دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

شرایط ایجاد سیاه چاله ها در برخورد ذرات پرانرژی

نگارش:

مریم ماهر

استاد راهنما

دکتر حسین غفار نژاد

شهریور ماه ۱۳۹۰

دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

تحت عنوان

شرایط ایجاد سیاه چاله ها در برخورد ذرات پرانرژی

ارائه شده توسط

مریم ماهر

در تاریخ ۲۸ شهریور ماه ۱۳۹۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱- استاد راهنما	دکتر حسین غفار نژاد
۲- استاد داور	دکتر گوهر رستگار زاده
۳- استاد داور	دکتر مهرداد قمی نژاد

بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی

از استاد گرامی جناب آقای دکتر حسین غفار نژاد کـه بزرگوارانـه مسـئولیت راهنمـایی و مشاوره این تحقیق را پذیرفتند و با راهنمایی های ارزنده و مشاوره های دلسوزانه بنـده را در تألیف این پژوهش یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از کلیه کسانی که در طول این پروژه به من یاری فراوان رساندند کمال تشکر را داشته و برایشان آرزوی موفقیت روز افزون می نمایم.

تقدیم به

پدر عزیزم

و

مادر مهربانم

که وجود شان معنای زندگی است.

شرایط ایجاد سیاه چاله ها در برخورد ذرات پر انرژی

چکیده

در این پایان نامه موقعیت هایی بررسی می شود که در آن سیاه چاله ها توسط برخورد ذرات پر انرژی در نواحی فوق پلانکی ایجاد می شوند. خواهیم دید که توصیف نیمه کلاسیکی این پدیده با در نظر گرفتن موج شوک گرانشی برای ذرات در حال حرکت فوق نسبیتی با بر آورده شدن شروطی منجر به ایجاد سیاه چاله می شود. در نهایت به این نتیجه خواهیم رسید که در صورتی که پارامتر برخورد بین ذرات کوچک تر از شعاع شوارتزشیلد ذره هدف باشد، میدان گرانشی هدف پرتابه را در بر می گیرد و در این صورت یک سیاه چاله تشکیل می شود. سیاه چاله ای که به این طریق ایجاد می شود می تواند به عنوان شاهدی ارزنده برای بررسی های آزمایشگاهی ذرات پر انرژی مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست مندرجات

۱ مقدمه ٤

۲ مقدمه ای بر ابعاد اضافی ۸

۲-۱ نیروی گرانشی و بررسی مشکلات این نیرو.....۸

۲-۲ نظریاتی برای برطرف کردن مشکلات نیروی گرانشی.....۱۲

۲-۳ دیدگاه ابعاد اضافی و معرفی دو مدل گرانشی برای ابعاد اضافی.....۱٤

۳ تولید سیاه چاله ۱۹

۳-۱ برخورد ذرات پرانرژی و تولید سیاه چاله.....۱۹

۳-۲ مشخصات عام سیاه چاله تولید شده.....۳٦

٤ بررسی حالت چهار بعدی ٤۱

۵ واپاشی سیاه چاله تولید شده ٤٨

٦ نتیجه گیری ٥٥

پیوست ها ٥٨

پیوست الف: آشنایی با مقیاس پلانک.....٥٨

پیوست ب: میدان گرانشی یک ذره بدون جرم.....٥٩

مراجع ٦٤

واژه نامه فارسی به انگلیسی ٦٦

واژه نامه انگلیسی به فارسی ٦٨

فهرست شکل ها

شکل۲-۱-۱: مقایسه چهار نیروی بنیادی..... ۱۰

شکل ۳-۱-۱: ایجاد برخوردی با پارامتر برخورد غیر صفر..... ۲۳

شکل ۳-۱-۲: پهن شدگی کره شوارتزشیلد در اثر حرکت ذره نسبیتی..... ۲٤

شکل ۳-۱-۳: خطوط میدان الکتریکی برای ذرات در حال سکون و در حال حرکت..... ۲۵

شکل ۳-۱-٤: حرکت امواج شوک در جهات مختلف به سمت یکدیگر..... ۲٦

شکل ۳-۱-۵: ایجاد آینده در مخروط نور..... ۳٤

شکل ٤-۱: پراکندگی یک بار الکتریکی در حضور خطوط میدان الکتریکی..... ٤۲

شکل ۵-۱: گسیل مدهای شامه ای و بالک در فرایند تبخیر هاوکینگ..... ۵۱

فصل اول

مقدمه

یکی از مسائل قابل توجه در شتاب دهنده های ذرات پر انرژی، پدیده ایجاد سیاه چاله ها در اثـر برخـورد ذرات پر انرژی است. مسأله ایجاد سیاه چاله ها در برخورد ذرات پر انرژی از مـدت هـا پـیش مـورد توجـه دانشمندان بوده است. این موضوع در طی سالیان اخیر به دلیل ایجاد آزمایشگاه هـایی نظیـر ال اچ سـی[1] کـه آزمایشات مربوط به پدیده های با انرژی بالا در آنها انجام می گیرد، اهمیـت بیشـتری پیـدا کـرده اسـت. بـه گونه ای که دانشمندان بسیاری امیدوارند که تولید سیاه چالـه هـا در برخـورد چنـین ذراتـی و واپاشـی آنهـا پاسخگوی بسیاری از سؤالات در زمینه گرانش و ذرات بنیادی باشد.

از نقطه نظر گرانشی در صورتی که چنین پدیده هایی به وقوع بپیوندند، می توانیم دریچه ای جدید به سـوی کشف حقایقی که در طی سال ها به عنوان مجهول در ذهن بشر وجود داشته اند بگشاییم. از نقطه نظـر ذرات بنیادی می توان امیدوار بود که با کشف ذرات جدید شاهد بهبود مدل استاندارد باشیم.

۱- LHC (Large Hadron Collider)

اولین قدم برای دست یابی به چنین اهدافی ایجاد نظریه ای جامع و مشخص از لحاظ نظری است. برای ایجاد چنین نظریه ای در مورد تولید سیاه چاله ها در برخورد ذرات پر انرژی باید با نگاهی متفاوت نیروهای موجود در طبیعت را در نظر بگیریم، زیرا همانطور که می دانیم گرانش نقشی در فیزیک انرژی بالای جهان امروزی ندارد. اما برای شروع بحث در این زمینه باید از نظریه ای استفاده کنیم که در آن نیروی گرانشی در انرژی های بالا نه تنها در مقایسه با سایر نیروها قابل اغماض نباشد، بلکه حداقل هم شدت سایر نیروها باشد. چنین ویژگی در مورد نیروی گرانشی در نظریه گرانش کوانتومی دیده می شود، که این نظریه در حوزه مقیاس پلانک برقرار است. پس دیده می شود که برای پرداختن به موضوع مورد بررسی قبل از هر چیز باید مطمئن باشیم که انرژی هایی در محدوده انرژی پلانک در اختیار داریم. با توجه به انرژی مقیاس پلانک که عبارتست از

$$E_P=1.22\times10^{28}\ \text{eV} \qquad (۱-۱)$$

پس در آزمایشگاه باید این مقدار انرژی در دسترس ما قرار گیرد و با برخورد ذرات پر انرژی شاهد ایجاد سیاه چاله باشیم. اما با یک بررسی ساده در مورد برخورد دهنده های امروزی که در مقایسه با برخورد دهنده های چند سال گذشته بسیار قدرتمند تر هستند، می بینیم که امکان ایجاد انرژی عظیم پلانک برای بشر مقدور نیست. بیشترین انرژی که برآورد می شود ال اچ سی، که بزرگ ترین برخورد دهنده فعلی است، به آن دست یابد ۱٤ ترا الکترون ولت است. پس در همین ابتدای کار به این اشکال اساسی بر می خوریم که انرژی مورد نیاز برای ایجاد پدیده های گرانشی خارج از دسترس ما در آزمایشگاه است و اصولا این انرژی به قدری زیاد است که نمی توانیم به ایجاد چنین انرژی عظیمی در آینده امیدوار باشیم.

این موضوع باعث شد این ایده در میان دانشمندان مطرح شود که حال که دست یابی به انرژی عظیم پلانک ممکن نیست، به دنبال ایجاد مقیاسی جدید به جای مقیاس پلانک باشند، مقیاسی که انرژی آن در مقایسه با انرژی پلانک کمتر بوده و به مقادیر انرژی آزمایشگاهی نزدیک تر باشد. به دنبال طرح این ایده گروه های مختلفی به تحقیق در مورد مقیاسی جدید پرداختند و پیشنهاد های مختلفی در این زمینه مطرح شد. پیشنهاد ابعاد اضافی برای فضا زمان و پیشنهاد جهان شامه ای[۱] از مشهورترین این پیشنهادها بودند که مورد توافق بسیاری از دانشمندان قرار گرفتند. با پیشنهاد ابعاد اضافه برای فضا زمان مقیاس جدیدی برای مقیاس پلانک ایجاد می شود که انرژی آن در حدود یک ترا الکترون ولت است.

این مقیاس جدید مقیاس پلانک اصلاح یافته یا مقیاس پلانک D بعدی نام دارد. مقدار انرژی که در این مقیاس ایجاد می شود برابر مقدار انرژی موجود در شتاب دهنده ها می باشد.

۱-braneworld

از این مرحله به بعد دانشمندان با در نظر گرفتن ابعاد اضافی برای فضا زمان موضوع ایجاد سیاه چاله ها در برخورد ذرات پر انرژی را در مقیاس پلانک اصلاح یافته دنبال کردند.

مسأله پراکندگی در انرژی پلانک به صورت تنگاتنگی با نظریه ریسمان و نظریه گرانش کوانتومی در هم تنیده شده است. اخیرا تلاش های بسیاری برای توضیح رفتار پراکندگی پر انرژی در نظریه ریسمان اختصاص داده شده است. در موازای این فعالیت ها هوفت[1] و همراهانش مطالعه ای برای پراکندگی انرژی بالا در نظریه گرانش کوانتومی آغاز کردند، به طوری که گفته می شود ملاحظات آنها به گونه ای است که از اصول نظریه کوانتومی پیروی می کند و در فواصل بزرگ به نسبیت عام تبدیل می شود. اگرچه بررسی این مسأله خالی از لطف نیست، اما در این پایان نامه سعی می کنیم مسأله را به سمتی سوق دهیم که با پیچیدگی های نظریه ریسمان و نظریه گرانش کوانتومی روبه رو نشویم و مسأله را به گونه ای بررسی کنیم که بتوانیم از معلومات کلاسیکی خود در مورد پراکندگی استفاده نماییم. خوش بختانه عقیده ای وجود دارد مبنی بر این که فرایند تشکیل سیاه چاله در برخوردهای کمی بالاتر از انرژی پلانک می تواند به طرز مناسبی توسط نسبیت عام کلاسیکی توصیف شود. در این صورت در مقیاس های فوق پلانکی[2] به هریک از ذرات فرودی در فرایند برخورد یک موج شوک نسبت می دهیم و با استفاده از چنین مدلی و در نظر گرفتن چارچوب مرجع مرکز جرم مسأله برخورد این دو ذره را در متریک مینوکفسکی بررسی می کنیم. وجود سطح مقطع ساده هندسی به عنوان افق رویداد نمایانگر ایجاد سیاه چاله در چنین برخوردی است.

در صورتی که چنین سطح مقطعی تشکیل شود و ذرات فرودی انرژی هایی فقط کمی بیشتر از انرژی پلانک اصلاح یافته داشته باشند، ال اچ سی تقریبا قادر خواهد بود در هر ثانیه یک سیاه چاله تولید کند و در حقیقت یک کارخانه تولید سیاه چاله شود.

در سال های اخیر مقالات زیادی به محاسبه پیشرفته بر مبنای نسبیت عام نیمه کلاسیکی اختصاص داده شده اند به منظور این که برآورد دقیقی از سطح مقطع سیاه چاله ایجاد شده به دست آورند. این محاسبات ادعا می کنند که آثار جرم، اسپین، بار و اندازه ذرات فرودی تقریبا ناچیز است. برخی از این محاسبات ادعا می کنند که آنچه در ایجاد سطح مقطع دارای اهمیت خاص است اثر ثابت کیهانی است، به گونه ای که ثابت کیهانی منفی باعث افزایش سطح مقطع سیاه چاله تشکیل شده می شود، در حالی که ثابت کیهانی مثبت باعث می شود که سطح مقطع ایجاد شده در مقدار بحرانی خاصی نابود شود [1]. یکی از مواردی که می تواند در ادامه کار این پایان نامه به صورت خاص مورد توجه قرار گیرد بررسی برخورد ذرات پر انرژی در متریکی با حضور ثابت کیهانی است.

١-'t Hooft
٢-Trans-Planckian

سیاه چاله ای که به این طریق تشکیل شد پس از گذشت مدت زمانی در مراحل مختلف واپاشی می کند. شناخت این مراحل و زمانی که سیاه چاله در هر یک از این مراحل سپری می کند می تواند به عنوان ابزار مفیدی در آزمایشگاه استفاده شود. هم چنین بررسی طیف حرارتی مربوط به واپاشی سیاه چاله می تواند تأییدی بر فرایند تبخیر هاوکینگ باشد.

این پایان نامه در فصول بعد به این صورت دنبال می شود:

در فصل دوم به بررسی نیروی گرانشی و مشکلات مربوط به این نیرو می پردازیم و راه کارهایی برای گریز از این مشکلات به صورت مدل های گرانشی بیان می شود.

در فصل سوم مسأله برخورد ذرات پرانرژی را بررسی می کنیم. خواهیم دید که حل کامل کلاسیکی مسأله در برخورد امواج شوک در ضمن پیشرفت های چشمگیر هنوز نیاز به تعمق بیشتر دارد و متأسفانه روش کلاسیکی قابل اعمال به بعضی حالات نیست [2]. در این فصل سطح محصور بسته را به عنوان سطح مقطع سیاه چاله به دست می آوریم و خواهیم دید که این مسأله هم ارز با یک مسأله مقدار مرزی برای معادله پواسون است. در ادامه فصل ویژگی هایی برای سطح مقطع ایجاد شده بیان می کنیم که فقط مختص استفاده از روش کلاسیکی است. در حقیقت سطح مقطعی که به وسیله روش های دیگر نظیر نظریه اختلال به دست می آید، ویژگی های منحصر به فرد سطح مقطع کلاسیکی را ندارد و شامل پیچیدگی های بسیار زیاد می باشد.

در فصل چهارم برخورد دو ذره فوق نسبیتی را در چهار بعد در نظر گرفته و رویدادی را که در آن سیاه چاله به وسیله یک فرایند ربایش کلاسیکی شکل می گیرد توصیف می کنیم.

در فصل پنجم به بررسی مراحل واپاشی سیاه چاله تولید شده خواهیم پرداخت و مشخصات سیاه چاله باقی مانده در طی هر مرحله را بیان خواهیم کرد و خواهیم دید که می توانیم اطلاعاتی در مورد ذرات گسیل شده در طی فرایند واپاشی به دست آوریم.

در فصل ششم نتایج حاصل از برخورد ذرات پر انرژی را به اختصار بیان می کنیم و پیشنهاد هایی برای ادامه کارهای بعدی در این راستا ارائه می شود.

فصل دوم

مقدمه ای بر ابعاد اضافی

۲-۱ نیروی گرانشی و بررسی مشکلات این نیرو

همانطور که می دانیم در طبیعت چهار نیروی اصلی وجود دارد. این نیروها عبارتند از : نیروی هسته ای قوی، نیروی هسته ای ضعیف، نیروی الکترو مغناطیسی و نیروی گرانشی. در حوزه فعلی از جهان نیروی گرانشی در مقابل سایر نیروها بسیار ضعیف است و به همین خاطر بررسی این نیرو و آزمایش ها در مورد این نیرو به کندی و دشواری صورت می پذیرد.

به طوری که اگر به عقب برگردیم و پیشرفت فیزیک در دهه ۶۰یا ۷۰ را مورد بررسی قرار دهیم، جدایی آشکار بین فیزیکدانانی که در زمینه فیزیک ذرات کار می کردند و فیزیکدانانی که در زمینه نظریه گرانش کار می کردند مشاهده می شود . در آن زمان آزمایش هایی که در زمینه فیزیک ذرات انجام می شد به انرژی هایی بسیار کوچک تر از انرژی مورد نیاز برای آثار گرانشی نیاز داشتند و از این رو به سادگی فرض

می شد که گرانش در مقایسه با برهم کنش های بنیادی دیگر بسیار ضعیف است و نمی تواند با آن ها اتحاد داده شود. از این رو گرانش در همان سطح کلاسیکی نگه داشته شد و تلاش ها به سوی فیزیک ذرات، محاسبه دیاگرام های فاینمن و نرخ های واپاشی معطوف شد. حتی سال ها بعد از بیان نظریه نسبیت عام توسط اینشتین، نسبیت عام در حیطه کار فیزیکدانانی بود که به بررسی ریاضی فرمول ها علاقمند بودند و به مفاهیم فیزیکی نظریه ها کاری نداشتند[3]. در سال ۱۹۷۵ هاوکینگ مقاله ای در مورد تشعشع گرمایی سیاه چاله ها منتشر کرد که در آن مقاله اولین بار مسأله آشتی بین فیزیک ذرات و نظریه گرانش مطرح شده بود. در واقع هاوکینگ با ترکیب نسبیت عام و نظریه میدان کوانتومی نشان داد که سیاه چاله ها همانند جسم سیاه تشعشع گرمایی دارند. از آن زمان به بعد دانشمندان در پی یافتن راهی برای ایجاد وحدت بین این دو شاخه از فیزیک پرداختند و به این طریق به بررسی نیروی گرانشی هم چون سایر نیروها پرداخته شد.

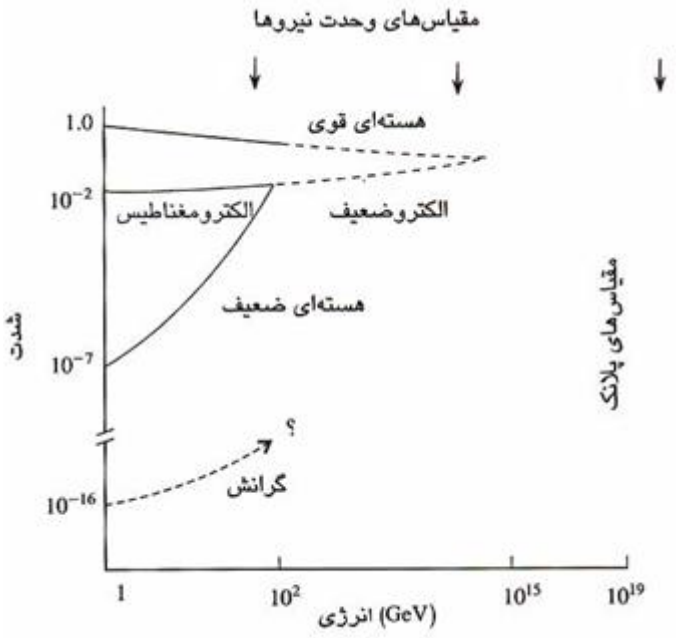
هم اکنون بعد از گذشت سال ها و به خصوص در طی سالیان اخیر بررسی نیروی گرانشی و اثرات مرتبط با آن به یکی از موضوعات قابل توجه برای دانشمندان تبدیل شده است. بدون شک بررسی این گونه آثار می تواند راه گشای دانشمندان در پاسخ دادن به بسیاری از مجهولات در زمینه گرانش باشد.

با این بیان مشخص می شود که برای بررسی آثار گرانشی، نیروی گرانشی باید نیروی برجسته ای در مسأله باشد. به این معنا که بر خلاف بسیاری از نظریه ها که نیروی گرانشی را در مقابل سایر نیروها قابل چشم پوشی در نظر می گیرند، در این مورد از نیروی گرانشی نمی توان چشم پوشی کرد.

از سویی می دانیم که حوزه ای که در آن همه نیروهای بنیادی اعم از گرانشی، هسته ای قوی، هسته ای ضعیف و الکترو مغناطیسی هم شدت بوده و نیروی گرانش در مقابل سایر نیروها غیر قابل اغماض می گردد، حوزه ای است که در آن گرانش کوانتومی محض اعتبار دارد. این حوزه اعتبار نخستین بار توسط ماکس پلانک استخراج شد که با نام خود او یعنی مقیاس پلانک نام گرفت[4].

بر طبق محاسباتی که پلانک انجام داد انرژی پلانک یا در واقع انرژی که در آن تمام نیروهای بنیادین هم شدت هستند، عبارتست از

$$E_P=1.22\times10^{28}\ \text{eV} \qquad (۱-۱-۲)$$



شکل ۲-۱-۱: مقایسه چهار نیروی بنیادی

از این جا مشخص می شود که برای بررسی آثار گرانشی و مشاهده آثار تجربی در این زمینه باید انرژی هایی در حدود انرژی پلانک در دست داشته باشیم. شاید تصور شود که برای بررسی موضوع کافی است که در آزمایشگاه هایی کار کنیم که چنین انرژی عظیمی را در دسترس بشر قرار دهند.

اما قبل از هرگونه کار در این زمینه، اصولا باید دید که آیا می توان چنین انرژی عظیمی را در آزمایشگاه ایجاد کرد و یا این که آیا در طبیعت منبعی داریم که حامل این انرژی عظیم باشد ؟

برای پاسخ دادن به سؤال اول باید بررسی کرد که در آزمایشگاه هایی که در زمینه انرژی های بالا کار می کنند چه مقدار انرژی تولید می شود. در حال حاضر ال اچ سی (برخورد دهنده بزرگ هادرونی) واقع در سرن سوئیس بزرگ ترین برخورد دهنده ذرات با انرژی بالا است. بر طبق پیش بینی دانشمندان در این برخورد دهنده نهایتا انرژی هایی از مرتبه ۱۴ ترا الکترون ولت تولید می شود، که این انرژی معادل است با :

$$14\text{TeV}=14\times 10^{12}\text{eV} \qquad (۲-۱-۲)$$

از سویی در آر اچ آی سی[۱] (برخورد دهنده یون های سنگین نسبیتی) واقع در آزمایشگاه ملی بروخاون[۲] انتظار می رود انرژی هایی نهایتا تا ۱۰۰ترا الکترون ولت تولید شود[5] .

۱-Relativistic Heavy Ion Collider
۲-Brookhaven National Laboratory

با مقایسه این انرژی ها با انرژی پلانک دیده می شود که انرژی موجود در مجهزترین آزمایشگاه های انـرژی بالا در دنیا ۱۶مرتبه از انرژی پلانک کوچک تر است.

از سوی دیگر در طبیعت منابع عظیم انرژی پرتو های کیهانی هستند که می توانند انرژی هایی بـالاتر از $۱۰^{۲۰}$ الکترون ولت داشته باشند. علاوه بر این که دست یابی به انرژی پلانک با استفاده از پرتوهای کیهانی نیز بعید به نظر می رسد، اشکال اساسی چنین پرتوهایی این است که برای آشکار سازی تعداد محـدودی از آنهـا بـه حداقل کیلومترها تجهیزات نیازمندیم تا بتوانیم تعداد معقولی از آنها را دریک سال مشاهده نماییم[3].

پس به این اشکال اساسی بر می خوریم که دسترسی به انرژی پلانک با استفاده از شتاب دهنده های امروزی ممکن نیست و از سویی دسترسی به این انرژی با استفاده از آشکار سازهای پرتو کیهانی کاری است پرهزینه و مشکل که به آرامی صورت می پذیرد. پس فعلا نمی توانیم از لحاظ تجربی به مقیاسی که در آن گرانش بـا سایر نیروها وحدت داده می شود نزدیک شویم.

در این صورت چه باید کرد؟ آیا هم چنان به دلیل انرژی بالایی که نیاز اسـت تـا گـرانش بـا سـایر نیروهـا وحدت داده شود، موضوع ایجاد سیاه چاله و صدها موضوع دیگر در این زمینه تنها به صورت نظریاتی بدون شاهد تجربی باقی خواهند ماند یا این که راهی برای فرار از این مشکل وجود دارد؟

در قسمت بعد این موضوع را به تفصیل مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲-۲ نظریاتی برای برطرف کردن مشکلات نیروی گرانشی

در قسمت قبل به این نتیجه رسیدیم که مقیاس پلانک که مقیاسی است که گرانش با سایر نیروها وحدت داده می شود، قابل دسترس ما در آزمایشگاه و طبیعت نیست و این انرژی به قدری زیاد است که متأسفانه نمی توانیم امیدوار باشیم که در آینده به آن دسترسی پیدا کنیم. از این رو باید به دنبال راه کاری بود تا بتوانیم تفاوت بسیار زیاد بین مقادیری که از روابط پلانک به دست آمده و مقادیر تجربی موجود در آزمایشگاه های انرژی بالا را از بین ببریم.

دانشمندانی که در این زمینه کار می کنند بر این عقیده اند که از آن جا که نمی توانیم از لحاظ تجربی به مقدار انرژی پلانک دست یابیم، از لحاظ تئوری فرمول بندی دیگری به دست آوریم و نمایش دیگری از مقیاس پلانک را بازنویسی کنیم، نمایشی که فرض های بیشتری برای پیشگویی حضور آثار گرانش کوانتومی در مقیاس های انرژی مشاهده پذیر داشته باشد.

بر این مبنا دانشمندان ایده جدیدی را مطرح کرده اند که می گوید جهان ما ممکن است بیش از سه بعد فضایی شناخته شده طول و عرض و ارتفاع داشته باشد [6]. نظریه وجود ابعاد اضافی اولین بار برای برطرف کردن تفاوت مرتبه ها بین مقیاس پلانک و مقیاس جرم الکترو ضعیف مطرح شد. مقیاس جرم الکترو ضعیف مقیاسی است که در آن اجرام ذره ای مدل استاندارد نظیر کوارک ها ولپتون ها تولید می شوند. این مقیاس جرم تقریبا به اندازه یک ترا الکترون ولت است. دیده می شود که تفاوت بین این دو مقیاس ۱۶مرتبه است. این پیشنهاد ادعا می کند که در صورتی که ساختار اضافی برای گرانش در نظر گرفته شود این تفاوت مرتبه بین دو مقیاس به صورت قابل ملاحظه ای از بین خواهد رفت.

این موضوع اگرچه در ابتدا فقط به صورت پیشنهاد مطرح شد، اما امروزه بسیاری از دانشمندان با قاطعیت چنین نظریه ای را پذیرفته اند. به گونه ای که گمان می رود در غیاب هر گونه ابعاد اضافی گرانش کوانتومی برای همیشه از دست برود. به این معنا که میزان پیشرفت تکنولوژی برای دست یابی به انرژی بسیار عظیم پلانک به صورتی است که قبل از هرگونه شاهد تجربی برای گرانش کوانتومی در آزمایشگاه، نسل بشر منقرض خواهد شد. از این رو از ابعاد اضافی به عنوان دستاویزی برای مشاهده آثار تجربی استفاده می کنیم.

در توضیح این ایده باید گفت که یکی از ویژگی های اعجاب انگیز نظریه نسبیت عام این است که به صورت مستقیم می توان آن را به تعداد دلخواهی بعد بسط داد. با توجه به شکل ریاضی معادله اینشتین که عبارتست از

$$G_{\mu\nu}= R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = -8\pi G T_{\mu\nu} \qquad (۱-۲-۲)$$

از آنجا که معادله اینشتین بر حسب تانسورهای مرتبه دو بیان می شود، اندیس های این تانسورها می توانند هر مقداری را داشته باشند که بستگی به فرض های ما برای ابعاد فضا زمان دارند، بدون این که مشکلی از لحاظ سازگاری ریاضی پیش بیاید[7]. بر این اساس چند سال بعد از فرمول بندی نظریه نسبیت عام توسط اینشتین، اولین پیشنهاد در مورد ابعاد اضافی توسط کالوزا[۱] مطرح شد و اولین تلاش برای استخراج نظریه ای واحد که در آن گرانش نقش اصلی را ایفا کند آغاز شد. هم اکنون نظریه های مختلفی برای تعداد ابعاد فضا زمان وجود دارد. یکی از مهم ترین نظریه ها در این زمینه ، نظریه ریسمان است که شش یا هفت بعد فضا گونه اضافی را برای جهان قائل شده است.

در چند سال اخیر موضوع ابعاد اضافی و شناسایی این ابعاد در فیزیک ذرات به موضوعی بسیار قابل توجه تبدیل شده است و بسیاری از دانشمندان بر این باورند که ابعاد اضافی در محاسبات واندازه گیری های جهان قابل مشاهده ما نقش دارند. گروهی از این دانشمندان بر این باورند که هر چند تاکنون این ابعاد اضافی مشاهده نشده اند، اما وجود آنها می تواند خواص مهمی از مدل استاندارد را نیز توضیح دهد.

ما در این جا بدون پرداختن به جزئیات نظریه ریسمان و نظریه های مشابه دیگر در این زمینه n بعد فضا گونه اضافی برای جهان در نظر می گیریم و خواهیم دید که با این نظریه به نمایش جدیدی از مقیاس پلانک دست می یابیم که به مقیاس قابل مشاهده ما و یا به بیانی به مقدار انرژی موجود در آزمایشگاه بسیار نزدیک است.

در قسمت بعد به بیان دیدگاه ابعاد اضافی خواهیم پرداخت و دو مدل گرانشی معروف در این زمینه را معرفی خواهیم کرد.

۱-Kaluza

۲-۳دیدگاه ابعاد اضافی و معرفی دو مدل گرانشی برای ابعاد اضافی

یکی از انگیزه های اصلی برای در نظر گرفتن ابعاد اضافی از نظریه ریسمان ناشی می شود. نظریه ریسمان به منظور ایجاد نظریه ای واحد میان نظریه اینشتینی گرانش و مکانیک کوانتومی به وجود آمد. بر طبق ادعای نظریه ریسمان، به شرط این که تعدادی بعد اضافی برای فضا در نظر بگیریم می توان چنین نظریه واحد و سازگاری را ایجاد کرد.

کلید شناخت ابعاد فضا از نظر تجربی و آستروفیزیکی توجه به قانون نیوتنی گرانش است که می گوید نیروی بین دو ذره عبارتست از $G_N m_1 m_2 / r^2$ که دراین رابطه r فاصله جدایی بین دو جرم است. در آحادی که $\hbar=c=1$ ، ثابت نیوتنی عبارتست از $(10^{-33}\text{cm})^2$، این مقدار به طور معکوس با مجذور جرم پلانک متناسب است که انرژی هایی از مرتبه پلانک فقط در طول پلانک می توانند ایجاد شوند. از آن جا که نیروی گرانشی بین دو جرم متناسب با حاصل ضرب جرم های آنها است، قانون نیروی گرانش برای اجرام ماکروسکوپیک که در فواصل بسیار زیاد از یکدیگر قرار دارند به خوبی تأیید می شود. اما هرچه جرم اجرام کوچک تر می شود ضعف نیروی گرانشی نیوتن بیشتر مشخص می شود. گروه های مختلفی به بررسی اعتبار قانون نیوتنی گرانش پرداخته اند، امروزه بهترین اندازه گیری از آزمایش های بسیار دقیقی که گروه آدل برگر[۱] در دانشگاه واشنگتن انجام داده اند به دست می آید. بر طبق آزمایش های این گروه قانون نیوتنی گرانش تا فواصل یک دهم میلی متر اعتبار دارد. در فواصل کوچکتر از این مقدار این قانون اعتبار خود را از دست می دهد. این گفته به این معناست که گرانش در سه بعد فضایی شناخته شده در فواصلی از یک دهم میلی متر تا فواصل آستروفیزیکی و کیهانی پاسخگوی سؤالات در این زمینه است[8] .

نظریه های مختلفی برای برطرف کردن مشکلات نیروی گرانشی در فواصل کوچک تر از یک دهم میلی متر مطرح شده است. در این میان نظریه ابعاد اضافی نظریه ای بود که توجه دانشمندان زیادی را که به این گونه موضوعات علاقه داشتند به خود جلب کرد. از آن جا که ابعاد اضافی برای بشری که فقط سه بعد فضا را درک می کند ابهام آمیز است، نظریه های مختلفی برای تعداد ابعاد اضافی و اندازه این ابعاد مطرح شد.

اولین بار کالوزا پیشنهاد یک بعد فضایی اضافه را مطرح کرد. در حالی که او معتقد بود سه بعد فضایی شناخته شده نا متناهی هستند، اما بعد اضافی او اندازه مشخصی داشت. او بعد اضافی را در دایره ای به شعاع r_c تصور می کرد.

در ادامه کارهای کالوزا، کلین[۲] مقدار طول پلانک را برای اندازه بعد اضافی پیشنهاد کرد که کاملا غیرقابل مشاهده بود. با در نظر گرفتن این بعد اضافی گرانش به صورت قابل ملاحظه ای در فواصل حداکثر تا

۱-Adelberger's group
۲-Klein