دانشکده علوم پایه

مساله انرژی تاریک در جهان های شامه ای

نگارش

زینب زیدی

استاد راهنما **: دکتر فاطمه احمدی**

استاد مشاور**: دکتر جعفر خداقلی زاده**

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک (گرایش گرانش)

دی۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به همسرم که حضورش در کنارم آرامش بخش وجودم و تقدیم به پسرم که

وجودش امیدبخش زندگیمان است.

با تشکرفراوان از سرکار خانم دکتر احمدی که با همیاری و همدلی مرا در به ثمر رساندن این پایان نامه همراهی نمودند.

و با قدردانی از سرمایه های زندگیم،

چکیده:

نتایج تجربی نشان میدهد که ما در یک فضای تخت زندگی می کنیم و جهان شتابدار ما تقریبا از یک سوم ماده و دو سوم مولفه ای با فشار منفی تشکیل شده است که این مولفه معمولا انرژی تاریک نامیده می شود.وجود این چنین انرژی می تواند انبساط شتابدارمشاهده شده جهان را توضیح دهد. به هرحال با وجود مشاهدات خوبی که وجود دارد ماهیت انرژی تاریک هنوزبه صورت یک سوال باقی مانده است.دراین رساله ما در جستجوی یک تفسیر هندسی برای این مولفه درغالب نظریه جهان شامه ای بدون در نظر گرفتن تقارن آیینه ای هستیم .نتایج تحقیقات مارا به یک تفسیر هندسی برای انرژی تاریک می رساند که از انحنای خارجی نشات گرفته است.

در این پایان نامه در آغاز مروری بر کیهان شناسی مدل استاندارد داریم.در فصل دوم درباره انرژی تاریک و مدلهایی که به بررسی این موضوع میپردازد وهمچنین مشکلاتی که پیرامون این مسئله وجود دارد صحبت میکنیم.در فصل بعد به مطالعه نظریه هایی با ابعاد اضافی می پردازیم و عللی که باعث مطرح شدن ابعاد اضافی شده است را می کنیم.بعد از آن معادله انیشتن و معادله تعمیم یافته فریدمن را بدست می آوریم.در این بخش بیشترین توجه ما برروی Qij که به انحنای خارجی وابسته و مستقل از انحنای ریمانی است.در حقیقت ما معنای پدیدار شناختی انحنای خارجی یک فضای فریدمان –رابرتسون–والکر پنج بعدی را با انحنای توده ثابت مورد مطالعه قرار می دهیم. سپس به دلیل شباهت معادلات حاصل شده با مدل $(XCDM)$ از معادله حالت دو سیال کامل یکی ماده معمولی و دیگری چاپلین گاز استفاده می کنیم.از تجزیه و تحلیل معادله فریدمن حاصل شده و پارامتر کاهنده به تطابق خوبی با مشاهدات می رسیم.

کلمات کلیدی:انرژی تاریک،کیهان شناسی، ابعاد اضافی، شامه، توده

فهرست

پیش گفتار.....۸

فصل اول:مدل استاندارد کیهان شناسی

۱-۱)اصول حاکم بر نظریه نسبیت عام.....۱۶

۱-۲)اصل کیهان شناسی و متریک روبرتسون-واکر.....۲۲

۱-۳)پارامتر هابل و پارامتر کند شدن.....۲۴

۱-۴)معادلات فریدمان ۲۵

۱-۵)جواب های کیهان شناسی.....۲۷

فصل دوم:بررسی مساله انرژی تاریک

۲-۱)کشف انبساط و شتاب کیهان.....۳۴

۲-۲)انرژی تاریک مقصری برای شتاب کیهان.....۳۶

۲-۳)مدلهای بررسی انرژی تاریک.....۳۷

فصل سوم:ابعاد اضافی

۳-۱)وحدت برهمکنشهای بنیادی طبیعت.....۴۳

۳-۲)مساله سلسله مراتب.....۴۴

۳-۳)مساله ثابت کیهان شناسی.....۴۵

۳-۴)نظریه جهان شامه ای.....۴۶

فصل چهارم:معادلات میدان وکیهان شناسی مدل

۴-۱)معادلات میدان.....۴۹

۴-۲)معادله حالت ماده معمولی.....۵۷

۴-۳)معادله حالت چاپلین گاز.....۶۰

نتیجه گیری.....۶۴

منابع.....۶۸

پیش گفتار

وقتی که توپی را به سمت بالا پرتاب می کنید، نیروی گرانش رفته رفته سبب کاهش سرعت حرکت توپ نسبت به لحظه پرتاب آن می شود. برای دهه های متوالی کیهان شناسان تصورمی کردند که جهان پس ازانفجار بزرگ نیزهمین روند را طی می کند واگرچه کهکشانها هرکدام به سویی درحرکتند اما سرعت حرکت جمعی آنها با گذشت زمان روبه کاهش است. در مدل استاندارد کیهان شناسی محاسبات شتابی کند شونده را برای کیهان پیش بینی می کند، اما یک دهه پیش کیهان شناسان دریافتند که از چند میلیارد سال پیش سرعت انبساط جهان در حال افزایش است ودارای شتابی تند شونده است، آنها معتقد بودند که ظاهرا نیرویی پاد گرانش سبب این انبساط فزاینده است. اما آیا شواهدی بر درستی این فرضیه وجود دارد[۱]؟

محققان به دنبال این بودند تا دلیل اصلی برای این شتاب را شناسایی کنند. وجود یک جهان شتابدار منجر به یکی از مهمترین بحثهای مربوط به کیهان شناسی شد که شامل انرژی تاریک با یک فشار منفی بود. انرژی تاریک نوعی انرژی فرضی وشگفت‌انگیز است که سرعت انبساط جهان را می‌افزاید و دارای خاصیت عکس گرانش است. این انرژی رایج ترین راه برای توضیح دادن مشاهدات اخیر است که می‌گویند جهان با آهنگ رو به افزایشی (با شتاب تند شونده) منبسط می‌شود. آغاز این بحث را می توان به انتشار نسبیت عام در سال ۱۹۱۷ ربط داد. به هر حال علی رغم وجود این آثار مشاهده شده، ماهیت انرژی تاریک از سوالی که کیهان

شناسی وفیزیک ذرات را بهم متصل میکند حاصل شده و هنوز به صورت یک سوال باقی مانده است [۲و۳].

از طرفی انیشتین نیزدر نظریه های اولیه خود مطرح کرده بود که نیروی جاذبه بین مواد سبب میشود تعادل کیهان برهم خورده و جهان منقبض شود، به همین جهت برای ایجاد تعادل ورسیدن به یک جهان ایستا از یک ثابت در معادلات میدان نسبیت عام استفاده کرد و آن را ثابت کیهان شناسی نامید.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R\,g_{\mu\nu} + \Lambda\,g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

در این معادله Λ بیانگر این ثابت است[۴] .

تحقیقات ادوین هابل نشان داد که جهان آنگونه که با ثابت کیهان شناسی توسط انیشتین تعریف می شود نیست بلکه در حال گسترش و انبساط است. همچنین پیش بینی شد که جهان خیلی سریع بعد از انفجار بزرگ فضایی مسطح به خود گرفت، آن گونه که مشاهدات نشان میدهد. در نتیجه، نظریه اینشتین با توجه به این پیش بینی های غیر معمول می بایست اصلاح می شد. با این اوصاف باز هم موضوع اصلی از این جا آغاز نشد. در سال ۱۹۹۸ گروهی از اختر شناسان به بررسی فاصله ابر نو اخترهای نوع Ia برای اندازه گیری سرعت انبساط جهان پرداختند، نتایج تحقیقات آنها گواه مستقلی بر این مساله بود که انبساط عالم سرعت بیشتری یافته است و این برخلاف انتظار آنها بود. آنها انتظار داشتند که این انبساط روندی کند شونده داشته باشد اما مشاهدات نشان داد که این انبساط با شتاب مثبت انجام می گیرد. کشف شتاب کیهانی یکی از مهمترین پیشرفتهای کیهان شناسی مدرن محسوب می شود. اگر چه کشف شتاب کیهانی غالبا به صورت یک مساله شگفت آور و ناشی از یک نقص بنیادی در دانش

تصور می شد، اما با تحقیقات گسترده ای که کیهان شناسان در سالهای اخیر انجام دادند، حل این مساله از پیشرفت قابل توجهی برخوردار شده است.

نتایج جدید هم نشان دهنده پیروزی انرژی تاریک وانبساط جهان با شتابی فزاینده است. درهر صورت این نتایج این اطمینان را به دانشمندان داده است که انرژی تاریک به نحوی با اجزای فضا در ارتباط است و نشان میدهد که چیزی که ما به عنوان ماده معمولی میشناسیم، یعنی ماده ای که کهکشان ها را می سازد و خود از ذرات زیر اتمی ساخته شده است تنها ۴ ٪ از جهان ما را اشغال کرده است و بقیه شامل ۲۶٪ ماده تاریک (اگرچه کیهان شناسان نظریه هایی در مورد تشکیل آن دارند ولی هنوز ثابت نشده است) و ۷۰٪ انرژی تاریک است که این تقسیم بندی توسط مشاهدات اخیری که از ابرنواخترها در یک دهه گذشته انجام شده نیز مورد تایید قرار گرفته است[۴].

تاثیر انرژی تاریک بر روی مدلهای کیهان شناسی از اهمیت خاصی برخوردار است و باعث شده که کیهان شناسان در پی آن باشند که با تحقیق در مورد این انرژی یکی از مهم ترین چالش های فیزیک را حل نمایند. از این رو بر این آمدیم تا در این تحقیق به بررسی ومطالعه مساله انرژی تاریک بپردازیم.

ساده ترین توضیحی که برای این شتاب تند شونده و انرژی تاریک پیشنهاد شد، ثابت کیهان شناسی بود. این اولین باری نبود که ثابت کیهان شناسی برای حل یک مساله پیشنهاد می شد. از آغاز کشف نسبیت عام ثابت کیهان شناسی به صورت دوره ای مطرح وسپس برای مدتی کنار گذاشته می شد. یکی دیگراز روشهایی که برای توضیح این پدیده مطرح شده است مساله ابعاد اضافی است، در این نظریه فرض می شود که جهان چهار بعدی ما در یک فضایی با ابعاد بیشتر غوطه ور باشد و گرانش درابعاد بالاتر رخنه می کند و تاثیر آن روی ماده ضعیف شده و این

دلیلی برای انبساط می شود. مسایلی مانند وحدت برهمکنش های بنیادی طبیعت و یا مساله سلسله مراتب از عواملی بودند که منجر به مطرح شدن ابعاد اضافی شدند. ایده اولیه فضای با ابعاد بالاتر، بطور جدی، توسط کالوزا[1] و کلاین[2] وارد فیزیک مدرن گردید. دراین نظریه دنیای چهار بعدی ما در فضایی با ابعاد بالاتر غوطه ور شده است [۵]. نظریه ی جهان شامه ای یکی از مشهورترین تئوریهای با ابعاد اضافه است که آغاز این مدل پدیدار شناختی به کارهای ویتن[3] و هوراوا[4] بر میگردد [۶]. با استفاده ازاین نظریه میتوان به توضیحی برای انرژی تاریک دست پیدا کرد، در واقع میتوان یک مفهوم پدیدار شناختی از یک انحنای خارجی فضای روبرتسون–واکر را در یک فضای با ابعاد بالاتر مطالعه کرد.

در این پژوهش، ابتدا به صورت مختصر به معرفی مدل استاندارد کیهان شناسی می پردازیم ومحاسباتی که در مدل استاندارد شتابی کند شونده را برای کیهان پیش بینی می کند را مورد بررسی قرار می دهیم. همانطور که ذکر شد مسئله انرژی تاریک از اهمیت خاصی برخوردار است از این رو در این فعالیت علمی پیشینه این مسئله را مطرح می کنیم و به مدلهایی که به بررسی آن پرداخته اند اشاره می کنیم. در فصل سوم با استفاده از نظریه جهان شامه ای و بدون در نظر گرفتن تقارن آینه ای به مطالعه معادله تعمیم یافته فریدمن پرداخته و به یک تعریف هندسی برای انرژی تاریک دست پیدا خواهیم کرد. سپس با در نظر گرفتن معادله حالت یک سیال کامل، چگالی این انرژی ،پارامتر مقیاس$a(t)$ و پارامتر شتاب کاهنده (q) را مورد بررسی قرار می دهیم وآن را با مشاهدات رصدی مقایسه میکنیم[۲]. برای سیال کامل از دو معادله حالت ماده معمولی و چاپلین گازتعمیم یافته استفاده میکنیم. دردهه های اخیر چاپلین گاز یکی

---

[1] Kaluza
[2] Klein
[3] Witten
[4] Harova

از کاندیدهای جذاب برای بررسی وضعیت کنونی یعنی کیهانی با انبساط شتابدار محسوب می شود. چاپلین گاز جهانی را توصیف میکند که از فازی با یک ماده غیر نسبیتی وارد فازی با یک ثابت کیهان شناسی و معادله حالت ماده معمولی می شود. این ماده به خوبی توانسته مشاهدات رصدی موجود در مورد شتاب کیهان را تایید کند. ما نیز در راستای توضیح شتاب تند شونده عالم و یافتن یک توضیح هندسی برای آن، درغالب نظریه جهان شامه ای از معادله حالت چاپلین گاز تعمیم یافته استفاده میکنیم و پارامترهای ذکر شده را مورد ارزیابی قرار می دهیم .

فصل اول

مدل استاندارد کیهان شناسی

آلبـرت انیشـتن در سـال ۱۹۰۵ در مقالـه مشـهور خـود تحـت عنـوان "دربـاره الکترودینامیـک اجسـام متحـرک" نظریـه نسـبیت خـاص را ارایـه نمـود. ایـن نظریـه باعـث شـد کـه قـوانین مکانیـک کلاسـیک نیـوتن اصـلاح شـوند، ولـی قـوانین الکترودینامیـک ماکسـول اعتبـار خـود را حفـظ کننـد. انیشـتن بعـد از معرفـی اصـل هـم ارزی[۱] در سـال ۱۹۰۷ متوجـه شـد کـه بـرای ابـداع نظریـه ای عـام تر،کـه گـرانش را هـم شـامل بشـود بایـد پـا را از هندسـه مینکوفسـکی[۲] فراتـر گـذارد وهندسـه فضـا-زمـان را ریمـانی فـرض نمایـد. بـدین ترتیـب او بـا اسـتفاده از اصـل هـم ارزی و در چـارچوب هـای هندسـه خمیـده ریمـانی نظریـه نسـبیت عـام را بوجـود آورد و در سـال هـای ۱۹۱۲ و ۱۹۱۳ بـا مارسـل گراسـمن[۳] روی مبـانی ریاضـی آن کـار کـرد. در سـال ۱۹۱۵ طـی سـخنرانی هـای در دانشـگاه گـوتینگن، دو نفـر از برجسـته تـرین ریاضـیدانان جهـان، هیلبـرت و کلایـن را دربـاره صـحت نظریـه

---

[۱] principle of Equivalence
[۲] Minkowskian geometry
[۳] M.Grossmann

نسبیت عام متقاعد کرد. بالاخره در سال ۱۹۱۶ طی مقاله ای در آنالن در فیزیک[۱] فرم نهایی معادلات میدان گرانش را به طور کامل ارایه داد. بدین ترتیب نظریه ای بوجود آمد که اصل هم ارزی در آن در نظر گرفته شده است و به وسیله میدان گرانشی که در آن سرعت انتشار، بر خلاف نظریه گرانش نیوتن، متناهی است، اثرات گرانشی مورد بررسی قرار گرفته است. در هر نقطه از فضا- زمان خمیده ریمانی میتوان چارچوب مختصاتی که به صورت موضعی مینکوفسکی باشد، تعریف کرد که در این چارچوب،نسبیت خاص معتبر است. در نسبیت عام، وجود ماده باعث انحنا فضا- زمان اطراف خود میشود و این انحنا معادل با یک میدان گرانشی است. به عبارت دیگر، انحنا فضا-زمان حول یک ماده به توزیع ماده ربط پیدا می کند که این ارتباط توزیع ماده با انحناء فضا-زمان با معادلات انیشتن بیان می شود.

۱-۱) اصول حاکم بر نظریه نسبیت عام

چهار اصل زیر به صورت مستقیم و غیرمستقیم انیشتن را به نظریه نسبیت عام رهنمون ساخت[۷]:

۱-اصل ماخ

۲-اصل هم ارزی

۳-اصل هموردایی

۴-اصل تطابق

---

[۱] Annalen dar physic

که در این میان اصل هم ارزی مهمترین اصل نسبیت عام وشالوده اصلی آن است.

۱-۱-۱) اصل ماخ

این اصل به نام ارنست ماخ[۱] (۱۹۱۶ ـ ۱۸۳۸) فیزیکدان و مورخ علم و فیلسوف علم اتریشی معروف شده است. او که در مکانیک کلاسیک دارای تئوریهای ارزشمندی است در شمار پیشقدمان نظریه آلبرت اینشتین در مورد ایجاد مکانیک نسبیتی محسوب می‌شود و نظریات خود را در دو جلد به نام علم مکانیک منتشر کرد. این اصل به صورت های زیر بیان می شود:

الف) اصل ضعیف ماخ: توزیع ماده، هندسه را تعیین میکند. یعنی فضا-زمان (هندسه) از ابتدا وجود دارد و توزیع ماده تنها نحوه شکل گیری وانحنای آن را معین می کند.

ب) اصل قوی ماخ: اگر ماده نباشد آنگاه هندسه وجود ندارد. به عبارتی هندسه (فضا-زمان) در غیاب ماده اصلا وجود ندارد و با خلق ماده فضا-زمان خلق میشود.

نکته ای که در اینجا وجود دارد این است که معادلات میدان نسبیت عام انیشتین تنها اصل ضعیف ماخ را ارضا می کند و با اصل قوی ماخ سازگار نیستند؛ زیرا در غیاب ماده این معادلات جواب دارند. یعنی این جواب یک فضا-زمان که همان فضا-زمان مینکوفسکی است را توصیف میکنند.

---

[۱] Ernest Mach

۱-۱-۲)اصل هم ارزی

این اصل معمولا به دو صورت زیر بیان میشود:

الف) اصل هم ارزی ضعیف: جرم اینرسی و جرم گرانشی هم ارز است و آن نیز معادل این است که بگوییم شتاب وارد بر یک جسم به وسیله میدان گرانشی مستقل از جنس و ماهیت جسم است.

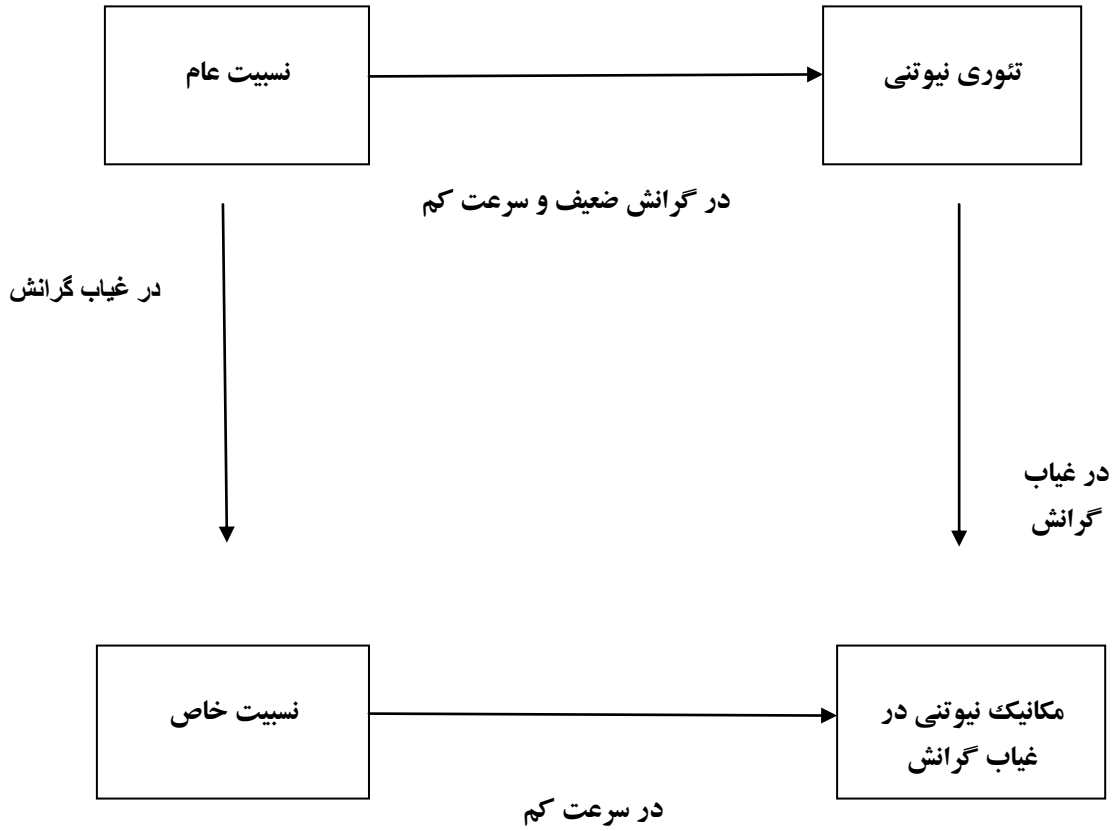
ب) اصل هم ارزی قوی: هیچ ناظری نمی تواند فقط با آزمایشی موضعی بین شتاب و میدان گرانشی تفاوت قائل شود. به عبارت دیگر یک چارچوب شتابدار (خطی) نسبت به یک چارچوب اینرسی در نسبیت خاص، بصورت موضعی با یک چارچوب ساکن که در یک میدان گرانشی قرار گرفته است هم ارز می باشد. به عبارتی هیچ آزمایش موضعی وجود ندارد که بتواند سقوط آزاد غیر چرخان در یک میدان گرانشی را از حرکت یکنواخت در غیاب یک میدان گرانشی در فضا تشخیص دهد.

۱-۱-۳) اصل همووردایی

طبق این اصل همه ناظرها در نسبیت عام هم ارزند. بعبارتی ناظرهای همه چارچوب ها اعم از لخت و شتابدار قوانین طبیعت(فیزیک) را یکسان میبینند. این امر مستلزم آن است که معادلات فیزیک بگونه ای نوشته شوند که از دید همه ناظرها شکل ریاضی آنها یکسان باشد. این ابزار ریاضی لازم حساب تانسوری است، بنابراین معادلات فیزیک باید شکل تانسوری داشته باشند.

۱-۱-٤) اصل تطابق

نظریه نسبیت عام در حالت‌های حدی به گرانش نیوتنی و نسبیت خاص تبدیل می‌شود. این اصل پاسخ منطقی در تقلیل نسبیت عام به بقیه تئوری های شناخته شده است.



به کمک ۴ اصل گفته شده، انیشتن توانست معادلات میدان نسبیت عام را به صورت شکل نهایی زیر ارائه کند:

$$G_{ab} = k^2 T_{ab} \qquad (۱-۱)$$

که در آن

$$G_{ab} \equiv R_{ab} - \frac{1}{2} R\, g_{ab} \quad , \quad k^2 = \frac{8\pi G}{c^4} \qquad (۱-۲)$$

بنابراین معادلات میدان انیشتن بصورت زیر خواهد بود:

$$R_{ab} - \frac{1}{2} R\, g_{ab} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ab} \qquad (۱-۳)$$

در صورتی که طرفین این معادله را در عکس تانسورمتریک ضرب کنیم، خواهیم داشت:

$$R = -\frac{8\pi G}{c^4} T \qquad (۱-٤)$$

پس نهایتا معادلات میدان را به صورت زیر بدست خواهیم آورد:

$$R_{ab} = \frac{8\pi G}{c^4} \left(T_{ab} - \frac{1}{2} g_{ab} T \right) \qquad (۱-۵)$$