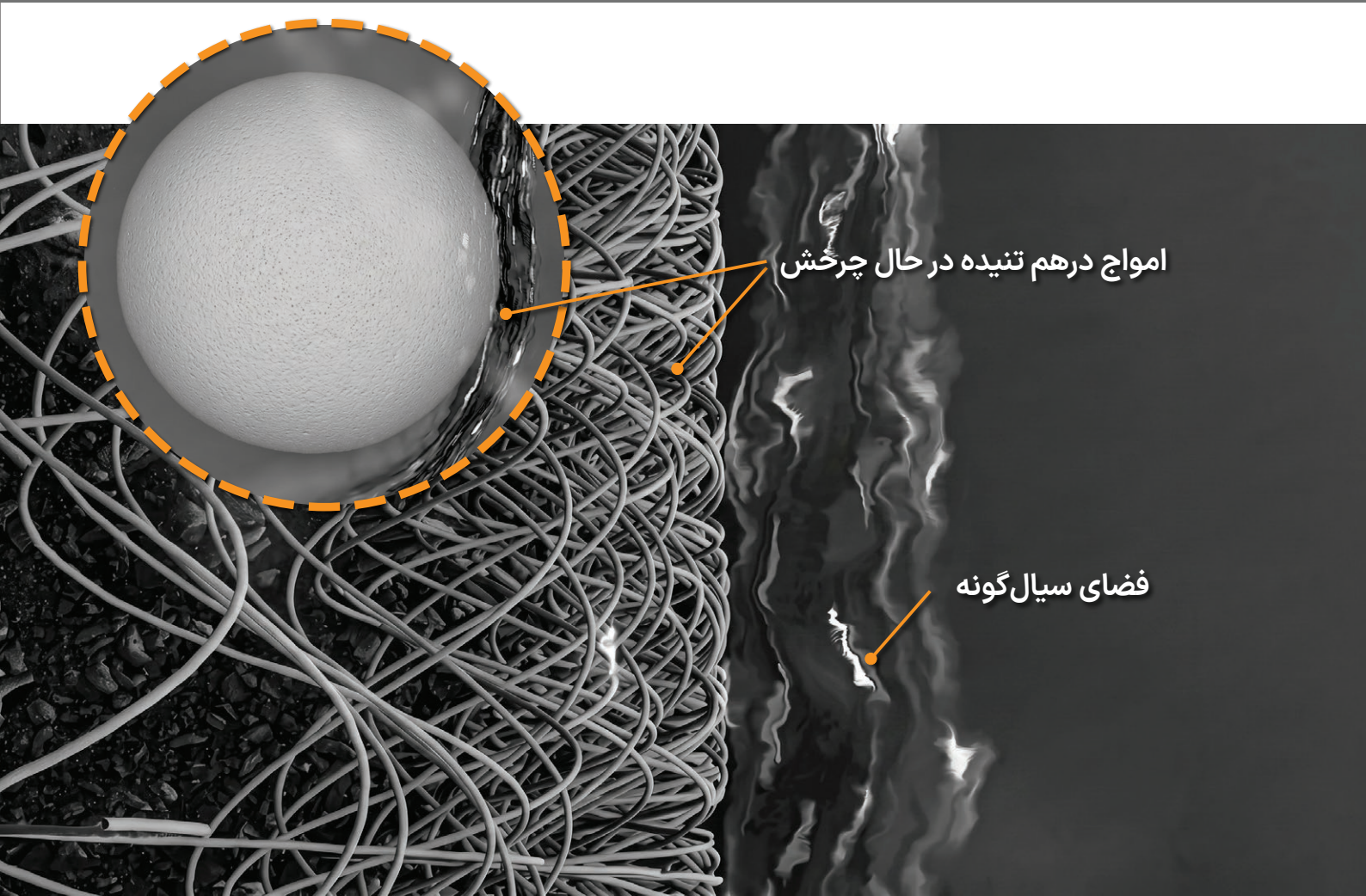
این ناحیه، همان چیزی است که در مدل کیهان کروی به «میدان انرژی تاریک موضعی» در اطراف ذره تعبیر می‌شود. انرژی تاریک در این چهارچوب نه به معنای انرژی خلاء در کیهان‌شناسی ΛCDM، بلکه به معنای فضای کمی‌فشرده با مقدار ویسکوزیته‌ی پایین است که مانند داربست، ساختار امواج درهم‌تنیده را مهار می‌کند و اجازه نمی‌دهد تداخل آن‌ها فرو بپاشد. از طرفی فضا با ویژگی سیال‌گونه‌ای که دارد به دلیل ناهمگنی ریزمقیاس در پوسته‌ی موجی که همان خلل‌وفرج ناشی از درهم‌بافتگی است، درون منافذ ساختار موجی نفوذ می‌کند. این نفوذ دو پیامد مهم دارد:

۱- اصطکاک موج-فضا: تماس مداوم بین امواج متراکم و فضای ویسکوز پیرامون، اصطکاکی بسیار ظریف به وجود می‌آورد. این اصطکاک در مقیاس ماکروسکوپی کاملا قابل اغماض است اما در مقیاس ذره‌ای موثر واقع می‌شود.

۲- قفل‌شدن دینامیکی: حضور این اصطکاک، امواج درهم تنیده شده را به جریان کلی فضا حساس می‌کند و امکان انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای را از فضا به ذره فراهم می‌کند.

در نتیجه، انرژی تاریک موضعی را می‌توان به‌صورت میدانی تصور کرد که از یک سو ساختار ذره (امواج درهم‌بافته) را نگه می‌دارد و از سوی دیگر، کانالی برای تبادل تکانه‌ی زاویه‌ای بین فضا و ذره ایجاد می‌کند (شکل ۶۳).

شکل ۶۳- طرح شماتیک مفهومی از شکل‌گیری ذره در چهارچوب مدل کیهان کروی. در این توصیف، ذره به‌صورت یک بسته‌ی موجی موضعی و دینامیکی پایدار مدل‌سازی می‌شود که از درهم‌بافتگی امواج بنیادین در ناحیه‌ای محدود از فضا پدید می‌آید. افزایش چگالی انرژی موجی در این ناحیه با تغییر ویژگی‌های محیط پیرامونی همراه است و به پاسخ گرانشی موضعی می‌انجامد. در این چهارچوب، میدان انرژی تاریک زمینه‌ای با رفتار ویسکوزیته مانند برای فضا در نظر گرفته می‌شود که با ایجاد داربست دینامیکی، به پایداری و ماندگاری ساختار ذره کمک می‌کند. بر این اساس، جرم ذره نه به عنوان مقدار ماده، بلکه به عنوان معیاری از فشردگی، پایداری و برهم‌کنش بسته‌ی موجی تحت تاثیر ویسکوزیته‌ی فضای پیرامون تفسیر می‌شود.



بنابرایـن، بر اسـاس نظریه‌ی کیهـان دوار طاهری اگـر امـواج درهم‌بافته‌شـده و فشـرده (ذره) را در چهارچـوب فضایـی قـرار دهیـم که نه‌تنهـا چرخش زمینـه‌ای دارد، بلکـه ویسـکوزیته‌ی آن نسـبت بـه حالـت نرمال (بدون انقباض) در پیرامون آن ذره بالا اسـت، آنگاه سـه سـازوکار فیزیکی به‌طور هم‌زمان فعـال می‌شـوند و دینامیـک اسـپین ذره را عـلاوه بـر نیروی‌هـای شناخته‌شـده‌ی داخلی حاکـم در آن (مطابـق فیزیـک اسـتاندارد ذرات) کـه در ایـن امر شریک هستند، تعیین می‌کنند:

۱- سـاختار موجـی فشـرده‌ی درونـی: ذره‌ی بنیادیـن به‌صـورت بسـته‌ی موجی فشـرده‌ای در نظر گرفته می‌شود که از مجموعه‌ای از «مُدهای»[۱] نوسانی درهم‌بافته‌شده تشکیل شده است. این امواج پس از برخورد با یکدیگر تحت فشـردگی و پایداری گرانشی-ویسـکوز فضای پیرامون سازمان می‌یابند و ساختاری پایدار ایجاد می‌کنند. مدهای موجی می‌توانند الگوهای حلقوی یا مارپیچی پدید آورند و به این ترتیب نوعی اسپین موثر بسازند؛ اسـپینی که از توزیع فازی و دامنه‌ای امواج ناشی می‌شـود و در آرایـش موجـی سیسـتم تعریـف می‌شـود. از آن‌جـا که در این دیدگاه سـاختار ذره موج‌محور است، اسپین موجود در ذره را نمی‌توان معـادل چرخش مکانیکی جسـم صلب دانسـت، بلکـه بایـد آن را نتیجه‌ی دینامیـک درونی امواج درهم‌بافته‌شـده‌ی فشـرده تلقی کـرد که چرخش آن بر اساس رفتار موجی آن است.

۲- ویسـکوزیتی و اصطـکاک انـرژی تاریـک پیرامونـی: فضـای منقبض‌شـده‌ی (ویسـکوز) اطراف ذره در تماس با ذره اصطکاک ظریفی ایجاد می‌کنـد کـه آن را نسـبت به جریـان پس‌زمینه‌ی فضا حسـاس می‌کند. به این‌صورت که در حضور چرخش‌هـای پیچیده‌ی سراسـری فضا، اصطکاک بخشـی از تکانـه‌ی زاویـه‌ای فضـای چرخـان را به این امـواج درهم‌بافته منتقل می‌کند. این فرآیند باعث می‌شـود امواج درهم‌بافتـه‌ای که خلل‌وفرج دارنـد در پاسـخ بـه جریـان زمینـه‌ای بـه الگـوی چرخش درونی پایدار برسند.

۳- انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای از پوسته‌ی کیهان: از آن‌جـا کـه کیهـان در این مدل سیسـتمی بسـته اسـت، تکانـه‌ی زاویه‌ای کل آن بایـد محفوظ بماند. چرخـش پوسـته، منبـع کلان‌مقیـاس ایـن تکانه‌ی زاویـه‌ای اسـت. فضایـی بـا عملکـرد سـیال‌گونه به عنوان واسطه، این تکانه را از پوسته به ساختارهای درونی از جمله بسـته‌های موجی درهم‌بافته منتقل می‌کنـد. بنابرایـن، آنچـه در مقیاس ذره بـه عنوان مفهومـی به نام «اسـپین» دیده می‌شـود، در واقع عـلاوه بر تاثیـر نیروی‌هـای گوناگون درونی، شـکل پایـدار و موضعی‌شـده‌ی همیـن انتقـال تکانـه‌ی زاویه‌ای است.

بنابرایـن، همان‌طـور که بیان شـد در این تصویرْ اسپین دیگر چرخش مکانیکی جسم کروی نیست، بلکـه پاسـخ دینامیکی و پایدار یک بسـته‌ی موجی فشـرده و درهم‌بافته به فضای چرخان اسـت که در حضـور میدان انـرژی تاریک در اطراف خـود، الگوی چرخش درونی با تکانه‌ی زاویه‌ای مشـخص را کسب می‌کنـد و منجر به تغییـر در حالت‌های فضایی نیز می‌شـود. به‌عبارت دیگـر، اسـپین ذره در این مدل نتیجـه‌ی هم‌زمان سـه عامل، یعنی هندسـه‌ی فاز[۲] و دامنـه‌ی امـواج درهم‌بافتـه‌ی درون ذره (سـاختار موجـی و تکانـه‌ی زاویه‌ای حاصـل از فعل و انفعلات خـود ذره)[۳]، میـزان ویسـکوزیته‌ی فضـای تاریـک پیرامون (میدان انرژی تاریک) و زمینه‌ی چرخان کل کیهان (چرخش پوسـته و انتقال تکانه‌ی زاویه‌ای در مقیاس کیهانی) است.

در این چهارچوب، سازوکاری که در مقیاس ذره‌ای به‌صـورت اسـپین ناشـی از سـازمان‌یافتگی امـواج درهم‌بافته‌شده ظهور می‌کند در مقیاس‌های بزرگ‌تر نیـز بـه شـکل الگوهـای چرخشـی پایـدار (چرخش کلاسیکی) قابل ردیابی است. این تفاوت، اساسا در مقیاس و شـدت فرآیندها ظاهر می‌شود. طوری که در سطح ذره‌ای، تکانه‌ی زاویه‌ای در هندسه‌ی موجی فشـرده و درهم‌بافته، ذخیره می‌شود و به واسطه‌ی میـدان انرژی تاریـک پیرامونی سـامان می‌یابد، در حالی‌که در ساختارهای ماکروسکوپی، همین اصل در قالب چرخش کلاسیکی اقمار، ستارگان، دیسک‌های کهکشـانی و خوشـه‌ها بروز می‌کند؛ جایی که توزیع مـاده‌ی تاریـک نیـز در پیرامـون ابرجرم‌ها سـازمان می‌گیـرد. به این ترتیب، در مـدل کیهان کروی یک سـازوکار (ویسـکوزیته‌ی متغیـر فضـا در پیرامـون اجـرام) می‌توانـد رفتار زاویـه‌ای را در هر دو مقیاس ذره‌ای و کیهانی با چهارچوبی واحد تبیین کند.

۱- «مُـد» یعنـی الگوی نوسـان پایدار که موج می‌تواند در آن شکل وجود داشته باشـد و با شـرایط فیزیکی محیط سـازگار باشد.

۲- هندسه‌ی فاز یعنی «شکل و آرایش فضایی فاز موج»؛ به این معنا که فاز موج چه‌گونه در نقاط گوناگون تغییر می‌کند و چه الگوی منظم یا پیچیده‌ای همچون پیچش، گردابه یا گره می‌سازد. این الگو می‌تواند بر جهت‌گیری و مقدار تکانه‌ی زاویه‌ای بسته‌ی موجی اثر بگذارد.

۳- الگوی فضایی فاز و دامنه‌ی امواج فشرده و درهم‌بافته‌شده‌ای که بسته‌ی موجی ذره را تشکیل می‌دهند و رفتار چرخشی و پایداری آن را تعیین می‌کنند.

August 2026 | Journal No.7
ISSN2817-7002

T-CONSCIOUSNESS COSMOLOGY

Mohammad Ali Taheri



www.Journalofcosmointel.com
www.Cosmointel.COM

منابع

[1] V. C. Rubin, W. K. Jr. Ford, and N. Thonnard, "Rotational properties of 21 SC galaxies with a large range of luminosities and radii," *Astrophysical Journal*, vol. 238, pp. 471–487, 1980, doi: 10.1086/158003.

[2] Y. Sofue and V. Rubin, "Rotation curves of spiral galaxies," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 39, no. 1, pp. 137–174, 2001, doi: 10.1146/annurev.astro.39.1.137.

[3] K. Gödel, "An example of a new type of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 21, no. 3, pp. 447–450, 1949, doi: 10.1103/RevModPhys.21.447.

[4] S. W. Hawking and G. F. R. Ellis, *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge: Cambridge University Press, 1973.

[5] G. E. Stedman, "Ring-laser tests of fundamental physics and geophysics," *Reports on Progress in Physics*, vol. 60, no. 6, pp. 615–688, 1997, doi: 10.1088/0034-4885/60/6/001.

[6] J. S. Dowker, "Sagnac effect in Gödel's universe," *Proceedings of the Physical Society*, vol. 91, no. 2, pp. 407–411, 1967, doi: 10.1088/0370-1328/91/2/307.

[7] E. Kajari, R. Walser, W. P. Schleich, and A. Delgado, "Sagnac effect of Gödel's universe," *Gen. Relativ. Gravit.*, vol. 36, pp. 2289–2316, 2004.

[8] C. W. Misner, "Mixmaster Universe," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 22, no. 20, pp. 1071–1074, 1969, doi: 10.1103/PhysRevLett.22.1071.

[9] T. Harko, F. S. N. Lobo, S. Nojiri, and S. D. Odintsov, "f(R,T) gravity," *Physical Review D*, vol. 84, no. 2, p. 024020, 2011, doi: 10.1103/PhysRevD.84.024020.

[10] H. P. De Oliveira, I. D. Soares, and T. J. Stuchi, "Chaos in Anisotropic Pre-Inflationary Universes," *arXiv preprint gr-qc/9702044*, 1997.

[11] A. Pontzen and A. Challinor, "Bianchi model CMB polarization and its implications for CMB anomalies," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 380, no. 4, pp. 1387–1398, 2007, doi: 10.1111/j.1365-2966.2007.12176.x.

[12] M. Bojowald, "Quantum cosmology: a review," *Reports on Progress in Physics*, vol. 78, no. 2, p. 023901, 2015, doi: 10.1088/0034-4885/78/2/023901.

[13] A. Krasiński, *Inhomogeneous Cosmological Models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

[14] L. Shamir, "Asymmetry between galaxies with clockwise and counterclockwise spin directions: A large-scale test of cosmological isotropy," *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, vol. 247, no. 1, p. 21, 2020, doi: 10.3847/1538-4365/ab65f5.

[15] L. Shamir, "Large-scale asymmetry in the distribution of galaxy spin directions—Analysis and reproduction," *Symmetry (Basel).*, vol. 15, no. 9, p. 1704, 2023.

[16] L. Shamir, "Galaxy spin direction asymmetry in JWST deep fields," *Publications of the Astronomical Society of Australia*, pp. 1–16, 2024.

[17] J. Lense and H. Thirring, "Über den Einfluss der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie," *Physikalische Zeitschrift*, vol. 19, pp. 156–163, 1918.

[18] J. D. Barrow, R. Juszkiewicz, and D. H. Sonoda, "Universal rotation: how large can it be?," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 213, no. 4, pp. 917–943, 1985, doi: 10.1093/mnras/213.4.917.

[19] F. W. Hehl, P. von der Heyde, G. D. Kerlick, and J. M. Nester, "General relativity with spin and torsion: Foundations and prospects," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 48, no. 3, pp. 393–416, 1976, doi: 10.1103/RevModPhys.48.393.

[20] L. C. García de Andrade, "Metric perturbations in Einstein–Cartan Cosmology," *arXiv preprint gr-qc/0202022*, 2002, [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/gr-qc/0202022

[21] H. Stephani, D. Kramer, M. MacCallum, C. Hoenselaers, and E. Herlt, *Exact Solutions of Einstein's Field Equations*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

[22] I. Ozsváth and E. Schücking, "An anti-Mach metric," in *Recent Developments in General Relativity*, Oxford: Pergamon Press, 1962, pp. 339–350.

[23] R. A. Sussman, I. Delgado Gaspar, and J. C. Hidalgo, "Coarse-grained description of cosmic structure from Szekeres models," *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2016, no. 03, p. 012, 2016, doi: 10.1088/1475-7516/2016/03/012.

[24] M. Bojowald, "Loop quantum cosmology," *Living Rev. Relativ.*, vol. 8, no. 11, 2005, doi: 10.12942/lrr-2005-11.

[25] Mohammad Ali Taheri, "The Cosmic Black Hole," *Cosmointel*, vol. Vol. 3 No. TC2EN, no. T-Consciousness Cosmology Special Issue, Apr. 2024, doi: https://doi.org/10.61450/joci.v3iTC2EN.

[26] Taheri Mohammad Ali, "Space Viscosity and Fundamental Constants," *CosmoIntel*, vol. 3, no. T-Consciousness Cosmology Special Issue, Apr. 2024, Accessed: Jun. 16, 2024. [Online]. Available: https://journalofcosmointel.com/index.php/journalofcosmointel/issue/view/31

[27] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics*. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.

[28] N. I. Shakura and R. A. Sunyaev, "Black holes in binary systems. Observational appearance," *Astron. Astrophys.*, vol. 24, pp. 337–355, 1973.

[29] J. E. Pringle, "Accretion disks in astrophysics," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 19, pp. 137–162, 1981.

[30] C. Aerts, S. Mathis, and T. M. Rogers, "Angular Momentum Transport in Stellar Interiors," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 57, pp. 35–78, 2019.

[31] S. Talon, P. Kumar, and J.-P. Zahn, "Angular momentum transport by internal gravity waves," *Astrophys. J. Lett.*, vol. 574, no. 1, pp. L175–L178, 2002.

[32] R. Weiss, "Nobel Lecture: The Birth of Gravitational-Wave Astronomy," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 90, no. 4, p. 040501, 2018.

[33] P. J. E. Peebles, "Origin of the Angular Momentum of Galaxies," *Astrophys. J.*, vol. 155, pp. 393–401, 1969.

[34] C. W. Misner, K. S. Thorne, and J. A. Wheeler, *Gravitation*. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. [Online]. Available: https://press.princeton.edu/books/hardcover/9780691177793/gravitation

[35] H. C. Ohanian, *Physics and Relativity: Coriolis and Inertial Forces in Rotating Frames*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

[36] G. K. Batchelor, *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.

[37] C. W. F. Everitt *et al.*, "Gravity probe B: final results of a space experiment to test general relativity," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 106, no. 22, p. 221101, 2011.

[38] K. Gödel, "An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 21, no. 3, pp. 447–450, 1949, doi: 10.1103/RevModPhys.21.447.

[39] P. Collaboration, "Planck 2015 results – XIX. Constraints on primordial magnetic fields and isotropy/ Bianchi models," *Astron. Astrophys.*, vol. 594, p. A19, 2016, doi: 10.1051/0004-6361/201525821.

[40] D. Saadeh, S. M. Feeney, A. Pontzen, H. V Peiris, and J. D. McEwen, "How Isotropic Is the Universe?," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 117, p. 131302, 2016, doi: 10.1103/PhysRevLett.117.131302.

[41] M. Kamionkowski, A. Kosowsky, and A. Stebbins, "A Probe of Primordial Gravity Waves and Vorticity," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 78, no. 11, p. 2058, 1997, doi: 10.1103/PhysRevLett.78.2058.

[42] W. Hu and M. White, "A CMB Polarization Primer," *New Astronomy*, vol. 2, pp. 323–344, 1997, doi: 10.1016/S1384-1076(97)00022-5.

[43] M. Zaldarriaga and U. Seljak, "Gravitational Lensing Effect on Cosmic Microwave Background Polarization," *Physical Review D*, vol. 58, no. 2, p. 023003, 1998, doi: 10.1103/PhysRevD.58.023003.

[44] P. A. R. Ade and B. Collaboration, "Detection of B-Mode Polarization at Degree Angular Scales by BICEP2," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 112, no. 24, p. 241101, 2014, doi: 10.1103/PhysRevLett.112.241101.

[45] R. Adam and P. Collaboration, "Planck Intermediate Results XXX. The Angular Power Spectrum of Polarized Dust Emission at Intermediate and High Galactic Latitudes," *Astron. Astrophys.*, vol. 586, p. A133, 2016, doi: 10.1051/0004-6361/201425034.

[46] P. Collaboration, "Planck 2018 results – VI. Cosmological parameters," *Astron. Astrophys.*, vol. 641, p. A6, 2020, doi: 10.1051/0004-6361/201833910.

[47] P. Collaboration and N. Aghanim, "Planck 2018 results. VIII. Gravitational lensing," *Astron. Astrophys.*, vol. 641, p. A8, 2020, doi: 10.1051/0004-6361/201833886.

[48] A. Einstein, "Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie," *Ann. Phys.*, vol. 354, pp. 769–822, 1916, doi: 10.1002/andp.19163540702.

[49] A. LEWIS and A. CHALLINOR, "Weak gravitational lensing of the CMB," *Phys. Rep.*, vol. 429, no. 1, pp. 1–65, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.physrep.2006.03.002.

[50] B. and P. Collaborations, "Joint Analysis of BICEP2/Keck Array and Planck Data," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 114, p. 101301, 2015, doi: 10.1103/PhysRevLett.114.101301.

[51] W. Hu, "Weak lensing of the CMB: A harmonic approach," *Physical Review D*, vol. 62, no. 4, p. 043007, 2000.

[52] R. B. Tully, H. M. Courtois, Y. Hoffman, and D. Pomarède, "The Laniakea Supercluster of Galaxies," *Nature*, vol. 513, pp. 71–73, 2014, doi: 10.1038/nature13674.

[53] H. M. Courtois, R. B. Tully, and R. Graziani, "Density and velocity fields using CosmicFlows-4," *Astron. Astrophys.*, vol. 670, p. A123, 2023, doi: 10.1051/0004-6361/202245331.

[54] D. S. Mathewson, V. L. Ford, and M. Buchhorn, "No Back-Side Infall into the Great Attractor," *Astrophysical Journal Letters*, vol. 389, pp. L5–L8, 1992, doi: 10.1086/186335.

[55] D. S. Mathewson, V. L. Ford, and M. Buchhorn, "No back-side infall into the Great Attractor," *Astrophysical Journal Letters*, vol. 389, pp. L5–L8, 1992, doi: 10.1086/186375.

[56] D. Proust, H. Quintana, and A. Reisenegger, "The Shapley Supercluster: the Largest Matter Concentration in the Local Universe," *The Messenger*, vol. 124, pp. 30–31, 2006.

[57] L. Shamir, "Evidence of a Cosmological Angular Momentum: The Universe Might Have a Preferred Spin Direction," *Astrophys. J.*, vol. 895, no. 1, pp. 1–12, 2020.

[58] L. Shamir, "Large-Scale Asymmetry of Galaxy Spin Directions and Cosmological Implications," *Astron. J.*, vol. 163, no. 2, pp. 66–78, 2022.

[59] L. Shamir, "Large-scale asymmetry in galaxy spin directions: Analysis of galaxies with spectra in DES, SDSS, and DESI Legacy Survey," *Astronomische Nachrichten*, vol. 343, no. 6–7, p. e20220010, 2022.

[60] J. Creswell and P. Naselsky, "Asymmetry of the CMB map: local and global anomalies," *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2021, no. 03, p. 103, 2021, doi: 10.1088/1475-7516/2021/03/103.

[61] P. Collaboration and N. Aghanim, "Planck 2018 results. I. Overview and the cosmological legacy of Planck," *Astron. Astrophys.*, vol. 641, p. A1, 2020.

[62] I. Agullo, A. Ashtekar, and W. Nelson, "Anomalies in the Cosmic Microwave Background and Their Implications," *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, vol. 8, p. 703845, 2021.

[63] W. Zhao, "Anomalies in the Cosmic Microwave Background largest scales," 2016. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1604.05484

[64] P. Collaboration, "Planck 2018 results: VII. Isotropy and statistics of the CMB," *Astron. Astrophys.*, vol. 641, p. A7, 2020.

[65] C. J. Copi, D. Huterer, D. J. Schwarz, and G. D. Starkman, "Large-scale alignments from WMAP and Planck," 2013. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1311.4562

[66] C. E. Kester and P. Collaboration, "Probing the statistical isotropy of the universe with Planck," *Astron. Astrophys.*, 2024.

[67] R. Stiskalek and H. Desmond, "Symmetry in Hyper Suprime-Cam galaxy spin directions," 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2410.18884

[68] K. Land and J. Magueijo, "The Axis of Evil," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 95, p. 071301, 2005, doi: 10.1103/PhysRevLett.95.071301.

[69] L. Shamir, "Multipole alignment in the large-scale distribution of galaxy spin direction," *Astrophysical Journal*, vol. 160, p. 271, 2020, doi: 10.3847/1538-3881/aba6d6.

[70] C. H. Lineweaver, L. Tenorio, G. F. Smoot, P. Keegstra, A. J. Banday, and P. Lubin, "The Dipole Observed in the COBE DMR Four-Year Data," *Science (1979).*, vol. 274, pp. 746–750, 1996, doi: 10.1126/science.274.5287.746.

[71] L. Shamir, "Patterns of Galaxy Spin Directions in SDSS and Pan-StARRS Data," *Astrophys. Space Sci.*, vol. 365, no. 136, 2020, doi: 10.1007/s10509-020-03859-5.

[72] C. J. Copi, D. Huterer, D. J. Schwarz, and G. D. Starkman, "Large-Angle Anomalies in the CMB," *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2013, no. 07, p. 031, 2013, doi: 10.1088/1475-7516/2013/07/031.

[73] P. Collaboration, "Planck 2018 Results. IX. Constraints on Primordial Non-Gaussianity," *Astron. Astrophys.*, vol. 641, no. A9, 2020, doi: 10.1051/0004-6361/201935891.

[74] C. L. Bennett *et al.*, "Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Final maps and results," *Astrophysical Journal, Supplement Series*, vol. 208, no. 2, 2013, doi: 10.1088/0067-0049/208/2/20.

[75] P. Collaboration *et al.*, "Planck 2018 results," *A&A*, vol. 641, 2020, [Online]. Available: https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935201

[76] D. J. Schwarz, C. J. Copi, D. Huterer, and G. D. Starkman, "CMB anomalies after Planck," *Class. Quantum Gravity*, vol. 33, no. 18, p. 184001, 2016.

[77] C. J. Copi, D. Huterer, D. J. Schwarz, and G. D. Starkman, "On the large-angle anomalies of the microwave sky," *Physical Review D*, vol. 70, p. 043515, 2004, doi: 10.1103/PhysRevD.70.043515.

[78] C. J. Copi, D. Huterer, D. J. Schwarz, and G. D. Starkman, "Large-angle anomalies in the CMB," *Advances in Astronomy*, vol. 2010, p. 847541, 2010, doi: 10.1155/2010/847541.

[79] D. J. Schwarz, C. J. Copi, D. Huterer, and G. D. Starkman, "Is the low-ℓ microwave background cosmic?," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 93, p. 221301, 2004, doi: 10.1103/PhysRevLett.93.221301.

[80] P. Collaboration, "Planck 2015 results. XVI. Isotropy and statistics of the CMB," *Astron. Astrophys.*, vol. 594, p. A16, 2016, doi: 10.1051/0004-6361/201526681.

[81] K. Gödel, "An example of a new type of cosmological solutions of Einstein's field equations," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 21, p. 447, 1949, doi: 10.1103/RevModPhys.21.447.

[82] L. Campanelli, P. Cea, and L. Tedesco, "Ellipsoidal universe can solve the CMB quadrupole problem," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 97, p. 131302, 2006, doi: 10.1103/PhysRevLett.97.131302.

[83] S.-C. Su and M.-C. Chu, "Is the universe rotating?," *Astrophys. J.*, vol. 703, no. 1, p. 354, 2009.

[84] V. Springel, C. S. Frenk, and S. D. M. White, "The large-scale structure of the Universe," *Nature*, vol. 440, pp. 1137–1144, 2006, doi: 10.1038/nature04805.

[85] P. J. E. Peebles, *Cosmology's Century: An Inside History of Our Modern Understanding of the Universe*. Princeton: Princeton University Press, 2020.

[86] P. Wang, N. I. Libeskind, and E. Tempel, "Possible rotation of cosmic filaments and its implication for large-scale structure formation," *Nat. Astron.*, vol. 5, pp. 839–845, 2021, doi: 10.1038/s41550-021-01325-7.

[87] D. Hutsemékers, H. Lamy, D. Sluse, and L. Braibant, "Alignment of quasar polarization vectors over cosmological scales," *Astron. Astrophys.*, vol. 572, p. A18, 2014, doi: 10.1051/0004-6361/201424631.

[88] S. Codis, A. Jindal, D. Pogosyan, and C. Pichon, "Connecting the cosmic web to the spin of dark matter haloes," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 481, no. 4, pp. 4753–4771, 2018, doi: 10.1093/mnras/sty2571.

[89] O. Müller, H. Jerjen, and M. S. Pawlowski, "A whirling plane of satellite galaxies around Centaurus A challenges ΛCDM cosmology," *Science (1979).*, vol. 359, no. 6375, pp. 534–537, 2018, doi: 10.1126/science.aao1858.

[90] O. Müller, M. S. Pawlowski, and H. Jerjen, "The coherent motion of Cen A dwarf satellite galaxies remains a challenge for ΛCDM cosmology," *Astron. Astrophys.*, vol. 645, no. L5, 2021, doi: 10.1051/0004-6361/202039973.

[91] B. Elder, V. Vardanyan, C. D. Cappiello, E. W. Kolb, and G. D. Kribs, "Classical symmetron force in Casimir experiments," *Physical Review D*, vol. 101, no. 6, p. 064065, 2020, doi: 10.1103/PhysRevD.101.064065.

[92] A. P. Naik and C. Burrage, "Dark sector domain walls could explain the observed planes of satellites," *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2022, no. 08, p. 020, 2022.

[93] B. M. Peterson, *An Introduction to Active Galactic Nuclei*. Cambridge University Press, 1997.

[94] H. Netzer, *The Physics and Evolution of Active Galactic Nuclei*. Cambridge University Press, 2013.

[95] R. Antonucci, "Unified models for active galactic nuclei and quasars," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 31, pp. 473–521, 1993, doi: 10.1146/annurev.aa.31.090193.002353.

[96] D. Hutsemekers, L. Braibant, V. Pelgrims, and D. Sluse, "Alignment of quasar polarizations with large-scale structures," *Astron. Astrophys.*, vol. 572, p. A18, 2014.

[97] D. Hutsemekers, R. Cabanac, H. Lamy, and D. Sluse, "Mapping extreme-scale alignments of quasar polarization vectors," *Astron. Astrophys.*, vol. 441, pp. 915–930, 2005, doi: 10.1051/0004-6361:20053337.

[98] P. Wang, N. I. Libeskind, E. Tempel, X. Kang, and Q. Guo, "Possible observational evidence for cosmic filament spin," *Nat. Astron.*, vol. 5, no. 8, pp. 839–845, 2021, doi: 10.1038/s41550-021-01380-6.

[99] S. D. M. White, "Angular momentum growth in protogalaxies," *Astrophys. J.*, vol. 286, pp. 38–41, 1984, doi: 10.1086/162573.

[100] P. Wang, N. I. Libeskind, E. Tempel, X. Kang, and Q. Guo, "Author Correction: Possible observational evidence for cosmic filament spin (Nature Astronomy, (2021), 5, 8, (839-845), 10.1038/s41550-021-01380-6)," 2021. doi: 10.1038/s41550-021-01443-8.

[101] O. Müller, M. S. Pawlowski, and H. Jerjen, "Co-rotating satellite plane around Centaurus A," *Science (1979).*, vol. 359, pp. 534–537, 2018, doi: 10.1126/science.aao1858.

[102] N. I. Libeskind, J. Lee, E. Tempel, and P. Wang, "Spin coherence of galaxies over large scales," *Nat. Astron.*, vol. 4, pp. 974–980, 2020, doi: 10.1038/s41550-020-01232-2.

[103] S. Alam *et al.*, "The Completed SDSS-IV Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Cosmological implications from two decades of spectroscopy," *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, vol. 249, no. 3, p. 3, 2020, doi: 10.3847/1538-4365/ab929e.

[104] D. G. York, J. Adelman, J. E. Anderson, and et al., "The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary," *Astron. J.*, vol. 120, no. 3, p. 1579, 2000, doi: 10.1086/301513.

[105] M. Colless, G. B. Dalton, S. J. Maddox, and et al., "The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 328, p. 1039, 2001, doi: 10.1046/j.1365-8711.2001.04902.x.

[106] C. J. Conselice, "The Evolution of Galaxy Structure over Cosmic Time," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 52, pp. 291–337, 2014, doi: 10.1146/annurev-astro-081913-040037.

[107] J. M. Lotz, P. Jonsson, T. J. Cox, and D. Croton, "The Major and Minor Galaxy Merger Rates at $z < 1.5$," *Astrophys. J.*, vol. 742, no. 2, p. 103, 2011, doi: 10.1088/0004-637X/742/2/103.

[108] E. Ventou, T. Contini, N. Bouché, and et al., "Evolution of the galaxy merger fraction over the last 10 Gyr," *Astron. Astrophys.*, vol. 631, p. A87, 2019, doi: 10.1051/0004-6361/201935597.

[109] P. Collaboration, N. Aghanim, Y. Akrami, M. Ashdown, and et al., "Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters," *Astron. Astrophys.*, vol. 641, p. A6, 2020, doi: 10.1051/0004-6361/201833910.

[110] A. G. Riess, W. Yuan, L. M. Macri, and et al., "A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant," *Astrophys. J. Lett.*, vol. 934, no. 1, p. L7, 2022, doi: 10.3847/2041-8213/ac5c5e.

[111] C. J. Conselice, "The Evolution of Galaxy Structure Over Cosmic Time," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 52, pp. 291–337, 2014, doi: 10.1146/annurev-astro-081913-040037.

[112] V. Rodriguez-Gomez *et al.*, "The Merger Rate of Galaxies in the CANDELS Fields," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 449, pp. 49–64, 2015, doi: 10.1093/mnras/stv264.

[113] J. M. Lotz, P. Jonsson, T. J. Cox, and J. R. Primack, "The Evolution of Galaxy Mergers and Morphologies at z < 1.2," *Astrophys. J.*, vol. 742, no. 2, p. 103, 2011, doi: 10.1088/0004-637X/742/2/103.

[114] D. G. York, J. Adelman, J. E. Anderson, and et al., "The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary," *Astron. J.*, vol. 120, no. 3, p. 1579, 2000, doi: 10.1086/301513.

[115] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics*. Wiley, 2014.

[116] J. B. Marion and S. T. Thornton, *Classical Dynamics of Particles and Systems*, 5th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole, 2004.

[117] J. R. Taylor, *Classical Mechanics*. University Science Books, 2005.

[118] A. Einstein, *The Meaning of Relativity*. Princeton University Press, 1922.

[119] K. C. Freeman, "On the Disks of Spiral and S0 Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 160, p. 811, 1970.

[120] P. C. van der Kruit and K. C. Freeman, "Galaxy Disks," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 49, pp. 301–371, 2011.

[121] C. C. Lin and F. H. Shu, "On the Spiral Structure of Disk Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 140, p. 646, 1964.

[122] C. Dobbs and J. Baba, "Spiral Structures in Disc Galaxies," *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol. 31, p. e035, 2014.

[123] F. Bigiel and et al., "The Star Formation Law in Nearby Galaxies on Sub-Kpc Scales," *Astronomical Journal*, vol. 136, p. 2846, 2008.

[124] R. C. Kennicutt, "The Global Schmidt Law in Star-Forming Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 498, p. 541, 1998.

[125] A. K. Leroy and et al., "Star Formation Efficiency in Nearby Galaxies," *Astronomical Journal*, vol. 136, p. 2782, 2008.

[126] V. C. Rubin, W. K. Ford, and N. Thonnard, "Rotational Properties of Sc Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 238, p. 471, 1980.

[127] Y. Sofue and V. C. Rubin, "Rotation Curves of Spiral Galaxies," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 39, p. 137, 2001.

[128] A. B. Romeo and J. Wiegert, "Effective Stability Parameters for Two-Component Disc Galaxies," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 416, p. 1191, 2011.

[129] J. S. Bullock and et al., "A Universal Angular Momentum Profile for Galactic Halos," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 321, p. 559, 2001.

[130] P. J. E. Peebles, "Origin of the angular momentum of galaxies," *Astrophysical Journal, vol. 155, p. 393*, vol. 155, p. 393, 1969.

[131] H. J. Mo, S. Mao, and S. D. M. White, "The Formation of Galactic Discs," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 295, p. 319, 1998.

[132] A. J. Romanowsky and S. M. Fall, "Angular Momentum and Galaxy Formation Revisited," *Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 203, p. 17, 2012.

[133] J. Kormendy and R. Bender, "A Revised Classification of Galaxies: Structure and Kinematics of Ellipticals and Lenticulars," *Astrophysical Journal Letters*, vol. 464, p. L119, 1996.

[134] G. de Vaucouleurs, "Recherches sur les Nebuleuses Extragalactiques," *Annales d'Astrophysique*, vol. 11, p. 247, 1948.

[135] A. W. Graham and S. P. Driver, "A Concise Reference to Structural and Dynamical Properties of Elliptical Galaxies," *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol. 22, pp. 118–127, 2005.

[136] L. Ciotti and J. P. Ostriker, "Cooling Flows and Quasar Feedback in Elliptical Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 665, p. 1038, 2007.

[137] W. G. Mathews and F. Brighenti, "Hot Gas in and around Elliptical Galaxies," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 41, p. 191, 2003.

[138] E. F. Bell and et al., "Nearly Passive Evolution of Massive Galaxies Since z ≈ 1," *Astrophysical Journal*, vol. 608, p. 752, 2004.

[139] T. Treu and L. V. E. Koopmans, "Massive Early-Type Galaxies and Dark Matter," *Astrophysical Journal*, vol. 611, p. 739, 2004.

[140] M. Cappellari and et al., "The SAURON Project – IV. The Mass-to-Light Ratio, the Virial Mass Estimator, and the Fundamental Plane of Elliptical Galaxies," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 366, p. 1126, 2006.

[141] A. Toomre and J. Toomre, "Galactic Bridges and Tails," *Astrophysical Journal*, vol. 178, p. 623, 1972.

[142] J. E. Barnes and L. Hernquist, "Transformations of Galaxies. II. Gasdynamics in Merging Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 471, p. 115, 1996.

www.Journalofcosmointel.com

[143] T. Naab and A. Burkert, "Formation of Early-Type Galaxies by Merging of Disk Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 597, p. 893, 2003.

[144] A. J. Romanowsky and S. M. Fall, "Angular Momentum and Galaxy Formation Revisited," *Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 203, p. 17, 2012.

[145] D. A. Hunter and J. S. Gallagher, "Star Formation Properties of Irregular Galaxies," *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 98, p. 5, 1986.

[146] L. van Zee, "Kinematics and Star Formation in Irregular Galaxies," *Astronomical Journal*, vol. 121, p. 2003, 2001.

[147] E. Tolstoy, V. Hill, and M. Tosi, "Star-Formation Histories, Abundances, and Kinematics of Dwarf Galaxies," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 47, p. 371, 2009.

[148] F. Walter *et al.*, "THINGS: The H I Nearby Galaxy Survey," *Astronomical Journal*, vol. 136, p. 2563, 2008, doi: 10.1088/0004-6256/136/6/2563.

[149] R. C. Kennicutt, "The Global Schmidt Law in Star-forming Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 498, p. 541, 1998.

[150] S. Côté, K. C. Freeman, C. Carignan, P. J. Quinn, and A. Babul, "The Various Kinematics of Dwarf Irregular Galaxies in Nearby Groups and Their Dark Matter Distributions," *Astronomical Journal*, vol. 120, p. 3027, 2000, doi: 10.1086/316841.

[151] W. J. G. de Blok and et al., "High-Resolution Rotation Curves of Low Surface Brightness Galaxies," *Astrophysical Journal*, vol. 552, p. L23, 2001.

[152] F. Governato and et al., "Bulgeless Dwarf Galaxies and Dark Matter Cores from Supernova-driven Outflows," *Nature*, vol. 463, p. 203, 2010.

[153] L. Mayer and et al., "Tidal Stirring and the Origin of Dwarf Spheroidals," *Astrophysical Journal*, vol. 559, p. 754, 2001.

[154] P. F. Hopkins and et al., "Mergers, Starbursts, and the Morphology of Galaxies," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 430, p. 1901, 2013.

[155] D. A. Hunter, "Star Formation in Irregular Galaxies," *Science (1979).*, vol. 243, no. 4893, p. 1557, 1989, doi: 10.1126/science.243.4893.1557.

[156] J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*. Wiley, 1999.

[157] R. Durrer and A. Neronov, "Cosmological Magnetic Fields: Their Generation, Evolution, and Observation," *Astronomy and Astrophysics Review*, 2013.

[158] R. M. Crutcher, "Magnetic Fields in Molecular Clouds," *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 50, pp. 29–63, 2012.

[159] R. E. Pudritz and T. P. Ray, "The Role of Magnetic Fields in Protostellar Outflows and Jets," *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, vol. 6, p. 54, 2019.

[160] R. Beck, "Magnetic Fields in Galaxies," *Space Sci. Rev.*, vol. 99, pp. 243–260, 2001.

[161] L. F. S. Rodrigues, "Evolution of Galactic Magnetic Fields," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 483, p. 2424, 2019.

[162] E. G. Zweibel, "Cosmic-ray Magnetohydrodynamics," *Phys. Plasmas*, vol. 20, p. 055501, 2013.

[163] D. Ryu, D. R. G. Schleicher, and L. M. Widrow, "The Origin and Amplification of Magnetic Fields in the Universe," *Space Sci. Rev.*, vol. 166, pp. 1–35, 2012.

[164] F. Govoni and L. Feretti, "Magnetic Fields in Clusters of Galaxies," *International Journal of Modern Physics D*, vol. 13, pp. 1549–1594, 2004.

[165] R. Kulsrud and E. G. Zweibel, "The Origin of Astrophysical Magnetic Fields," *Reports on Progress in Physics*, vol. 71, p. 046901, 2008.

[166] L. M. Widrow, "Origin of Galactic and Extragalactic Magnetic Fields," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 74, pp. 775–823, 2002.

[167] A. M. Beck, "On the Origin and Growth of Cosmic Magnetic Fields," *Astrophys. Space Sci.*, vol. 354, pp. 89–102, 2014.

[168] R. Durrer and A. Neronov, "Cosmological Magnetic Fields: Their Generation, Evolution and Observation," *Astronomy & Astrophysics Review*, vol. 21, no. 62, 2013.

[169] K. Subramanian, "The Origin, Evolution and Signatures of Primordial Magnetic Fields," *Reports on Progress in Physics*, vol. 79, no. 7, p. 076901, 2016.

[170] R. Kulsrud and E. G. Zweibel, "The Origin of Astrophysical Magnetic Fields," *Reports on Progress in Physics*, vol. 71, p. 046901, 2008.

[171] A. Brandenburg and K. Subramanian, "Astrophysical Magnetic Fields and Nonlinear Dynamo Theory," *Phys. Rep.*, vol. 417, no. 1–4, pp. 1–209, 2005.

[172] D. Ryu, H. Kang, and P. Biermann, "Cosmic Magnetic Fields in Large-scale Structure," *Science (1979).*, 2008.

[173] A. M. Beck, "On the Origin and Growth of Cosmic Magnetic Fields," *Astrophys. Space Sci.*, vol. 354, pp. 89–102, 2013.

[174] L. M. Widrow, "Origin of Galactic and Extragalactic Magnetic Fields," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 74, pp. 775–823, 2002.

[175] R. Durrer and A. Neronov, "Cosmological Magnetic Fields: Their Generation, Evolution and Observation," *Astronomy & Astrophysics Review*, vol. 21, p. 62, 2013, doi: 10.1007/s00159-013-0062-7.

www.Journalofcosmointel.com

[176] R. M. Kulsrud and E. G. Zweibel, "The Origin of Astrophysical Magnetic Fields," *Reports on Progress in Physics*, vol. 71, no. 4, p. 046901, 2008, doi: 10.1088/0034-4885/71/4/046901.

[177] J. J. Sakurai and J. Napolitano, *Modern Quantum Mechanics*. San Francisco: Addison-Wesley, 2011.

[178] D. J. Griffiths and D. F. Schroeter, *Introduction to Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

[179] W. Gerlach and O. Stern, "Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld," *Zeitschrift für Physik*, vol. 9, pp. 349–352, 1922, doi: 10.1007/BF01326983.

[180] E. P. Wigner, "On Unitary Representations of the Inhomogeneous Lorentz Group," *Ann. Math.*, vol. 40, no. 1, pp. 149–204, 1939, doi: 10.2307/1968551.

[181] S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields, Volume 1: Foundations*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

[182] P. A. M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press, 1958.

[183] S. Schael, A. Collaboration, D. Collaboration, L. Collaboration, and O. Collaboration, "Electroweak Measurements in Electron-Positron Collisions at W-Boson-Pair Energies at LEP," CERN, Geneva, 2013. [Online]. Available: https://cds.cern.ch/record/1516169

[184] H. Abramowicz and Z. Collaboration, "Limits on the effective quark radius from inclusive ep scattering at HERA," *Physics Letters B*, vol. 757, pp. 468–472, 2016, doi: 10.1016/j.physletb.2016.04.013.

[185] C. T. Sebens, "How Electrons Spin," *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol. 68, pp. 40–50, 2019, doi: 10.1016/j.shpsb.2019.05.002.

[186] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, "The classical theory of fields, Butterworth-Heinemann," 1975, *Oxford*.

[187] P. Touboul and M. Collaboration, "MICROSCOPE Mission: Final Results of the Test of the Equivalence Principle," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 129, no. 12, p. 121102, 2022, doi: 10.1103/PhysRevLett.129.121102.

[188] H. Goldstein, C. Poole, and J. Safko, *Classical Mechanics*, 3rd ed. San Francisco: Addison-Wesley, 2002.

[189] S. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*. Addison-Wesley, 2004.

[190] J. J. Sakurai and J. Napolitano, *Modern Quantum Mechanics*, 2nd ed. Addison-Wesley, 2011.

[191] M. E. Peskin and D. V Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*. Addison-Wesley, 1995.

[192] M. E. Peskin and D. V Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*. Boulder: Westview Press, 1995.

[193] F. Englert and R. Brout, "Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 13, pp. 321–323, 1964, doi: 10.1103/PhysRevLett.13.321.

[194] P. W. Higgs, “Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 13, pp. 508–509, 1964, doi: 10.1103/PhysRevLett.13.508.

[195] P. D. Group, “Review of Particle Physics: Higgs Boson,” *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2024, [Online]. Available: https://pdg.lbl.gov

[196] F. Wilczek, “Mass Without Mass I: Most of Matter,” *Phys. Today*, vol. 52, no. 11, pp. 11–13, 1999, doi: 10.1063/1.882879.

[197] Particle Data Group, “Review of Particle Physics,” *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 2024, [Online]. Available: https://pdg.lbl.gov/

www.Journalofcosmointel.com

T-CONSCIOUSNESS
COSMOLOGY
Mohammad Ali Taheri

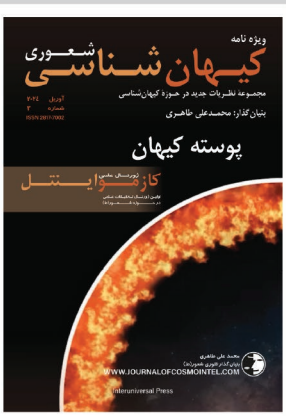
ویژه‌نامه‌های منتشر شده‌ی کیهان شناسی شعوری



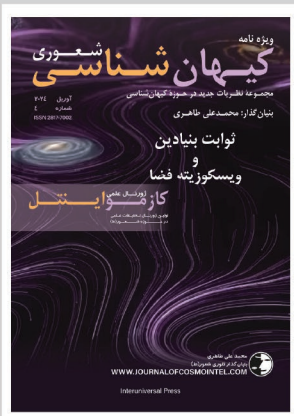
شماره ۱:
کیهان وارونه



شماره ۲:
سیاهچاله‌ی کیهانی



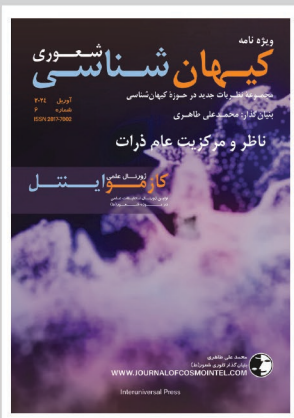
شماره ۳:
پوسته‌ی کیهان



شماره ۴:
ثوابت بنیادین و
ویسکوزیته‌ی فضا



شماره ۵:
فضا گرانش - زمان



شماره ۶:
ناظر و مرکزیت
عام ذرات

T-CONSCIOUSNESS
COSMOLOGY

Mohammad Ali Taheri

کیـــهان دوار طاهـــری

از نخستین سال‌های شـکل‌گیری کیـهان‌شـناسی نوین تاکنون، یکی از بنیـادی‌ترین پرسش‌های دانشمندان این بوده است که «آیا کیـهان در مقیـاس‌های بـزرگ دارای چرخـش است یا خیـر؟» در طول دهه‌های گذشته، مدل‌های گوناگونی از جهان چرخشی پیشنهاد شده‌اند؛ از راه‌حل مشهور گودل تا سناریوهای جدید مبتنی بر چرخش کیهان اولیه.

در میان این دیدگاه‌ها، «کیهان دوار طاهری» با رویکردی متفاوت و با تکیه بر «مدل کیهان کروی» و مطرح‌کردن این پرسش اساسی که «اگر چرخش، ویژگی مشترک اجرام و امواج در سراسر جهان است، چرا نباید خودِ کیهان به عنوان سیستمی که همه‌ی آن‌ها را در بر گرفته، دارای چرخشی فراگیر باشد؟» بیان می‌کند جهان از سیاهچاله‌ی کیهانی‌ای که از همان ابتدا دارای چرخش همه‌محوری بوده متولد شده است و چرخش آن نه به عنوان ویژگی فرعی، بلکه یکی از ارکان بنیادین تحول آن به شمار می‌رود و ما هم‌اکنون در این سیاه‌چاله‌ی انبساط‌یافته زندگی می‌کنیم.

همچنین این نظریه، پیدایش میدان‌های مغناطیسی فراگیر، دینامیک اجرام در مقیاس‌های بزرگ، برخی ناهنجاری‌های مشاهده‌شده در قطبش تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی و در نهایت، الگوهای عجیب آماری توزیع کهکشان‌ها را در قالب چهارچوبی واحد توضیح می‌دهد و پیش‌بینی‌هایی ارائه می‌کند که می‌توان آن‌ها را با داده‌های رصدی مورد ارزیابی قرار داد. در واقع، چرخش کیهان به عنوان سیستم کلان، عامل بنیادینی است که بر دینامیک چرخشی همه‌ی اجزای آن از جمله اجرام، امواج و حتی خود فضا، تاثیر می‌گذارد.

لینک مشاهده مستند
کیـهان دوار طاهـــری

Interuniversal Press
WWW.JOURNALOFCOSMOINTEL.COM

ISSN 2817-7002