١٠٧٨١٢

۸۷/۱/۱۰۲۲۷۳
۸۷/۱۰/۲۸

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک

فشرده‌سازی و تغییر نشانگان متریک در مدل کیهان‌شناسی کالوزا-کلاین با میدان اسپینوری

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا سپنجی

استاد مشاور:

دکتر سیامک سادات گوشه

دانشجو:

مهدیس نفری

بهمن ۱۳۸۶

۱۳۸۷/۱۰/۰۸

۱۰۷۸۱۲

تاریخ .....
شماره .....
پیوست.....

دانشگاه شهید بهشتی

بسمه تعالی

«صورتجلسه دفاع پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد»

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین
تلفن: ۲۹۹۰۱

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۲۰۰/۳۷۹۱/ت/د مورخ ۸۶/۱۱/۲ جلسه هیأت داوران ارزیابی پایان نامه خانم مهدیس نفری به شماره شناسنامه ۱۶۹صادره ازگرگان متولد۱۳۵۵ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته رشته فیزیک - ذرات بنیادی و نظریه میدانها

با عنوان :

فشرده سازی و تغییر نشانگان متریک در مدل کیهان شناسی کالوزا – کلاین با میدان اسپینوری

به راهنمائی:

دکترحمید رضا سپنجی

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۱۳۸۶/۱۱/۹تشکیل گردید و براساس رأی هیأت داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۸/- و درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

۱ -استاد راهنما: آقای دکتر حمید رضا سپنجی

۲-استادمشاور:آقای دکتر سیامک سادات گوشه

۳- استاد داور: آقای دکترعلی شجاعی

۴- استاد داورونماینده تحصیلات تکمیلی:آقای دکتر مهرداد فرهودی

حتی اندیشیدن به تو زیباست

و امید بخش

چون گوش سپردن به زیباترین صدای دنیا

آن هنگام که زیباترین ترانه ها را می خواند.

«ناظم حکمت»

تقدیم به تنها امید زندگی ام

مادر مهربانم

از استـاد بزرگوار و فرهیخته ، جناب آقای دکتـر حمید رضا سپنجی که با راهنـمایی های روشنگرانه خود مرا یاری نمودند و در محضـر انسانیّت، درس هایی پر بار به من آموختند، صمیمانه سپاسگزارم.

چکیـده

در این پایان نامه کیهان شناسی کلاسیک و کوانتمی یک مدل کالوزا-کلاین (۱+٤) بعدی با ثابتِ کیهان شناسیِ غیرصفر مورد بررسی قرار گرفته که با یک میدان اسپینوریِ جرم دارِ خودبرهمکنشی و آزاد جفت شده است. متریک فضازمان از نوع رابرتسون-واکر تخت است. در بررسی کلاسیکِ مدل، برای میدان اسپینوری آزاد، جواب های حاصل از حل معادلات میدان، جواب هایی دقیق هستند؛ در حالیکه برای میدان اسپینوریِ خودبرهمکنشی لازم است از روش های حل عددی برای بدست آوردن رفتار جواب ها استفاده شود. جواب های حاصل در هر دو حالت، متریکی تبهگن را نمایش می دهند که نشانگان آن هنگام عبور از مرز بین ناحیه اقلیدسی و ناحیه لورنتسی تغییر می کند. این تغییر نشانگان، سازوکاری برای فشرده سازی بعد اضافه پیشنهاد می کند بطوریکه بین ضریب سنجه فضای خارجی $R(t)$ و ضریب سنجه فضای داخلی $a(t)$ رابطه ای به شکل $a \sim R^{-1}$ در ناحیه لورنتسی برقرار است.

در بررسی کوانتمی مدل نیز برای معادله ویلر-دویت، در حالت میدان اسپینوری آزاد، جواب های دقیق حاصل از حل معادله، بیشینه هایی منطبق بر مکان هندسی جواب های کلاسیک دارند.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه ۱

فصل دوم فضـا، زمـان و کیـهان شناسی

مقدمه ۸

۲-۱ فضـا ۹

۲-۲ زمـان ۱٤

۲-۳ هنـدسـه ۲۱

۲-٤ کیـهان شنـاسی از یونان باستان تا امروز ۲٤

۲-۵ نسبیت و کیـهان شنـاسی ۳٤

۲-٦ اصل موضوع وایل ۳۸

۲-۷ مدل فریدمن ٤۱

فصل سوم گرانش کوانتمی

مقدمه ٤٤
٣-١ کیهان شناسی کوانتمی ٤٥
٣-٢ رهیافت های گرانش کوانتمی ٤٦
٣-٣ کوانتمی کردن کانونیک ٤٨
٣-٤ تغییر نشانگان متریک ٥٥
٣-٥ تغییر نشانگان در کیهان شناسی کلاسیک ٥٩

فصل چهارم تغییر نشانگان و فشرده سازی در کیهان شناسی کالوزا-کلاین با میدان اسپینوری

مقدمه ٦٢
٤-١ نظریه کالوزا-کلاین ٦٣
٤-٢ تغییر نشانگان کلاسیک در کیهان شناسی کالوزا-کلاین ٦٦
٤-٣ کنش برای مدل پیشنهادی ٦٩
٤-٤ معادلات میدان ٧٢
٤-٥ حل معادلات میدان ٧٥
٤-٦ میدان اسپینوری آزاد ٧٦
٤-٧ تحلیل جواب های کلاسیک ٧٨
٤-٨ میدان اسپینوری خودبرهمکنشی ٨١
٤-٩ پایدارسازی ٨٥
٤-١٠ کیهان شناسی کوانتمی ٨٧
٤-١١ جمع بندی ٩٢

پیوست الف ۹٤
پیوست ب ۹۵
پیوست ج ۹۹
مراجع ۱۰۵

فصـــل اول

مقـــدمـــه

جهانی که در آن زندگی می کنیم چگونه به وجود آمده است؟ این آسمان پرستاره که شب های بسیاری با خیره شدن به آن به خواب رفته‌ایم، چه طور ساخته شده است؟ چه مراحلی طی شده تا جهان کنونی ایجاد شود؟ میلیونها سال بعد جهان چگونه خواهد شد؟ آیا به همین شکل باقی خواهد ماند؟ جایگاه ما در این جهان پهناور کجاست؟

سؤالاتی از این دست، همواره ذهن بشـر را به خود مشغول داشته است؛ حتی قبل از آنکه تاریخ نگاشته شود. به نظر می رسد انسان از زمانی که به وجود خود و محیط اطرافش آگاه شد، به دنبال پاسخی برای این پرسش ها بوده است. جواب های داده شـده به این سؤالات در طول تاریخ، نه تنها نشان از پیدایش

و تکامل علم دارند، بلکه بیانگر قدرت اندیشه و خیال انسان، ترس ها و جاه طلبی هایش و نیاز او به طبیعت نیز هست.

شاید بتوان گفت که برای توصیف طبیعت و به خدمت گرفتن آن بود که علم فیزیک ایجاد شد و هدف کیهان شناسی نیز در ابتدا شناخت جهان ستارگان و کهکشان ها بود، هرچند که امروزه دایره این علم بسیار گسترده تر شده است. در واقع هیچ رشته ای از علوم نمی تواند ادعا کند که دامنه ای وسیع تر از کیهان شناسی دارد، چون کیهان شناسی، مطالعهٔ جهان است و جهان در تعریف یعنی همه چیز. کیهان شناسی شاخه ای از علم است که از جهان به عنوان یک دستگاه منظم بحث می کند و با مفاهیمی چون زمان، فضا و هندسه پیوند خورده است. مفاهیم پیچیده ای که هنوز تعریف دقیقی از آنها در دست نیست.

نظریات بنیادی که کیهان شناسی مبتنی بر آنهاست حاصل تفکرات دو اندیشمند بزرگ، نیوتن و اینشتین هستند: نظریه مکانیک کلاسیک و نظریه نسبیت خاص و عام. این دو نظریه هر یک در زمان خود، انقلابی را در بنیان های فکری بشر پدید آوردند و آنچه را که در ذهن بشر به عنوان فضا و زمان شناخته می شد، متحول ساختند. نیوتن در نظریه خود فضا و زمان را دو مفهوم مستقل از یکدیگر و مطلق می داند. او در قانون گرانش جهانی خود توضیح میدهد که چه نیرویی سیارات را در مدارهایشان ثابت نگه می دارد. محاسباتی که بر مبنای این قانون انجام گرفت، منجر به کشف سیاره نپتون گردید. اما در اواخر قرن نوزدهم ستاره شناسان به این نتیجه رسیدند که مدار عطارد را نمی توان با کمک قانون گرانش نیوتن به درستی توضیح داد. این مسأله در ۱۹۱۵ توسط اینشتین و نظریه نسبیت عام او حل شد. اینشتین با کمک هندسه های نااقلیدسی که توسط گاوس، لباچفسکی و ریمان پیشنهاد و فرمول بندی گردید، ساختار جدیدی را برای

فضا و زمان پیشنهاد کرد. در نظریه نسبیت، فضا و زمان به هم پیوند داده می شوند و آثار گرانشی به انحنای *فضازمان* نسبت داده می شود که این انحنا را *ماده* ایجاد کرده است. اینشتین معادلاتی که انحنای فضازمان در حضور ماده را بیان می کنند بدست آورد. جواب های این معادلات عناصر تانسور متریک فضازمان را بدست می دهند. این معادلات شامل ۱۰ معادله دیفرانسیل غیرخطی هستند و بنابراین جواب های یکتایی نخواهند داشت. بدین ترتیب جواب های ارائه شده برای این معادلات هرکدام خواصی از هندسه فضازمان را بیان می کنند و پیش بینی های متفاوتی را در بر خواهند داشت. به عنوان مثال، حل شوارتزشیلد یک جهان ایستا را معرفی می کند. و جواب رابرتسون-واکر جهان منبسط شونده ای را پیش بینی می کند که در ۱۹۲۹ ادوین هابل با مشاهدات خود درستی این پیش بینی را ثابت کرد. این حل ها تکینگی هایی در فضازمان را نیز پیش بینی می کنند. یکی از این تکینگی ها مربوط به ابتدای جهان است که انفجار بزرگ نامیده می شود.

در کنار نظریهٔ کلاسیک نسبیت عام، نظریهٔ مکانیک کوانتمی نیز سهم عمده ای در تحول مفاهیم بنیادی داشته و تصور ما از ماده را تغییر داده است. این نظریه هم اکنون نقش مهمی در کیهان شناسی بازی می کند، چون چنین پیش بینی می شود که جهان امروز از یک جهان اولیه با ابعاد بسیار کوچک ناشی شده است و برای توضیح منشاء جهان و توصیف جهان اولیه به یک نظریه کوانتمی نیاز است و بنابراین مبحثی به نام *کیهان شناسی کوانتمی* مطرح شده است. در این مبحث ابتدا سعی می شود که یک بیان کوانتمی از نیروی گرانش که نیروی غالب در مقیاس کیهانی است، معرفی شود. به عبارت دیگر نظریه میدان گرانشی با نظریه میدان کوانتمی ادغام شود، همان طور که در مورد سایر میدان ها این کار صورت گرفته است. در این صورت، نظریه کلاسیک نسبیت عام، حد کلاسیکی این نظریه کوانتمی خواهد بود. اما نظریه میدان کوانتمی در

فضازمان تخت بیان می شود درحالی که نسبیت عام با فضازمان های خمیده سروکار دارد. تاکنون تلاش ها در این راستا به نتایج قابل قبولی نرسیده است و مشکلات بسیاری برای کوانتمی کردن گرانش وجود دارد که مهمترین آنها، مشکل بازبهنجارش ناپذیری نظریات گرانش کوانتمی است. البته در سال های اخیر گامهای بزرگی برای رفع این مشکلات برداشته شده است و نظریه های ریسمان و اَبَرریسمان و نظریات با ابعاد اضافی بزرگ به عنوان نظریات سالم گرانش کوانتمی ارائه شده اند.

با فرض در دست داشتن یک نظریه سالم برای گرانش کوانتمی، باز می گردیم به مبحث کیهان شناسی کوانتمی و سؤال اصلی این مبحث: «جهان چگونه آغاز شد؟» برای پاسخ به این سؤال باید مانند هر سیستم کوانتمی، تابع حالت سیستم را معین کنیم، به عبارت دیگر، تابع موج جهان. تابعی که بتواند جهان امروزی را پیش بینی کند. اما در چه هندسه ای تابع موج را باید نوشت؟ این تابع موج در چه معادله ای صدق می کند یا به عبارت دیگر، همتای «معادله شرودینگر» در گرانش کوانتمی چیست؟ چه شرایطی را باید بر تابع موج اعمال کنیم تا بتوانیم به جهان کنونی برسیم؟

تاکنون دو رهیافت برای کوانتمی کردن گرانش ارائه شده است: رهیافت کانونیک و رهیافت انتگرال مسیری. در رهیافت کانونیک، با توجه به آنچه برای مکانیک کلاسیک انجام شده است، معادله ای شبیه به معادله شرودینگر بدست می آید که معادله ویلر-دویت نام دارد و تابع موج نیز باید در این معادله صدق کند رهیافت انتگرال مسیری با الهام از کارهای ریچارد فاینمن صورت گرفته است. در این رهیافت برای مکانیک کوانتمی، دامنه رفتن یک ذره از نقطه فضا-زمانی (x_1,t_1) به نقطه دیگر فضا زمان (x_N,t_N) با تابع انتشارگر $K(x_N,t_N;x_1,t_1)=<x_N,t_N|x_1,t_1>$ داده می شود. در هر فضازمان، برای بدست آوردن انتشارگر باید روی همه مسیرهای ممکن در فضازمان با نقاط اولیه و نهایی ثابت، جمع ببندیم. در مکانیک

کلاسیک، یک مسیر مشخص در فضازمان معرف حرکت ذره است. اما برعکس در مکانیک کوانتمی همه مسیرها نقش بازی می کنند، ازجمله آنهایی که هیچ شباهتی به مسیر کلاسیک ندارند. بنابراین:

$$< x_N,t_N|\ x_1,t_1 >= \int_{x_1}^{x_N} D[x(t)]exp\left(i\int_{t_1}^{t_N} dt\ \frac{L_{classic}(x,\dot{x})}{h} \right)$$

که در آن $\int_{x_1}^{x_N} D[x(t)] \propto \lim_{N\to\infty} \int dx_{N-1} \dots \int dx_1$ است. انتشارگر در معادله موج وابسته به زمان شرودینگر صدق می کند. ثابت شده است که این دو رهیافت در مکانیک کوانتمی یعنی فرمول بندی فاینمن و مکانیک موجی شرودینگر با یکدیگر هم ارزند. به همین ترتیب برای کوانتش گرانش نیز از این رهیافت استفاده می شود و با اعمال شرایط مرزی مناسب، سعی شده است که تابع موج مناسبی برای جهان بدست آید.

پیشنهادهایی برای اعمال شرایط مرزی وجود دارند که یکی از آنها مورد بررسی قرار خواهد گرفت: شرطِ مرزی هارتل و هاوکینگ که در چهارچوب رهیافت انتگرال مسیری برای گرانش کوانتمی، پیشنهاد می کند که تابع موج جهان توسط یک انتگرال مسیر روی متریک های اقلیدسی فشرده حاصل می شود. هندسهٔ جهان کنونی لورنتسی است ولی از یک جهان اقلیدسی نشأت گرفته است. این دو هندسهٔ متفاوت، مرزی با یکدیگر دارند که ابرسطح تغییر نشانگان خوانده می شود. ایده تغییر نشانگان ابتدا در گرانش کوانتمی مطرح شد ولی نشان داده شده است که در نسبیت عام کلاسیک نیز می تواند رخ دهد. الیس و همکاران و همچنین هیوارد از نخستین کسانی بودند که به مطالعه تغییرنشانگان کلاسیک پرداختند.

در تغییر نشانگان کلاسیک جوابهایی برای معادلات میدان جستجو می شوند که خمینه هایی شبه ریمانی را توصیف کنند بطوریکه بخشی از آن اقلیدسی و بخشی دیگر لورنتسی باشند. اما وقتی نشانگان متریک از

حالت (++++) به (+++-) تحول می یابد، متریک در هنگام عبور از مرز دو ناحیه، تبهگن خواهد شد (دترمینان آن صفر می شود) و بنابراین معادلات میدان تکین خواهندبود. پس مسأله تغییر نشانگان کلاسیک یعنی یافتن جواب های هموار و پیوسته برای معادلات دیفرانسیل تکین. در تغییرنشانگان کلاسیک، دو رهیافت وجود دارد: پیوسته و ناپیوسته. در رهیافت پیوستهٔ تغییر نشانگان، نشانگان متریک در حین گذار از ناحیه اقلیدسی به لورنتسی به طور پیوسته تغییر می کند. در رهیافت ناپیوسته، متریک در همه جا ناتبهگن است و در حین عبور از ابرسطح تغییر نشانگان پیوسته نیست. رهیافت اول توسط الیس و رهیافت دوم توسط هیوارد پیشنهاد و بررسی شده‌اند. در دیدگاه الیس، فرض میشود که متریک و مشتقات اول آن در حین عبور از ابرسطح تغییرنشانگان پیوسته باشند و در دیدگاه هیوارد، شرط صفر شدن مشتقات اول در روی مرز تغییرنشانگان نیز اعمال می شود.

ایده تغییر نشانگان دارای مزایایی است که مهم ترین آن رفع مشکل تکینگی در نظریه نسبیت عام است. به عبارت دیگر جهان از یک تکینگی اولیه که انفجار بزرگ نامیده می شود، آغاز نشده است. در واقع این ایده را که جهان لورنتسی امروز ناشی از یک ناحیه اقلیدسی است، می توان جایگزین ایده انفجار بزرگ برای آغاز جهان نمود. همچنین در نظریه‌های با ابعاد اضافی، تغییر نشانگان می تواند سازوکاری برای فشرده سازی بُعد اضافه ارائه دهد. در نظر گرفتن ابعاد اضافی برای جهان، اولین بار در نظریه کالوزا-کلاین و به منظور وحدت میدان گرانشی و میدان الکترومغناطیس، با در نظر گرفتن جهان ۵ بُعدی مطرح شد و بسیار مورد توجه فیزیک دانان قرار گرفت؛ به عنوان مثال در نظریه آبرریسمان ۱۰ بُعد و در نظریه آبرگرانش، ۱۱ بُعد برای جهان در نظر گرفته شده است.

در فصول بعدی، ابتدا مفاهیم اصلی در زمینه گرانش و کیهان شناسی، یعنی فضا، زمـان و هندسـه و نظـرات مختلفی که درباره آنها وجود دارد، مغرفی می شود و سپس تاریخچه ای از مـدل هـای کیهـان شناسـی ارائـه می گردد. هدف از معرفی و بررسی نظریات مختلف در زمینه فضا و زمان، طرح مسائل و مشکلاتی است که پیشینه بسیار طولانی در تفکر بشر دارند و به نظر می رسد که تاکنون علم نتوانسته است راه حلی بـرای آنهـا بیابد، نظیر مسأله یک طرفه بودن زمان که جوابی برای آن در دست نیست و امید است که خواننده علاقه مند را به تفکر و چاره جویی برای یافتن جواب این سؤالات تشویق نماید.

در ادامه پس از معرفی رهیافت کانونیک برای کوانتش گرانش و بدست آوردن معادله ویلـر-دویـت، و نیـز بررسی ایده انتگرال مسیری هارتل و هاوکینگ، تغییر نشانگان برای یک مدل کیهان شناسی کالوزا-کلاین بـا یک بعد اضافه و میدان اسپینوری آزاد و خودبرهمکنشی، در حالت کلاسیک و کوانتمی بررسی و نـشان داده می شود که تغییر نشانگان به عنوان سازوکاری برای فشرده سازی بعد اضافه عمل می کند و نیز جواب هـای حاصل از معادله ویلر-دویت با جواب های کلاسیک معادلات میـدان در توافـق هـستند و بیـشینه هـایی بـر مسیرهای کلاسیکی دارند.

فصـــل دوّم

فضـــا، زمـــان و کیـــهان شنـــاســـی

مقـــدمـــه:

اکتشافات و دست یافته های اخیر دانشمندان در زمینه های نجوم و کیـهان شناسی، درک ما را از جهان متحول ساخته است، تحولی که در تاریخ بشـریت همتایی ندارد. ایجاد افق های جدید و نگاهی نو به طبیعت، این نیاز را در انسان اندیشمند بیدار می کند که عقاید و بنیان های فکری خویش را مورد بازبینی قرار دهد و آنها را با این دیـدگاه های تازه هماهنـگ سازد. نظریه نسبیت عام اینشـتین که پایـه های کیهان شناسی نوین بر این نظریه استوار است، ریشه در مفاهیم مبهم و دور از ذهنی همچون «فضـا» و «زمـان» دارد. پس لازم است این مفاهیـم چنـان تعـریف شـوند که با دیـدگاه های جدیـد همـخوانـی داشته باشند. بنابراین بهتر است که تاریخچهٔ این مفاهیم را به طور خلاصه مرور کنیم.

۲-۱ فضـــا*:

تصور فضا در نزد یونانیان باستان به روشنی مشخص نیست. شاید منظور آنها از فضا همان باشد که در نوشته هزیودوس به صورت آشوب[1] و در آراء فیثاغوریان به شکل خلاء نموده می شود. به هرحال در اقوال زنون[2] استدلالی برای رد وجود مکان در دست است که نشان می دهد قبل از افلاطون نیز این موضوع مورد توجه بوده است.

نظریه افلاطون[3] درباره فضـا، آنطور که برتراند راسل[4] و روبن[5] و دیگران از آثار افلاطون تعبیر و تفسیر کرده اند، چنین است که فضا از دیدگاه افلاطون با خصوصیات هندسی تصویر شده است و بدین ترتیب افلاطون را در این مورد پیشوای دکارت و گالیله می دانند. البته باید گفت که علم هندسه که با فیثاغوریان و کمی پیش از افلاطون تکمیل شد، در برخی از جنبه های نظریهٔ فضا در نزد افلاطون، تأثیر بسیاری داشته است. افلاطون در کتاب تیمائوس می گوید: «مکان همیشه وجود دارد و فساد نمی پذیرد. جایی برای تمـام اشیـایـی که به وجود می آیند، فراهم می کند اما خودش، نه بوسیلهٔ حواس، بلکه با نوعی استدلال شگفت انگیز درک می شود و به سختی مورد اعتقاد قرار می گیرد.» این مکان چیزی نیست که عناصر اولیه از آن ساخته شده باشند، بلکه عناصر در آن پدیدار می شوند. «مکان هرگز از خصلت خاص خود جدا نمی شود زیرا پیوسته در حال پذیرفتن همه اشیاء است و هیچگاه و به هیچوجه خصلتی مشابه خصلت چیزهایی که در آن راه می یابند بخود نمی گیرد».[۱]

---

* : فضا و مکان، معادل کلمه space در نظر گرفته شده است.

1 : chaos
2 : Zenon
3 : Plato
4 : B. A. W. Russell
5 : Leon Robin

از دیدگاه ارسطو[1]، جهان ترکیبی از چهار عنصر اصلی آب، خاک، هوا و آتش است و طبیعت (فیزیک)، یعنی مجموعهٔ اشیایی که قابلیت و استعداد و یا میلی درونی به حرکت دارند. حرکت به معنای عام شامل پدید آمدن و از میان رفتن و نیز از سویی به سوی دیگر رفتن است و پیش فرض هر حرکتی نیز، زمان و مکان است. «مکانِ» ارسطو ، حدی است که یک جسم، درون آن است و بنا بر این تعریف، بدیهی است که هیچ مکان خالی و هیچ مکانی خارج از عالم یا جهان نمی تواند موجود باشد.

در نظریات ارسطو این نکته نیز ذکر شـده که حرکت اجسام توسط میل درونی آنها به سمت مکان های مناسبشان در گیتی معیـن می شود. آتـش و هوا به سمت بالا که مکـان مناسب آنهاست، در حرکتند. در عوض خاک و آب و تمامی اجسـام زمیـنی که مخلوطی از آنها هستند به سمت مرکز گیتی حرکت می کنند که این مرکز همان مرکز زمیـن است. و به این دلیـل است که اجسام وقتی از دست ما رها می شوند، به پاییـن سقوط می کننـد؛ نیز وقتی که جسمی را هل می دهیـم و مجبورش می کنیـم که در جهتی خلاف جهت حرکت به سمت مکان مناسبش قرار گیرد، به محض این که این اجبار برداشته شود، حرکت متوقف می گردد. پس در نظریه ارسطو، زمیـن باید مرکز جهان باشد چون در غیر این صورت، نظریه گرانش او درست از کار در نمی آمد.

در قرون وسطی مباحثات درباره فضا بیشتر جنبه دینی داشته است. مثلاً پاتریزی[2] فضا را امتدادی پایدار و قائم به خود که در هیچ چیز نیست، تعریف کرده است و جوردانو برونو[3] فضا را پذیرای همه چیز دانسته است. در تمامی این قرنها فضا در واقع به دو صورت در نظر گرفته می شده است: یا آن را فاصله میان اشیاء ، یا ظرف و جای اشیاء می انگاشته اند [۲].

1 : Aristotle
2 : Patrizzi
3 : Giordano Bruno

نظریه دکارت[1] را باید مؤثرترین نظریه در افکار اندیشمندان بعدی دانست. دکارت با حکم «من فکر می کنم، پس هستم» تمایزی میان نفس و بدن قائل می شود. او فرض می کند که اندیشه مستلزم وجود اندیشنده است و بنابراین از دید او دو نوع جوهر* وجود دارد: جوهر روحانی و جوهر جسمانی. صفت اصلیِ جوهرِ روحانی، فکر کردن است و صفت اصلی جوهر جسمانی، امتداد است.

تعریف دکارت از فضا این است که وقتی ما درباره فضا فکر می کنیم، درباره امتدادی فکر می کنیـم که در عمل به وسیله چیزی مثلاً یک سنگ اشغال شده است و می تواند در صورت برداشته شدن سنگ، توسط اجسام دیگر اشغال شود. از دیدگاه دکارت تصور فضا یک تصور فطری است، نه اکتسابی و حاصل از مشاهده جهان خارج؛ یعنی ما تصور فضا را قبل از مشاهده عالم در درون خود داریم: «فضا یا مکان وجوهر مادّی درون آن فقط به لحاظ اعتبار ذهنی ما با یکدیگر تفاوت دارند».

همچنین دکارت در تعریف مکان می گوید که مکان یک جسم، جسمی دیگر نیست بلکه نمودار وضع خاصی است، یعنی وضعی به لحاظ اجسام دیگر «اگر می گوئیـم که چیزی درمکان خاصی است مقصود ما صرفاً این است که آن شئ به نحو خاصی نسبت به بعضی اشیاء دیگر قرار گرفته است.» پس مکان مُتکثِّر است چون می توان آن را نسبت به نقاط مرجع متفاوتی لحاظ کرد.

به این ترتیب در نظر دکارت، خلاء به معنای دقیق کلمه (یعنی حتی جوهر امتداد نیز وجود نداشته باشد) نمی تواند موجود باشد و نیز عالم به نحو نامحدودی امتداد دارد و نمی تواند دارای مرز معینی باشد زیرا اگر مرزی برای عالم تصور کنیم، فضائی را ورای آن مرز نیز تصور کرده ایم ولی خلاء قابل تصور نیست.

---

1 : René Descartes

* دکارت جوهر را به عنوان «شیئ موجودی که وجود آن مقتضی وجود هیچ چیزی جز ذات خود نیست» تعریف می کند.