بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک
(گرایش نظری)

اترکتورها در تئوری اسکالر- تانسور

از
آسیه حسین زاده شهابی

استاد راهنما
دکتر حسین فرج الهی

استاد مشاور
امین صالحی

اسفند ۱۳۹۰

چکیده

اترکتورها در تئوری اسکالر- تانسور

آسیه حسین زاده شهابی

در این پایان نامه قصد داریم گرانش تصحیح یافته $f(R)$ که به عنوان جایگزینی برای نظریه ی نسبیت عام اینشتین بکار می رود و همچنین نظریه ی برنز- دیک رقیبی برای نظریه نسبیت عام اینشتین به اختصار شرح می دهیم. در بخشی از این پایان نامه به معرفی برخی از مشاهدات کیهانی خواهیم پرداخت. همچنین یک جفت پارامتر جدید برای انرژی تاریک به نام $state\ finder$ $\{r, s\}$ معرفی می کنیم و سپس نشان خواهیم داد برای مدل های مختلف انرژی تاریک پارامتر $state\ finder$ به چه صورتی است. یکی از اهداف این پایان نامه، مطالعه کیهان شناسی FRW برای نظریه تانسور- اسکالر دوتایی از گرانش، که دو میدان اسکالرجفت شده ناجزئی مطابق هندسه هستند و می توان میدان های فانتوم وکواینتسنس را مورد بررسی قرار داد. در معادلات کیهان شناسی یک سری پارامترها هستند که نقش عمده ای در تعیین دینامیک جهان و شتاب کنونی انبساط جهان دارند. برای بررسی حل های پایداری و اترکتور در فضای فاز با روش های مختلف، بهترین مقدار این پارامترها که با داده های مشاهداتی همخوانی داشته باشند را انتخاب می کنیم. یکی دیگر از کارهایی که در این پایان نامه انجام می شود، دینامیک تانسور- اسکالر کیهان شناسی در حضور میدان تاکیونی است. که تابع های میدان اسکالر به دو شکل توانی و نمایی هستند.

واژه های کلیدی: مشاهدات کیهانی، انرژی تاریک، کیهان شناسی FRW ، نظریه تانسور- اسکالر، جفت شدگی ناجزئی، پایداری، اترکتور، میدان تاکیونی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده فارسی ..... د

چکیده انگلیسی ..... ذ

مقدمه ۱

۱ نظریه تانسور- اسکالر در گرانش چیست؟

۱.۱ مقدمه ۱۰

۲.۱ تانسورها ۱۰

۳.۱ تانسورهای اینشتین و ریچی ۱۱

۴.۱ تانسور انرژی میدان الکترومغناطیسی ۱۲

۵.۱ گرانش تصحیح یافته $f(R)$ ۱۳

۶.۱ معادلات میدان در گرانش تصحیح یافته $f(R)$ ۱۴

۷.۱ بررسی چند مدل گرانش تصحیح یافته $f(R)$ برای توضیح تورم کیهانی وانرژی تاریک ۱۶

۸.۱ نظریه برنز-دیک ۲۲

۹.۱ خلاصه ۲۶

۲ مشاهدات کیهانی

۱.۲ مقدمه ۲۸

۲.۲ قید روی مدل انبساط از مشاهدات کیهانی ۲۹

۳.۲ مدل و روش بررسی قید روی مدل انبساط از مشاهدات کیهانی :$SNIa$، BAO، CMB و OHD ۳۰

۱. ۳.۲ داده مشاهده ای ابرنواختر نوع Ia ۳۲

۲. ۳.۲ داده مشاهده ای نوسان صوتی باریون(BAO) ۳۳

۳. ۳.۲ داده مشاهده ای میکروموج های زمینه کیهان(CMB) ۳۴

۴. ۳.۲ داده مشاهده ای هابل(OHD) ۳۵

۴.۲ بررسی فضای فاز ۳۵

۵.۲ بررسی رفتار خطی سیستم حول نقاط تعادل ۳۷

۶.۲ بررسی فضای فازغیر خطی و رقابت کردن انواعشان ۴۲

۷.۲ خلاصه ۴۵

۳ پایداری

۱.۳ مقدمه ۴۷

۲.۳ معادله فریدمن و پایداری از تورم مشتق بالاترگرانش ۴۷

۳.۳ پایداری از کیهان شناسی FRW در گرانش مرتبه بالاتر ۵۱

۴.۳ پتانسیل های نمایی و حل اترکتورها از کیهان شناسی Dilatonic ۵۸

۱.۴.۳ نقاط بحرانی وحل اترکتور ۶۰

۵.۳ کیهان شناسی با پتانسیل های مثبت و منفی ۶۵

۶.۳ خلاصه ۷۰

۴ $statefinder$

۱.۴ مقدمه ۷۲

۲.۴ تشخیص $state\ finder$ برای مدل برهمکنش از انرژی تاریک هولوگرافیک ۷۳

۳.۴ کشف انرژی تاریک با استفاده از $state\ finder$ ۷۷

۴.۴ جهان رو به پیدایش و مدل فانتوم تاکیون ۷۹

۵.۴ خلاصه ۸۱

۵ دینامیک گرانش تانسور- اسکالر جفت شده کیهان شناسی

۱.۵ مقدمه ۸۳

۲.۵ بررسی مدل ۸۴

۳.۵ اختلال و تحلیل پایداری ۸۵

۴.۵ آزمون کیهان شناسی: مدول فاصله، $\mu(z)$ ۸۷

۵.۵ پایداری نقاط بحرانی و فضای فاز ۸۹

۶.۵ تقاطع فانتوم ۹۱

۷.۵ خلاصه ۹۲

۶ قیدهای مشاهده ای در نظریه تانسور-اسکالر با پتانسیل تاکیونی

۱.۶ مقدمه ۹۴

۲.۶ بررسی مدل ۹۵

۳.۶ مشاهده ی بهترین برازش با بکارگرفتن مدول فاصله، $\mu(z)$ ۹۸

۴.۶ پارامتر های کیهان شناسی ۹۹

۵.۶ خلاصه ۱۰۳

نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۶

مراجع ۱۰۸

فهرست جدولها

(۱) جدول (۱.۲) ۳۸

(۲) جدول (۱.۳) ۶۲

(۳) جدول (۲.۳) ۶۲

(۴) جدول(۳.۳) ۷۰

(۵) جدول (۱.۴) ۷۸

(۶) جدول (۱.۵) ۹۰

(۷) جدول (۱.۶) ۹۸

فهرست شکلها

(۱) شکل (۱.۲) ۳۹

(۲) شکل (۲.۲) ۳۹

(۳) شکل (۳.۲) ۴۰

(۴) شکل (۴.۲) ۴۰

(۵) شکل (۵.۲) ۴۱

(۶) شکل (۶.۲) ۴۱

(۷) شکل (۱.۳) ۶۸

(۸) شکل (۱.۵) ۸۸

(۹) شکل (۲.۵) ۸۸

(۱۰) شکل (۳.۵) ۸۹

(۱۱) شکل (۴.۵) ۹۰

(۱۲) شکل (۵.۵) ۹۱

(۱۳) شکل (۱.۶) ۱۰۰

(۱۴) شکل (۲.۶) ۱۰۰

(۱۵) شکل (۳.۶) ۱۰۰

(۱۶) شکل (۴.۶) ۱۰۱

(۱۷) شکل (۵.۶) ۱۰۱

(۱۸) شکل (۶.۶) ۱۰۲

(۱۹) شکل (۷.۶) ۱۰۴

(۲۰) شکل (۸.۶) ۱۰۵

(۲۱) شکل (۹.۶) ۱۰۵

تقدیم به

پدر و مادر فداکار و مهربانم
و همسر عزیزم، حسین

قدردانی و تشکر

سپاس و تعظیم بر پروردگار کیهان

شایسته است تا از تمام کسانی که مرا در انجام این رساله یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم. بدین‌منظور مراتب امتنان و سپاس و علاقه خویش را حضور استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر حسین فرج‌الهی که با راهنمایی‌های راهگشا و دلسوزانه‌اش روشنگر راهم بودند، صمیمانه سپاسگزارم.

ازآقای امین صالحی به خاطر پذیرش زحمت مشاوره ی این پایان نامه تشکر می نمایم. زیرا که بدون کمک ایشان انجام این پایان نامه برایم غیرممکن بود. از ایشان بخاطر تمام آموزش ها، مشورت ها و صبوریشان ممنون و سپاسگزارم.

مراتب قدردانی خود را از نظرات ارزشمند اساتید داور این پایان نامه، بزرگواران، جناب دکتر باطبی و جناب دکتر عزیزپور که در بازخوانی این رساله و داوری جلسه دفاعیه قبول زحمت فرمودند، اعلام می کنم. همچنین از نماینده ی محترم تحصیلات تکمیلی، جناب دکتر مهدوی فر کمال سپاس را دارم. وجود ایشان باعث اعتماد به نفس بیشتر در ادامه ی مسیر بود.

از پدر و مادرم که همواره در طول دوران تحصیل مشوق من بودند و با دعاهای شان مرا به سوی آینده بدرقه می کردند، دست بوس و سپاسگزارم.

از خانواده محترم همسرم نیز که در طول دوران تحصیل همواره با آغوش باز پذیرای ما بودند کمال تشکر دارم.

از برادران و خواهران عزیزم که وجودشان مایه دلگرمی و صفایشان مایه آرامش من است سپاسگزارم.

از تمامی دوستان عزیزم که در این مدت با دلگرمی هایشان به من انرژی دادند نیز کمال قدردانی را دارم.

نمی دانم چگونه می توانم از همسر عزیزم تشکر کنم، او که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمود تا با حمایت همه جانبه در محیطی مطلوب تحصیل کنم و نیز این پایان نامه را به نحو احسن به اتمام برسانم. تنها جمله ای که در حق فداکاری ها و زحمات-اش می توانم بگویم این است که، بی نهایت سپاسگزارم.

مقدمه

هیچ شاخه ای از علوم نمی تواند مدعی داشتن زمینه ای جالب تر از کیهان شناسی[1] شود، زیرا کیهان شناسی علم مطالعه ی عالم است، و تعریف عالم همه چیز را در بر می گیرد. نجوم کار خود را با مطالعه ی ویژگیهای سیارات و ستارگان آغاز کرد، و به تدریج گسترش یافت و به مرزهای دستگاه راه شیری رسید، که کهکشان مربوط به ماست. روشهای نجومی جدید موضوع را فراتر از کهکشان به اجسام دوردستی گسترش داده اند که نور آنها پس از بیلیونها سال به ما می رسد.

کیهان شناسی بیشتر به جهان فرا کهکشانی می پردازد. این یک بررسی ساختار بزرگ مقیاس عالم است که تا فاصله های بیلیونها سال نوری گسترش می یابد. مطالعه ی کلی رفتار دینامیکی و فیزیکی بیلیونها کهکشان که در فاصله های وسیعی پراکنده شده اند و تحول این دستگاه عظیم در مدت چند بیلیون سال.

در نگاه اول شاید این بررسی کاری جاه طلبانه به نظر آید. آیا ابزارهای رصدی ما به اندازه ی کافی خوب هستند تا اطلاعات علمی کافی درباره ی ساختار بزرگ مقیاس عالم را در اختیارمان بگذارند؟ آیا شناخت ما از قوانین طبیعت به اندازه کافی پیشرفته و پخته هست که این اطلاعات را تفسیر کند؟ می توان با اظهارنظری از اینشتین به پرسشها پاسخ داد:((غیر قابل درکترین چیز درباره ی عالم قابل فهم بودن آن است.)) اگر چه روشهای مشاهده ی ما کامل نیستند و شناخت ما از قوانین فیزیکی هنوز جای پیشرفت بسیار دارد، اما اکنون در موقعیتی هستیم که از آنچه درباره ی عالم مشاهده می کنیم برداشتی داشته باشیم و می توان مطالعه ی کیهان شناسی را به عنوان شاخه ای از علوم آغاز کرد. یعنی ساختاربزرگ مقیاس عالم را دستگاهی فیزیکی در نظر می گیریم، که تابع قانونهای شناخته شده ی فیزیک است، و روال معمول علم را دنبال می کنیم، یعنی مشاهده ی جنبه های مربوط به این بررسی و سپس کوشش در جهت تفسیر آنها و پیش بینی هایی که بتوان آنها را با مشاهدهای بیشتر آزمود.

با وجود این، موفقیت ما در تفسیر عالم از طریق مدل های فیزیکی نباید باعث شود که متوجه عظمت و عمق پرسشهای بنیادی مطرح شده نشویم مدلها، دربهترین شرایط، فقط تقریب اولی از واقعیت را نشان می دهند، و می توانند کاملاًمبهم باشند[۱].

[1] Cosmology

نسبیت عام[۲] و نظریه کوانتوم[۳]

آلبرت اینشتین[۴] بنیانگذار نظریه های نسبیت خاص و عام است. او از این اصل موضوع آغاز کرد که قوانین علم برای همه ناظرانی که به طور آزاد در حرکت اند باید یکسان باشد. بویژه آنان باید صرفنظر از اینکه سرعت حرکتشان چقدر است، سرعت نور را یکسان اندازه گیری کنند. سرعت نور از حرکت آنان مستقل است و در همه جهات یکسان می باشد. اصل موضوع اینشتین مبنی بر آنکه قوانین علم برای همه ناظرانی که به طور آزاد در حرکت اند باید یکسان است، بنیان نظریه نسبیت بود. اصطلاح نسبیت متضمن آن بود که تنها حرکت نسبی دارای اهمیت است. بسیاری از مردمان نسبیت را مفهومی بی سامان یافتند. آنان می پرسیدند آیا نسبیت متضمن نسبی بودن همه چیز است،آیا هیچ استاندارد اخلاقی مطلقی وجود ندارد؟

یک نتیجه بسیار مهم نسبیت رابطه میان جرم و انرژی است. اصل موضوع اینشتین که سرعت نور باید برای همه یکسان باشد متضمن آن بود که هیچ چیز تندتر از نور نمی تواند حرکت کند. در واقع هنگامی که برای شتاب بخشیدن به هر چیزی، خواه یک ذره و خواه یک فضاپیما، انرژی بکار می بریم، جرم آن افزایش می یابد و در نتیجه شتاب دادن بیشتر به آن دشوارتر می گردد. شتاب بخشیدن به یک ذره چندان که سرعت آن به سرعت نور برسد امکان پذیر نیست، چراکه باید بی نهایت انرژی مصرف شود. هرچند نظریه نسبیت با قوانین حاکم بر الکتریسیته و مغناطیس همخوانی داشت، اما با قوانین گرانش نیوتن همساز نبود. این قانون بر آن بود که اگر توزیع ماده در ناحیه ای از فضا تغییر کند، بی درنگ در هر نقطه دیگر جهان، تغییر در میدان گرانشی احساس خواهد شد. این نه تنها به معنای فرستادن سیگنال هایی تندتر از نور است، بلکه برای تعریف مفهوم بی درنگ، می بایست، همچنین وجود زمان جهانی را، که نسبیت به نفع زمان شخصی فرو نهاده بود، پذیرفت. اینشتین دریافت که اگر هندسه فضا- زمان خمیده، و نه آنچنان که تا آن زمان می پنداشتند تخت، باشد هم ارزی مؤثر واقع خواهد گردید. اندیشه او آن بود که جرم و انرژی، فضا- زمان[۵] را به گونه ای که می بایست تعیین گردد، پیچ و تاب می دهد. چیزهایی مانند سیبها و سیاره ها می کوشند تا از میان فضا- زمان در طول خطوط راست حرکت کنند، اما به نظر می رسد مسیرشان توسط یک میدان گرانشی خمیده شده است چراکه فضا- زمان خمیده است. اینشتین به کمک دوستش مارسل گروسمان[۶] نظریه فضاها و رویه های خمیده را که پیشتر توسط جرج فردریش ریمان[۷]

---

۲ General relativity
۳ Quantum theory
۴ Albert Einstein
۵ Space-time
۶ Marcel Grossmann
۷ Georg friedrich Riemann

گسترش یافته بود، مطالعه کرد. اما ریمان تنها به فضای خمیده می اندیشید. زمانی سپری شد تا اینشتین دریابد که این فضا- زمان است که خمیده است. اینشتین و گروسمان در سال ۱۹۱۳ بیان داشتند که آنچه ما نیروهای گرانشی می نامیم صرفاً نمادی از واقعیت

فضا- زمان خمیده است. این اندیشه گرانش را به خمیدگی فضا- زمان نسبت داد. نظریه نوین فضا- زمان خمیده، نسبیت عام نام گرفت تا از نظریه نخستین که گرانش را در نظر نمی گرفت و نسبیت خاص نامیده می شد، متمایز شود. این امر به مسئله ای بزرگ انجامید که در صف نخست فیزیک در سده بیست و یکم بر جای ماند. جهان سرشار از ماده است و ماده فضا- زمان را آنچنان پیچ و تاب می دهد که اجسام بر یکدیگر سقوط می کند. این مشاهدات آشکار ساخت که کهکشانها هر چه دورتر از ما باشند، با سرعت بیشتری از ما دور می شوند. جهان در حال گسترش است و فاصله میان دو کهکشان پیوسته با گذشت زمان بیشتر می شود. این کشف نیاز به یک ثابت کیهانی، برای داشتن پاسخ و جوابی ایستا برای جهان، را از میان برداشت. با این همه اگر کهکشانها اینک از یکدیگر دور می شوند، بدان معناست که باید در گذشته به یکدیگر نزدیک بوده باشند. حدود پانزده میلیارد سال پیش، همگی روی یکدیگر سوار بودند و چگالی بسیار زیاد بود. این حالت توسط کشیش کاتولیک جرج لومتر[۸]((اتم بدوی)) نام گرفت. او نخستین کسی بود که در باره سرچشمه جهان، که اینک انفجار بزرگ[۹] نام دارد، به کنکاش پرداخت.

اینشتین از پذیرش پیش بینی پایان زمان برای ستارگان توده ای، توسط نسبیت عام، حتی ناخشنودتر بود. پایان زمان یعنی هنگامی که این ستارگان به پایان عمر خود می رسند و دیگر گرمای لازم را برای جبران نیروی گرانش خود، که در راستای کوچکتر کردن آنها عمل می کند، ندارد. او می پنداشت که چنین ستارگانی به یک حالت پایانی خواهند رسید، اما اینک می دانیم که پیکربندی های حالت پایانی برای ستارگانی با دو برابر جرم خورشید وجود ندارد. چنین ستارگانی چندان کوچک و کوچکتر خواهند شد تا سیاهچاله شوند، یعنی ناحیه ای بسیار خمیده از فضا- زمان که نور را یارای گریز از آن نیست. نسبیت عام در انفجار بزرگ از آن رو در هم می شکست که با نظریه کوانتومی، دیگر انقلاب مفهومی بزرگ آغاز سده بیستم، سازگاری نداشت. نخستین گامها به سوی نظریه کوانتومی در ۱۹۰۰ برداشته شد. در آن هنگام ماکس پلانک[۱۰] در یافت که پرتو افشانی از جسم داغ، زمانی توضیح پذیر که نور در بسته های گسسته ای به نام کوانتا گسیل یا جذب گردد. اینشتین نشان داد که فرضیه کوانتومی پلانک می تواند آنچه را که اثر فتو الکتریک خوانده می شود توضیح دهد. اثر فتو الکتریک به بیرون آمدن الکترون از برخی فلزات که در معرض نور قرار می گیرند می پردازد[۲].

---

[۸] George Lemaitre
[۹] Big Bang
[۱۰] Max Planck

اترکتور

اترکتور مجموعه ای از حالتها(نقطه هایی در فضای فاز) تحت دینامیک ثابت است، که بسوی حالتهایی در یک حوزه کششی معین به یک خمش در مسیر تحول دینامیک نزدیک می شود. اترکتورها مانند یک واحد کوچک نمی توانند خودش را به دو یا بیشتر اترکتورها در یک حوزه کششی مشخص تجزیه کنند، تعریف می شود. این محدودیت ضروری است، زیرا ممکن است یک سیستم دینامیکی چندین اترکتور در یک حوزه کششی داشته باشد. سیستم های قدیمی دارای اترکتور نمی باشند، از اینرو دارای حرکتی متناوب هستند.

برای سیستم های دینامیکی پراکنده، اترکتورها برای کاهش حجم نمایی مقدار صفر در فضای فاز n بعدی دارند. یک نقطه ثابت پایدار بوسیله یک ناحیه پراکنده ساز احاطه می شود که اترکتورها مانند حفره معلوم می شود. در حقیقت اترکتورهای منظم در اطراف یک مسیر دایره ای یک رفتار مجانبی دارند. اترکتورهای خارجی[۱۱]، منطقه کراندار از فضای فاز هستند که مقدار صفر در فضای فاز جای می دهند. مسیرهایی بدون اترکتور خارجی بطور تصادفی در اطراف پدیدار می شوند.

نظریات تانسور- اسکالر[۱۲]

در گرانش[۱۳]، نظریات تانسور- اسکالر از نسبیت عام اینشتین متفاوتند. چون نه تنها گرانش را با استاده از متریک فضا- زمان بلکه با استفاده از یک میدان اسکالر هم شرح می دهد که هم به ماده و هم به هندسه[۱۴] فضا- زمان جفت می شود. این نظریه ها اخیراً محبوبیت زیادی به دست آورده اند چون به عنوان حد انرژی پایین در بسیاری از نظریات گرانش کوانتومی بر می خیزد، مثل نظریات کلوزا-کلین[۱۵] [۳] و نظریات ریسمان ابرتقارنی[۱۶] [۴]. گرانش تانسور- اسکالر همچنین برای مدل های تورم[۱۷] کیهانی ((توسعه یافته[۱۸]))[۵] اهمیت دارد که در آنها میدان اسکالر یک پایان طبیعی برای دوره ی تورم از طریق تشکیل ((حباب ها[۱۹]))

---

[۱۱] Attractor Srtange
[۱۲] Scalar- Tensor theories
[۱۳] Gravity
[۱۴] geometry
[۱۵] Kaluza-Klein theories
[۱۶] Supersymetric string theories
[۱۷] Inflation
[۱۸] extended
[۱۹] bubles

ایجاد می کند. بعلاوه نوسان تورم- القایی[۲۰] از میدان گرانشی دارای جرم، به عنوان نامزدی برای جرم گمشده[۲۱]، که نیاز است نزدیک جهان باشد، بررسی شده اند[۶].

نظریات تانسور- اسکالر شامل پارامترهای پیشنهادی است که جفت شدن بین میدان اسکالر، ماده و متریک فضا- زمان را شرح می دهند. برای مقادیر معین از این پارامترها، بسط های فوق نیوتنی از نظریات تانسور-اسکالر با GR سازگار است. بنابراین آزمایشات و مشاهدات سیستم شمسی،گرانش تانسور- اسکالر را از توافق با GR ممنوع نمی کنند و تنها پارامتر های جفت شدگی تانسور- اسکالر را محدود می کنند[۷]. بسیاری از نظریات تانسور اسکالر که در جهان اولیه به صورت قابل توجهی از GR متفاوت هستند، در جهان کنونی تقریباً غیر قابل تشخیص از GR می باشند. از این رو مدارک آزمایشی که GR را حمایت می کنند، نیاز نیست که به عنوان بحثی مقابل نظریات تانسور- اسکالر نگریسته شوند[۸].

در مثال های میدان قوی، نظریات تانسور- اسکالر و GR، نتایج متفاوتی می دهند. یکی از این مثال ها تولید امواج گرانشی است. چون نظریات تانسور- اسکالر، یک میدان اسکالر را در گیر می کنند، منابع کروی مانند ابرنواخترها را برای تابش تک قطبی و سیستم های دوتایی را برای گسیل دو قطبی مجاز می کنند. در مقابل،GR تنها مدل هایی با وابستگی چهار قطبی و بالاتر اجازه می دهند. حالت قطبیدگی اضافی تنها تفاوت شکل امواج گرانشی از GR نیست بلکه همچنین انرژی کل را که منبع داده شده گسیل می شود از مقدار پیش بینی شده در GR افزایش می دهد.

مثال میدان قوی دیگری که در آن میدان اسکالر ممکن است مهم باشد، تشکیل سیاه چاله ها[۲۲] و تکینگی ها[۲۳] در طول فروپاشی گرانشی است. گرانش تانسور- اسکالر، جواب های بیشتری را نسبت به GR تصدیق می کند، چون درجات آزادی بیشتری دارد.

بعضی از این جواب ها ویژگی نامطلوبی دارند همچون تکینگی عریان. به جای اینکه به راحتی این جواب ها را نادیده بگیریم، سعی می کنیم تعیین کنیم که آیا می توانند به طور فیزیکی، داده های اولیه بدون تکینگی تولید کنند یا نه. اگر بتوانند، یک شار اساسی در پیش بینی توان گرانش تانسور- اسکالر آشکار می کنند. در GR تصور می شود(اثبات نشده است[۹]) همه ی تکینگی های فیزکی درون افق رویداد پنهانند، بنابراین هندسه ی فضا- زمان، خارج از این ناحیه،بدون تگینگی و قابل پیش بینی است.

---

[۲۰] Inflation-induced
[۲۱] Missing mass
[۲۲] Black Holes
[۲۳] Singularity

انبساط عالم[۲۴]

در سالهای ۱۹۲۰ هنگامی که ستاره شناسان طیف نوری ستارگان کهکشان دیگر را بررسی می کردند، چیزی بس عجیب نظرشان را جلب کرد: مجموعه ی رنگهایی که در طیف نوری آنان حذف شده بود، همانند ستارگان کهکشان ما بود، اما همگی بطور نسبی بمقدار یکسانی به سوی انتهای سرخ طیف جابجا شده بودند. برای پی بردن به نتایج ضمنی این پدیده، نخست باید با ((اثر دوپلر)) آشنا شویم. نور مرئی از نوسان ها یا موج هایی در میدان الکترومغناطیس تشکیل می شود. بسامد نور بسیار زیاد است: از چهار تا هفت صد میلیون میلیون موج در ثانیه. بسامدهای مختلف، به دیده ی ما بصورت رنگهای مختلف ظاهر می شود. پایینترین بسامد در انتهای سرخ طیف نوری و بالاترین بسامد در انتهای آبی پدیدار می گردد. حالا تصور کنید منبع نوری مثلاً یک ستاره در فاصله ی ثابتی از ما قرار دارد و نوری با بسامد ثابت بسوی ما گسیل می کند. بدیهی است، بسامد امواج دریافتی با بسامد امواج ارسالی برابر است. حالا فرض کنید منبع نور بسوی ما شروع بحرکت کند، وقتی که دومین تاج موج را گسیل می کند خود در فاصله ی کمتری از ما قرار دارد، بنابراین مدت زمانی که طول می کشد تا تاج موج به ما برسد کمتر از وقتی است که ستاره ساکن بود. در نتیجه، زمان بین دریافت دو تاج موج بوسیله ما، کوتاهتر است، و بنابراین تعداد موجهایی که در هر ثانیه دریافت می کنیم از وقتی که ستاره ثابت بود، بیشتر است. به همین ترتیب، اگر منبع نور، از ما دور شود، بسامد امواج دریافتی کمتر خواهد بود. با توجه به پدیده فوق متوجه می شویم که طیف نوری ستارگانی که از ما دور می شوند، بسوی انتهای سرخ طیف جابجا می شود، وستارگانی که به ما نزدیک می شوند، طیف نوریشان به سوی انتهای آبی جابجا می گردد. به این ارتباط میان سرعت و بسامد اثر دوپلر نامیده می شود[۱۱].

اگر از فرمول انتقال دوپلر نیوتنی استفاده کنیم، سرعت شعاعی عقب نشینی کهکشان را به صورت $V = cz$ به دست می آوریم، که z انتقال به سرخ تعریف شده است. (چون در این رصدها $1 \gg z$ است، می توان از فرمول انتقال دوپلر نیوتنی استفاده کرد)

سپس ادوین هابل و میلتون هیومیسون فهرست رصد های وی. ام. اسلیفر[۲۵] را به کهکشانهای بیشتر و درخشانترین خوشه های کهکشانی گسترش دادند. در واقع هابل، سرعت کهکشان را بر حسب قدر ظاهری آن رسم کرد. اگر همه ی کهکشان های مشاهده

---

[۲۴] expansion universe
[۲۵] V.M.Slipher

شده به یک اندازه روشن باشند، قدر آنها با لگاریتم فاصله شان از زمین متناسب است. بنابراین خط راستی که از بین خوشه ی نقطه ها رسم شود نظیر رابطه ی خطی زیر خواهد بود

$$V = cz = H_0 D$$

که در آن Dفاصله ی کهکشان و z انتقال به سرخ است. ثابت H_0 را اکنون ثابت هابل می نامند.

اگر بجای رسم z بر حسب D، $\log z$ بر حسب قدر ظاهری m کهکشان رسم شود، یک خط راست دیگر بدست می آید. می توان نوشت:

$$m = 5 \log D + const$$

ایجاب می کند که:

$$m = 5 \log z + \text{const}$$

چون فاصله های کهکشان های دور دست را از قدر ظاهری آنها بدست آمده.

رابطه، $V = cz = H_0 D$ به قانون هابل معروف است. این رابطه به صورت یک قانون خطی در سال ۱۹۲۹ منتشر شد، و هیجان بسیار بوجود آورد زیرا تفسیر اولیه ی قانون هابل این بود که انفجار عظیمی در همسایگی ما در عالم صورت گرفته است که از آنها کهکشانها به بیرون پرتاب شده اند. اما، خطی بودن قانون هابل نشان می دهد که لازم نیست خود را در مکان خاصی از عالم فرض کنیم. اگر جمعیت کهکشانها را از هر کهکشان دیگر نگاه کنیم، قانون هابل یکسانی بدست می آوریم. ترکیب این واقعیت با همگن بودن و همسانگردی توزیع جمعیت کهکشانها ساختار بسیار منظم عالم را بدون هیچ مکان یا جهت برتر نشان می دهد.

برای عالم در حال انبساط، کهکشانها منبسط نمی شوند بلکه فاصله ی آنها از یکدیگر زیاد می شود. آهنگ انبساط را ثابت هابل مشخص می کند. هابل مقدار H_0 را در حدود $530\ kms^{-1}Mpc^{-1}$ بدست آورد[۱].

فصل اول

نظریه تانسور- اسکالر در گرانش چیست؟