بسم الله الرحمن الرحيم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب سیده الهه حسن پور دانش‌آموخته‌یمقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش بنیادی (نظری) دانشکده‌ی علوم دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۲۲۳۵۳۱۰۲ که در تاریخ ۱۳۹۲/۷/۲۱ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان محاسبه آنتروپی سیاهچاله‌ها در نظریه ریسمان دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

۲) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.

۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.

۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام ونام خانوادگی دانشجو:

امضا

تاریخ

دانشکده‌ی علوم پایه

گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی فیزیک بنیادی (نظری)

عنوان:

محاسبه آنتروپی سیاهچاله‌ها در نظریه ریسمان

استادراهنما:

دکتر قادر نجار باشی

پژوهشگر:

سیده الهه حسن پور

پاییز ۱۳۹۲

دانشکده‌ی علوم پایه

گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی فیزیک بنیادی (نظری)

عنوان:

محاسبه آنتروپی سیاهچاله‌ها در نظریه ریسمان

پژوهشگر:

سیده الهه حسن پور

ارزیابی وتصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه بادرجه‌ی عالی

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر قادر نجارباشی	استاد یار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
دکتر داوود منظوری	استادیار	داور	
دکتر حسین محمدزاده	استادیار	داور	

مهر-۱۳۹۲

تقدیر و سپاس

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق رارفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر نجارباشی به عنوان استاد راهنما که همواره مرا مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال تشکر را دارم .

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه ی تلاشهای محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده اند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته اند.

همسر مهربانم به پاس قدر دانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و آسایش برای من فراهم آورده است. همو که حس تعهد و مسئولیت را در زندگی مان تلالویی خدایی داده است و تلاش را ستین را می شناسد و عطر رویایی آن را استشمام می کند و مرا در راه رسیدن به اهداف عالی یاری می رساند.

برادرم که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بود و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودش مایه دلگرمی من می باشد.

خواهرم که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است.

استادان فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند.

آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند.

آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه ی راهم بود.

الهی به من کمک کن تا بتوانم ادای دین کنم و به خواسته ی عزیزانم جامه ی عمل بپوشانم.

نام خانوادگی: حسن پور نام: سیده الهه

عنوان پایان‌نامه: محاسبه آنتروپی سیاهچاله‌ها در نظریه ریسمان

استاد راهنما: دکتر قادر نجار باشی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک

گرایش: بنیادی دانشگاه: محقق اردبیلی

دانشکده: علوم تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۷/۲۱ تعدادصفحات: ۱۴۰

چکیده:

سیاه‌چاله ناحیه‌ای از فضا-زمان است که جرم در آن فشرده شده است. وجود سیاه‌چاله‌ها در نظریه نسبیت عام آلبرت انشتین پیش بینی می‌شود. این نظریه پیش بینی می‌کند که یک جرم به اندازه کافی فشرده می‌تواند سبب تغییر شکل و خمیدگی فضا-زمان وتشکیل سیاهچاله شود. آنتروپی سیاهچاله مقدار انتروپی است که بایستی برای یک سیاهچاله در نظر گرفت تا از دیدگاه ناظر خارجی، این سیستم از قوانین ترمودینامیک تبعیت کند. هاوکینگ نشان داد که در شرایط عمومی مساحت کل افق‌های رویداد هر مجموعه‌ای از سیاهچاله‌ها هرگز نمی‌تواند کاهش یابد حتی اگر با یکدیگر برخورد و در هم ادغام شوند. این نتیجه که امروزه به عنوان قانون دوم ترمودینامیک سیاهچاله‌ها شناخته می‌شود شباهت قابل توجهی با قانون دوم ترمودینامیک دارد که بیان می‌کند که آنتروپی کل سیستم هرگز کاهش نمی‌یابد. تصور می‌شد که سیاهچاله‌ها هم همچون اجسام کلاسیکی که در دمای صفر مطلق هستند، آنتروپی صفر دارند. پذیرش این تصور سبب نقض قانون دوم ترمودینامیک می‌شود زیرا با ورود ماده دارای آنتروپی به سیاهچاله بدون آنتروپی، آنتروپی کل در جهان به اندازه آنتروپی ماده‌ای که جذب سیاهچاله شده کاهش می‌یابد. از این رو بکن اشتاین پیشنهاد کرد که یک سیاهچاله باید آنتروپی داشته باشد و آنتروپی آن با مساحت افق رویدادش متناسب باشد. ما در این پایان‌نامه با اشاره به معادلات انیشتین و حل این معادلات که وجود سیاهچاله را اثبات می‌کند به معرفی انواع سیاهچاله و ویژگی‌های هر کدام می‌پردازیم. سپس ترمودینامیک سیاهچاله وقوانین حاکم بر آن را بررسی می‌کنیم. دما وآنتروپی سیاهچاله را بدون در نظر گرفتن نظریه ریسمان بیان می‌کنیم. در آخر با معرفی نظریه ریسمان، ابر تقارن و ... آنتروپی سیاهچاله‌های کوانتومی را از دیدگاه نظریه ریسمان بدست می‌آوریم.

کلیدواژه‌ها: ابر تقارن، افق رویداد، آنتروپی، سیاهچاله، نظریه ریسمان

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب صفحه

فصل اول: نسبیت عام و معادلات انیشتین

مقدمه ۲
۱-۱- تاریخچه ۲
۱-۲- اهمیت مطالعه سیاهچاله ها ۷
۱-۳-نسبیت عام ۱۰
۱-۴- معادلات انیشتین ۱۰
۱-۵- چگالی تکانه و شار انرژی ۱۱
۱-۶- معادله‌ی انیشتن با ثابت کیهانشناسی ۱۴

فصل دوم: انواع سیاه چاله ها

۲-۱- سیاهچاله های کوانتومی ۱۷
۲-۲-سیاهچاله های آغازین ۱۸
۲-۳-سیاهچاله های کلاسیک ۱۹
۲-۴- حل شوارتسشیلد برای سیاهچاله های ایستا و بدون بار ۱۹
۲-۵- رفتار مخروط نوری در نزدیکی تکینگی ۲۰
۲-۶- مسیر ذرهی در حال سقوط شعاعی ۲۱
۲-۷- افق رویداد ۲۲
۲-۸- سیاهچاله‌هایی با بار الکتریکی ۲۳
۲-۹- سیاهچاله‌های چرخان ۲۵
۲-۱۰- سیاهچاله‌های فرین ۲۸

فصل سوم: ترمودینامیک سیاه چاله ها

۳-۱- گرانش سطحی سیاهچاله شوارتسشیلد ۳۱
۳-۲- گرانش سطحی سیاهچاله کر ۳۲
۳-۳- انتقال به سرخ ۳۳
۳-۴- تغییرات مساحت افق رویداد سیاهچاله کر ۳۳
۳-۵- تغییر مساحت در روش پنروز ۳۵
۳-۶- قضیه مساحت ۳۵
۳-۷- بر افزایش ماده ۳۵
۳-۸- ترمودینامیک ۳۶
۳-۹- چهار قانون ترمودینامیک سیاهچاله ها ۳۶
۳-۱۰- شباهت‌های قوانین ترمودینامیک با قوانین سیاهچاله ۳۷
۳-۱۱- آنتروپی ۳۸
۳-۱۲- تابش هاوکینگ ۴۱

۱۳-۳- پارادوکس اطلاعات ۴۴
۱۴-۳- افت وخیزهای خلاء درانتشاگرفوتون برای جدایی فضاگونه درنزدیکی افق رویداد ۴۶

فصل چهارم: نظریه ریسمان

۱-۴- تاریخچه نظریه‌ی ریسمان‌ها ۵۱
۲-۴- چرا ریسمان؟ ۵۸
۳-۴- مدل استاندارد ۵۹
۴-۴- کوانتش میدان گرانشی ۶۰
۵-۴- برخی تجزیه و تحلیلها در نظریه ریسمان ۶۱
۶-۴- وحدت و ثوابت بنیادی ۶۱
۷-۴- مروری بر نظریه ریسمان ۶۳
۸-۴- انواع نظریه‌های ریسمان ۶۴
۹-۴- ابر تقارن ۶۵
۱۰-۴- استخراج مدل استاندارد ۶۷
۱۱-۴- نظریه M - ۶۸
۱۲-۴- D ـ پوسته ها ۷۰
۱۳-۴- معادلات حرکت برای ریسمان ۷۳
۱۴-۴- مشخصه ی اویلرχ ۷۴
۱۵-۴- مختصات مخروط نوری ۷۵
۱۶-۴- حل‌های معادله میدان ۷۷
۱۷-۴- ریسمان‌های باز با نقاط انتهای آزاد ۷۸
۱۸-۴- ریسمان‌های بسته ۷۹
۱۹-۴- ریسمان‌های باز با انتهای ثابت ۸۰
۲۰-۴-براکت‌های پواسون ۸۰
۲۱-۴-کوانتش ریسمان ۸۱
۲۲-۴-کوانتش هموردا ۸۱
۲۳-۴- روابط جابه جایی برای ریسمان بسته ۸۲
۲۴-۴- روابط جابه جایی برای ریسمان باز ۸۳
۲۵-۴- مختصات مختلط ۸۶
۲۶-۴- ابر تقارن ۸۷
۲۷-۴- بعد بحرانی ۸۷
۲۸-۴- مدل کمتر شناخته شدهی ابر متقارن ۸۸
۲۹-۴- بعد ۲۵ ام ۸۸
۳۰-۴- دوگان ـ T برای ریسمان بسته ۹۱
۳۱-۴ -ریسمان باز و دوگان ـ T ۹۲
۳۲-۴- تقارن نظریه ابر ریسمان ۹۲
۳۳-۴- نظریه ریسمان بوزونی ۹۳
۳۴-۴- برخی جنبه‌های کلیدی نظریه ریسمان بوزونی ۹۴

۴-۳۵- نظریه ابر ریسمان ۹۶
۴-۳۶- نظریه ریسمان نوع I ۹۶
۴-۳۷- نظریه ریسمان نوعA- II ۹۶
۴-۳۸- نظریه ریسمان نوعB- II ۹۷
۴-۳۹- نظریه هتروتیک (۳۲)SO ۹۷
۴-۴۰- حالت‌های گرانشی ذره ۹۹
۴-۴۱- دوگان ۹۹
۴-۴۲- دوگان ـ T ۱۰۰
۴-۴۳- دوگان ـ S ۱۰۱
۴-۴۴- بعد یازدهم و نظریه-M ۱۰۲
۴-۴۵- نظریه ریسمان و کیهانشناسی ۱۰۳
۴-۴۶- متریک کازنر ۱۰۳
۴-۴۷- مدل راندال – سوندروم ۱۰۵

فصل پنجم: محاسبه آنتروپی سیاه چاله با در نظر گرفتن نظریه ریسمان ها

۵-۱- سیاه‌چاله ایستا درD بعد ۱۰۸
۵-۲- سیاه‌چاله های باردار ۱۰۹
۵-۳- قوانین مکانیک سیاهچاله ها ۱۱۱
۵-۴- سیاهچالههای چرخان باردار ۱۱۳
۵-۵-ترمودینامیک سیستم ـ R ۱۱۵
۵-۶-ترمودینامیک سیستم L ۱۱۷
۵-۷- ارتباط بین سیستمهای R و L با ترمودینامیک سیاهچاله چرخان باردار ۱۲۰
۵-۸- محاسبه دما و آنتروپی سیاهچاله شوارتسشیلد ۱۲۲
۵-۹- محاسبه آنتروپی سیاهچاله ها با در نظر گرفتن نظریه ریسمان ۱۲۴
۵-۱۰-آنتروپی سیاهچاله های غیر فرین باردار با سه بار الکتریکی ۱۲۸
۵-۱۱- آنتروپی سیاهچاله ابر متقارن چرخشی با سه بار الکتریکی برای ۵ = D ۱۳۰
۵-۱۲-آنتروپی سیاهچاله های باردار با چهار بار الکتریکی برای ۴ = D: ۱۳۱
۵-۱۳- آنتروپی برای سیاهچاله های فرین ۱۳۲
۵-۱۴- اصل هولوگرافی ۱۳۳
منابع و مآخذ ۱۳۶
واژه نامه ۱۳۹

فهرست اشکال

شماره و عنوان شکل | صفحه

شکل۱-۲: تغییرات مخروط نوری ۲۱
شکل۲-۲: مخروط‌های نوری در مختصات ادینگتون- فینکلشتاین..... ۲۲
شکل۳-۲: ناحیه ارگوسفری وافق رویداد وتکینگی در سیاهچاله‌های چرخان ۲۸
شکل۱-۳: افت وخیزهای خلا را در نزدیکی افق سیاهچاله..... ۴۳
شکل ۲-۳: افت وخیز فوتون..... ۴۱
شکل۱-۴:ذره نقطه‌ای..... ۵۳
شکل۲-۴: ذره به صورت یک ریسمان در نظریه ریسمان..... ۶۰
شکل۳-۴: ریسمان بسته ۵۶
شکل۴-۴: ریسمان باز..... ۶۳
شکل۵-۴: جهان خط..... ۵۶
شکل۶-۴: جهان سطح..... ۶۳
شکل۷-۴: اتحاد سه نیرو ۶۷
شکل۸-۴: ریسمان‌های نوع I ۶۹
شکل ۹-۴: فضا زمان بیرون D- پوسته..... ۷۲
شکل۱۰-۴ : تبدیل مختصات معمولی به مختصات نورگونه..... ۷۶
شکل۱۱-۴: پیچش ریسمان..... ۷۹
شکل۱۲-۴: ارتباط نظریه‌های ریسمان ۹۵

فصل اول:

نسبیت عام و معادلات انیشتین

مقدمه

۱-۱- تاریخچه

در سال ۱۷۸۳، جان میشل[1] نخستین کسی بود که این سوال برایش مطرح شد، اگر ستاره‌ای به اندازه‌ای سنگین باشد که حتی نور نیز نتواند از آن بگریزد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ او می‌دانست که هر جرمی دارای یک «سرعت گریز» است؟ سرعتی که لازم است تا بتوان از نیروی گرانش آن گریخت. میشل از خود پرسید اگر ستاره‌ای چنان سنگین باشد که سرعت گریز آن با سرعت نور برابر شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ در این حالت، نیروی گرانش چنان عظیم خواهد بود که هیچ چیز نمی‌تواند از آن بگریزد، حتی خود نور و درنتیجه این جرم از دید دنیای خارج سیاه دیده می‌شود. یافتن چنین جرمی در فضا به نوعی غیر ممکن است، زیرا چنین جرمی قابل رؤیت نیست. درگیری ذهنی میشل در مورد ستاره‌های تاریک، به مدت یک و نیم قرن به فراموشی سپرده شد. اما این مسئله در سال ۱۹۱۴ مورد بررسی قرار گرفت؛ زمانی که کارل شوارتسشیلد[2]، فیزیکدان آلمانی که در ارتش آلمان در جبهه روسیه خدمت می‌کرد، جواب دقیق معادلات انیشتین[3] را برای ستاره‌ای غول پیکر یافت. انیشتین به سرعت از این راه حل استفاده کرد تا گرانش اطراف خورشید را محاسبه و یافته تقریبی قبلی خود را بازبینی کند. به همین دلیل، او تا ابد مدیون شوارتسشیلد بود. اما شوارتسشیلد در مقاله دوم خود نشان داد که در اطراف یک ستاره غول پیکر، یک «کره جادویی» تخیلی با ویژگی‌های عجیب و نامأنوس وجود دارد.برای جرمی به ابعاد خورشید ما، قطر جادویی در حدود ۳ کیلومتر است. اگر بتوان خورشید را تا قطر ۳

[1] - John Michael
[2]- Karl Schwarzschild
[3]- Albert Einstein

کیلومتر فشرده کرد آنگاه به یک ستاره تاریک تبدیل می‌شود. نظریه نسبیت عام انیشتین گرچه نتایجی واضح و روشن، مثلاً در مورد خمیدگی نور ستارگان در اطراف خورشید ارائه کرد اما با نزدیک شدن به خود کره جادویی جایی که گرانش نامحدود می‌شود، نظریه دیگر معنی نداشت. فیزیکدان هلندی، به نام یوهانس دِروست[1]، بی معنی بودن این پاسخ را بیش از پیش آشکار کرد. بر اساس نسبیت عام، زمانی که پرتوهای نور اطراف جرمی چگال حرکت کند، به شدت خمیده می‌شوند. او نشان داد که در فاصله ۱/۵ برابر قطر شوارتسشیلد، پرتوهای نوری در دوایری به دور ستاره می‌چرخند. دروست نشان داد که با نزدیک شدن شما به این کره جادویی، ناظر دور دست مشاهده می‌کند که ساعت شما کندتر و کندتر می‌شود تا اینکه موقع عبور از مرز، کاملا از حرکت می‌ایستد. در حقیقت از دید ناظری در بیرون، زمان برای شما، با رسیدن به کره جادویی، متوقف می‌شود. از آنجا که خود زمان نیز در این نقطه متوقف می-شود، برخی فیزیکدانان عقیده داشتند که چنین شیء نامأنوسی نمی‌تواند در طبیعت وجود داشته باشد. آیا این تکینگی یک تکینگی واقعی است؟ در سال ۱۹۳۲، جورج لِمیتره[2]، پدر نظریه انفجار بزرگ، تحولی بزرگ ایجاد کرد. او نشان داد که کره جادویی به هیچ وجه یک تکینگی نیست، منظور ازکینگی جایی است که گرانش در آنجا بی نهایت می‌شود. تکینگی کره جادویی تنها خطایی ریاضی است که با انتخاب مجموعه نامناسبی از روابط ریاضی به وجود آمده است. اگر مجموعه متفاوتی از مختصات و متغیرها را برای محاسبه کره جادویی به کار گیریم، تکینگی از بین می رود. کیهانشناسی به نام اچ پی رابرتسون[3]، با درنظر گرفتن این نتایج، ادعای اولیه دروست را مبنی بر این‌که زمان در کره جادویی متوقف می‌شود، مجدداً مورد بررسی قرار داد. او دریافت زمان، تنها از دید ناظری که موشک شما را در حال ورود به کره جادویی مشاهده می‌کند، متوقف می‌شود. از نظر خود شما در موشک، تنها کسر کوچکی از ثانیه طول می‌کشد تا گرانش، درست پس از لحظه عبور از کره جادویی، شما را ببلعد. به بیان دیگر، فضانورد بداقبالی که از کره جادویی عبور می‌کند، تقریباً به طور آنی خود را در کام مرگ می‌بیند

[1] - Johannes Deruset
[2]- George Lemitreh
[3] - HP Robertson

در حالی که از نظر شاهدی که از بیرون نگاه می‌کند، به نظر می‌آید این امر هزاران سال طول می‌کشد. این نتیجه مهمی بود. به این معنی که کره جادویی قابل دسترس است و دیگر نمی‌توان از آن به عنوان یک هیولای ریاضی، چشم پوشید. حال می‌توان به طور جدی به این مسئله اندیشید که اگر کسی از این کره جادویی عبور کند، برایش چه اتفاقی می‌افتد. سپس فیزیکدانان به این مسئله پرداختند که سفر به درون کره جادویی چگونه می‌تواند باشد. امروزه کره جادویی، افق رویداد نامیده می‌شود. افق، دورترین نقطه قابل مشاهده است. در اینجا افق به دورترین نقطه‌ای که نور می‌تواند به آن سفر کند، اطلاق می‌شود. شعاع افق رویداد، شعاع شوارتسشیلد نام دارد. با نزدیک شدن موشک به یک سیاهچاله، نوری را خواهید دید که میلیون ها سال پیش به وسیله سیاهچاله به دام افتاده است. این نور متعلق به زمان شکل‌گیری خود سیاهچاله است. به بیان دیگر، در این حالت تاریخچه زندگی یک سیاهچاله بر شما آشکارخواهد شد. هرچه نزدیکتر شوید، نیروهای کششی به تدریج اتم‌های بدن شما را از هم می پاشند. سفر به افق رویداد، سفری یک طرفه خواهد بود، زیرا گرانش چنان شدید است که به ناچار به مرکز و در نهایت به کام مرگ بلعیده می‌شوید. وقتی درون افق رویداد باشید، راه برگشتی وجود ندارد چون برای خروج از افق رویداد باید بتوان سریعتر از نور حرکت کرد که غیر ممکن است. در سال ۱۹۳۹، جی رابرت اوپنهایمر[1] نشان داد که یک سیاهچاله به روشی دیگر هم می‌تواند شکل بگیرد. او به جای این که تصور کند یک سیاهچاله از متراکم شدن مجموعه‌ای از ذرات درحال چرخش و به واسطه گرانش به‌وجود می‌آید، ستاره غول‌پیکر پیری را درنظرگرفت که سوخت هسته‌ای خود را به اتمام رسانده و بنابراین به دلیل نیروی گرانش در حال رُمبش است. او بیان‌کرد که سیاهچاله‌ها، نه فقط امکانپذیرند، بلکه می‌توانند نقطه پایان طبیعی برای میلیاردها ستاره غول پیکر رو به مرگ در کهکشان باشند.(فرگوسن,۱۹۹۵)

اولین و مهمترین جواب دقیق معادله میدان انیشتین در سال ۱۹۱۶ میلادی توسط کارل شوارتسشیلد پیدا شد. معادله انیشتین به صورت زیر است:

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

[1]- J.Robert Oppenheimer

$R_{\mu V}$ تانسور ریچی و R اسکالر ریچی می‌باشد. $g_{\mu V}$ تانسور متریک و $T_{\mu V}$ تانسور تکانه انرژی نامیده می-شود. G ثابت جهانی گرانش است. رابطه زیر تانسور انیشتین را نشان می‌دهد:

$$G_{\mu V} = R_{\mu V} - \frac{1}{2} R g_{\mu V} \qquad (۱-۱-۲)$$

$G_{\mu V}$ را تانسور انیشتین می‌گویند. بنابراین معادله انیشتن رامی‌توان به صورت زیر نوشت:

$$G_{\mu V} = 8\pi G T_{\mu V} \qquad (۱-۱-۳)$$

شوارتسشیلد با شرط ایستا و بدون بار بودن, معادله انیشتین را حل کرد و امکان وجود سیاهچاله را به طور واقعی نشان داد (مک ماهان,۲۰۰۶). در این بخش چند تعریف مهم را بیان می‌کنیم:

سیاهچاله:

ناحیه‌ای از فضا با چگالی غیر قابل تصور، که به سبب آن در اطراف این ناحیه فضا خمیده شده است و گرانش به حدی قوی است که هیچ چیز حتی نور قادر به فرار از آن نیست. در سال ۱۹۳۹ روبرت اوپنهایمر و دیگران پیش‌بینی کردند که ستاره‌های نوترونی که جرمی بیشتر از سه برابر جرم خورشید دارند به سیاهچاله فروپاشی می‌کنند و نتیجه‌گیری کردند که هیچ سازوکار فیزیکی نمی‌تواند از فروپاشی برخی ستارگان به سیاهچاله جلوگیری نماید.

افق رویداد:

مهمترین ویژگی که یک سیاهچاله راتعریف می‌کند پیدایش افق رویداد است. افق رویداد به شکل کروی یا تقریباً کروی با شعاع شواتسشیلد حول نقطه مرکزی سیاهچاله است. این کره ناحیه‌ای از فضا زمان است که عبور نور و ماده از آن تنها در یک جهت و به طرف درون آن ممکن است. درون این کره سرعت گریز از سرعت نور بیشتر خواهد بود و از آنجاییکه هیچ جسمی‌توانایی حرکت با سرعت بیشتر از سرعت نور را ندارد پس نمی‌تواند از این منطقه بگریزد. هر جرم یا انرژی که به یک سیاهچاله نزدیک می‌شود، در داخل فاصله معینی که افق رویداد آن است، به طور مقاومت ناپذیری به درون سیاهچاله کشیده می‌شود.

نوری که از اطراف یک سیاهچاله عبور می‌کند اگر به افق رویداد نرسد، روی مسیری منحنی شکل از کنار آن می‌گذرد و اگر به افق رویداد برسد، در سیاهچاله سقوط می‌کند.

رصد سیاهچاله‌ها :

رصد سیاهچاله‌ها یا شناسایی آن‌ها به کمک تلسکوپ فضایی هابل و تلسکوپ فضایی پرتو X چاندرا[1] که پرتو x گسیل شده از ستاره‌های قدرتمند و منابع کهکشانی را اندازه گیری می‌کند و آرایه بزرگ تلسکوپ رادیویی در نیومکزیکو صورت گرفته است. مطابق عقیده بسیاری از ستاره شناسان، اغلب کهکشان‌ها که وسط قوس خود برآمدگی دارند در مرکز خود دارای سیاهچاله هستند. همانطور که انتظار می‌رود تمام سیاهچاله‌های یافت شده در فضا به سرعت در حال چرخش هستند. تلسکوپ فضایی هابل سرعت چرخش برخی از آن‌ها را برابر ۱/۶ میلیون کیلومتر در ساعت اندازه گیری کرده است. در مرکز هسته تخت و مدوری دیده می‌شود که غالباً یک سال نوری قطر دارد. از آنجایی که سیاهچاله‌ها نامرئی هستند ستاره شناسان ناچارند برای تایید وجود آن‌ها از روش‌های غیر مستقیم استفاده کنند. آن‌ها تلاش می-کنند که در تصاویر، « قرص بر افزایشی » ناشی از گازهای چرخان که سیاهچاله را احاطه کرده‌اند شناسایی شود. تمام گازهایی که جذب سیاهچاله می‌شوند از درون افق رویداد آن عبور نمی‌کنند. برخی از آن‌ها افق رویداد را دور می‌زنند و با سرعت فوق العاده زیادی به فضا پرتاب می شوند. به این ترتیب دو فواره بلند گازی در دو قطب شمال و جنوب سیاهچاله شکل می گیرند و درنتیجه سیاهچاله شبیه دوک نخ ریسی می‌شود. تاکنون دو نوع سیاهچاله شناسایی شده‌اند. نوع نخست، سیاهچاله‌های ستاره‌ای که در این مدل ستاره در حال مرگ بزرگی تحت نیروی گرانش به سیاهچاله تبدیل می‌شود. نوع دوم، سیاهچاله‌های کهکشانی، که در قسمت مرکزی کهکشان‌های بزرگ و اختروش‌ها پنهان شده‌اند. تشخیص آن‌ها آسانتر است و میلیون‌ها تا میلیاردها برابر خورشید جرم دارند.

[1]- Chandra

۲-۱- اهمیت مطالعه سیاهچاله‌ها

به منظور بررسی تاریخ زندگی جهان، دانشمندانی مثل فرد آدامز[۱] و گِرِگ لاولین[۲] از دانشگاه میشیگان تلاش کرده‌اند که عمر جهان را به پنج مرحله مجزا تقسیم کنند.

مرحله اول: عصر نخستین

در مرحله اول (بین $۱۰^{-۵۰}$ تا $۱۰^{۵}$ ثانیه) جهان متحمل انبساطی سریع گردید. همراه با این انبساط، مسلماً دمای جهان نیز به سرعت پایین آمد. با خنک شدن جهان نیروهای مختلف که زمانی به صورت یک « اَبَر نیروی » اصلی با یکدیگر یکپارچه بودند، به تدریج از هم جدا شده و چهار نیروی شناخته شده امروزی را به وجود آوردند. در طول این عصر، هیدروژن اولیه از طریق همجوشی به هلیوم تبدیل شد. در این مرحله دما به قدری بالا بوده که حیات غیر ممکن بود.

مرحله دوم: عصر پر ستاره

ما در مرحله دوم عمر جهان زندگی می‌کنیم (بین $۱۰^{۶}$ و $۱۰^{۱۷}$ ثانیه). در این دوره گاز هیدروژن فشرده شده و ستارگان آسمان‌ها را روشن کرده‌اند. در این عصر ستارگان غنی از هیدروژن را می‌بینیم که برای میلیاردها سال می‌درخشند تا جایی که سوخت هسته‌ای آن‌ها به پایان برسد. در این مرحله شرایط برای پیدایش حیات مهیا شد. شکوفایی گیاهان و جانوران بر روی کره زمین، تنها چند میلیارد سال دوام دارد .

مرحله سوم: عصر انحطاط

این مرحله (بین $۱۰^{۱۵}$ تا $۱۰^{۳۹}$ ثانیه) است. سرانجام انرژی ستارگان موجود در جهان تحلیل می‌رود و فرایند ظاهراً دائمی سوزاندن هیدرژون و تبدیل آن به هلیوم، بالاخره متوقف می‌شود و توده‌های بی-جانی از مواد هسته‌ای مرده را به شکل کوتوله‌ها، ستاره‌های نوترونی و سیاهچاله‌ها باقی می‌گذارد. ستارگان آسمان از درخشش باز می‌ایستند و جهان به تدریج به تاریکی فرو می‌رود. در مرحله سوم با از دست رفتن مولدهای هسته‌ای ستارگان، دما به مقدار زیادی افت پیدا می‌کند و سرانجام همه ستارگان خاموش می‌شوند و جهان سرد و تاریک می‌شود.

---

[1]- Fered Adams
[2]- Gereg Lavien

مرحله چهارم: عصر سیاهچاله‌ها

در مرحله چهارم (بین 10^{40} تا 10^{100} ثانیه) تنها منبع انرژی موجود، تبخیر آهسته انرژی سیاهچاله‌ها خواهد بود. آن طور که ژاکوب بکنشتاین[1] و استیون هاوکینگ[2] نشان دادند، سیاهچاله‌ها واقعاً سیاه نیستند؛ آن‌ها در حقیقت مقدار ناچیزی انرژی منتشر می‌کنند که تبخیر نامیده می‌شود (در عمل، مقدار تبخیر سیاهچاله‌ها آنقدر کوچک است که مشاهده آن از نظر آزمایشگاهی غیر ممکن است. اما در مقیاس‌های بلند زمانی، همین تبخیر سرانجام سرنوشت یک سیاهچاله را تعیین می‌کند), سیاهچاله‌های تبخیر شونده طول عمرهای متفاوتی دارند. تبخیر یک سیاهچاله به جرم خورشید، به مدت 10^{66} سال تداوم دارد. وقتی یک سیاهچاله به انتهای عمر خود نزدیک می‌شود، یعنی پس از این‌که به آرامی تابش خود را به پایان می‌رساند، ناگهان منفجر می‌شود.

مرحله پنجم: عصر تاریک

در مرحله پنجم (فراتر از 10^{101} ثانیه) قدم به عصر تاریک جهان می‌گذاریم؛ زمانی که تمام منابع گرما سرانجام به اتمام می‌رسند. در این مرحله، با نزدیک شدن دما به صفر مطلق، جهان به آهستگی به سمت مرگ گرمایی پیش می‌رود. در این نقطه اتم‌ها نیز از حرکت باز می‌ایستند.

با توجه به اهمیتی که این پنج مرحله‌ی عمر جهان دارد، در سال‌های اخیر هر کدام از مراحل به نوعی مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است. باتوجه به مرحله‌ی چهارم عمر جهان مطالعه سیاهچاله‌ها بسیار اهمیت پیدا می‌کند. ما هم اکنون در مرحله دوم عمر جهان به سر می‌بریم که سیاهچاله‌ها در آن حضور دارند اگر چه تعداد آن‌ها برای ما کاملاً مشخص نیست اما می‌دانیم که هنوز مانند مرحله‌ی چهارم، جهان تحت سیطره‌ی کامل سیاهچاله‌ها قرار نگرفته است. سیاهچاله در مرحله‌ای از جهان که ما در آن هستیم یعنی مرحله دوم تنها یکی از هزاران پدیده‌ی شگفت آور جهان هستی است و فقط به عنوان یکی از میلیاردها جرم سماوی مورد اهمیت است اما زمانی فرا خواهد رسید که گرمای تمام جهان معطوف به تبخیر سیاهچاله‌ها در مرحله‌ی چهارم عمر جهان خواهد شد. به این دلیل است که

[1]- Jacob Bekenstein
[2]- Stephen William Hawking

سیاهچاله به عنوان یک پدیدهٔ پر اهمیت مورد پژوهش دانشمندان قرار می‌گیرند. با توجه به مهم بودن اطلاعات نهفته در یک سیاهچاله ما به مطالعه‌ی آنتروپی سیاهچاله می‌پردازیم که بسیاری از این اطلاعات را برای ما مشخص خواهد کرد (کاکو,۲۰۰۵).

ما در این پایان‌نامه با اشاره به معادلات انیشتین وحل این معادلات که وجود سیاهچاله را اثبات می-کند به معرفی انواع سیاهچاله‌ها و ویژگی‌های هر کدام می‌پردازیم. سپس ترمودینامیک سیاهچاله و آنتروپی آن را بدون در نظر گرفتن نظریه ریسمان بیان می‌کنیم. در آخر با معرفی نظریه ریسمان ، ابر تقارن و ... به نتیجه آنتروپی از دیدگاه نظریه ریسمان خواهیم رسید. این پایان نامه شامل پنج فصل است:

فصل اول: دراین فصل نسبیت عام انیشتین که منجر به معادله مهم انیشتین شد را مورد بحث قرار می‌دهیم.

فصل دوم: در این فصل به معرفی و شناخت انواع سیاهچاله‌ها می‌پردازیم.

فصل سوم: در این فصل ترمودینامیک سیاهچاله‌ها را بدون در نظر گرفتن نظریه ریسمان برای سیاهچاله شوارتس شیلد بررسی می‌کنیم.

فصل چهارم: نظریه ریسمان و ابر تقارن و ... را مورد بحث قرار می‌دهیم.

فصل پنجم: ترمودینامیک سیاهچاله را با توجه به نظریه ریسمان بیان می‌کنیم.

۳-۱-نسبیت عام

ایدهٔ اساسی نسبیت عام عبارت است از این که هندسه دینامیکی است و سرعت نور، سرعت اندرکنش‌ها را که شامل گرانش نیز می‌باشد محدود می‌کند. مفهوم متریک در واقع فاصله‌ی دو نقطه را بیان می‌کند که در فضای سه بعدی معمولی عبارت است از رابطه زیر:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 \qquad (۱-۳-۱)$$

که از قضیه فیثاغورث ناشی می‌شود و $ds^2 = ds'^2$ یعنی تحت دوران ناورداست. برای رفتن به حوزه‌ی نسبیت ایده‌ی فاصله بین دو نقطه را به فاصله‌ی بین دو رویدادی که در فضا - زمان رخ می‌دهند تعمیم می‌دهیم.

$$ds^2 = -c^2dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \qquad (۱-۳-۲)$$

این کمیت تحت تبدیلات لورنتسی بین دو چهارچوب لخت ناورداست. علی‌رغم این‌که اضافه کردن زمان ایده‌ی هندسه را به حوزه‌ی ناآشنا تعمیم می‌دهد. برای تعمیم متریک بایستی به حوزه‌ی هندسه‌ی نااقلیدسی مراجعه کنیم. هندسه‌ی نااقلیدسی هندسه‌ای است که فضا تخت نیست. تعمیم ما به گونه‌ای خواهد بود که شامل فضاهای خمیده مانند کره و هذلولی نیز باشد. پس ما با فضا -زمان‌های خمیده سر و کار داریم.

۴-۱- معادلات انیشتین

در این قسمت ما معادلات انیشتین را معرفی می‌کنیم و آن‌ها را به معادلاتی که برای توصیف گرانش در چارچوب نیوتنی به کار می‌رود مربوط می‌سازیم. گرانش نیوتونی توسط دو معادله توصیف می‌شود که یکی از آن‌ها مسیر ذره در فضا را توصیف می‌کند. اگر یک ذره در میدان گرانشی با پتانسیل حرکت کند قانون دوم نیوتون را می‌توان برای آن نوشت:

$$F = ma = -m\nabla\phi \qquad (۱-۴-۱)$$