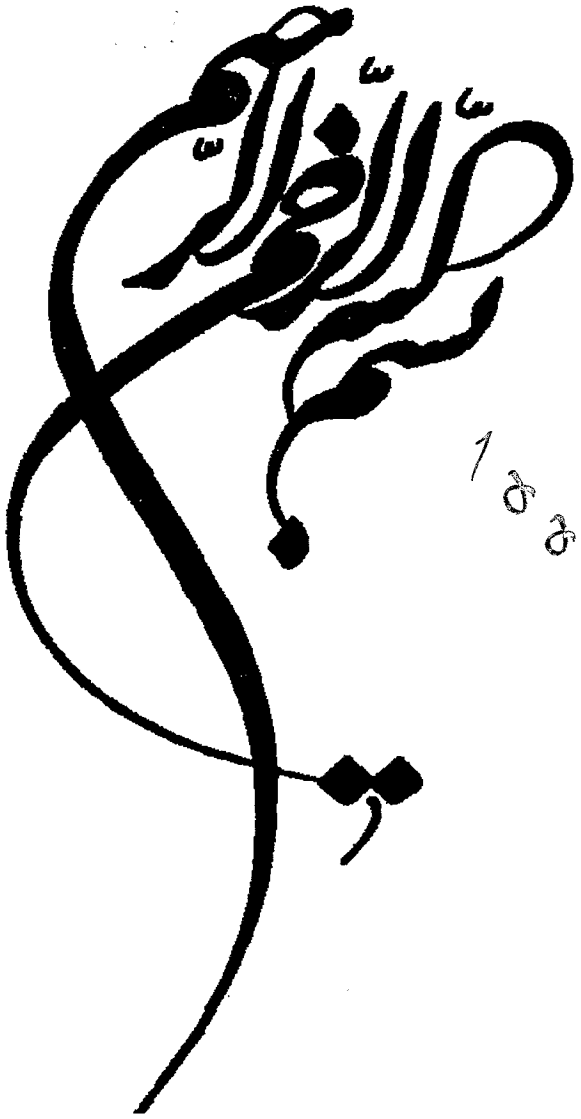

۱۵۵۴۶

۱۰۲۲۸۳

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم پایه

رساله دوره دکتری فیزیک (ذرات بنیادی)

کاربردهای دوگانی AdS/CFT در نظریه میدان کوانتومی

نگارش:
بتول صفرزاده

استاد راهنما:
دکترمحسن علیشاهیها

اساتید مشاور:
دکترمحمدرضا ابولحسنی
دکتر امیراسماعیل مصفا

۱۳۸۷ /۲/ ۲۵

دی ماه ۱۳۸۶

۱۰۲۲۸۳

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم **بتول صفرزاده** رساله ۲۵ واحدی خود را باعنوان: «**کاربردهای دو گانی Ads/CFT در نظریه میدان های کوانتمی**» در تاریخ ۸۶/۱۱/۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می کند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	آقای دکتر محسن علیشاهیها	استاد	
۲- استاد مشاور	آقای دکتر امیراسماعیل مصفا	استادیار	
۳- استاد مشاور	آقای دکترمحمدرضا ابوالحسنی	استادیار	
٤- استاد ناظر داخلی	آقای دکتر علی ایمانپور	استادیار	
٥- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر رضا عباسپور	استادیار	
٦- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر فرهاد اردلان	استاد	
۷- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر حسام الدین ارفعی	استاد	
۸- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر علی ایمانپور	استادیار	

۱۳۸۷ /۱۲/ ۲۵

۱۰۲۲۸۳

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

انشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم پایه

بسمه تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند

«کتاب حاضر حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ شیمی است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکدهٔ علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکارخانم /جناب آقای دکتر محسن علیشیری ، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر اسداسماعیل هاشمی و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمدرضا ابوالحسنی از آن دفاع شده است.»

مادهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادهٔ ۴- درصورت عدم رعایت مادهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس ، تادیه کند.

مادهٔ ۵- دانشجو تعهد و قبول می‌کند درصورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادهٔ ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادهٔ ۶- اینجانب بتول صفرزاده دانشجوی رشته شیمی مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: بتول صفرزاده

تاریخ و امضا: ۸۳/۱۰/۲۶

تقدیم به :

پدر و مادرم

که الفبای زندگی را به من آموختند.

تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس آفریدگاری را که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.

از استاد راهنمای گرانقدر آقای دکتر محسن علیشاهیها به خاطر لطف و عنایت بی‌شائبه‌شان در طول انجام این رساله تشکر می‌کنم، و از آقای دکتر محمدرضا ابوالحسنی و آقای دکتر امیراسماعیل محفا برای حمایت‌های همه جانبه‌شان سپاس‌گزارم. همچنین بر خود لازم می‌دانم مراتب قدردانی خود را نسبت به آقای دکتر اردلان و آقای دکتر ارفعی که افتخار شاگردیشان را داشته‌ام، اعلام نمایم. در پایان از مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضی (IPM) که نهایت همکاری را در انجام این رساله را داشته‌است تشکر می‌نمایم.

چکیده

رابطه نظریه ریسمان و نظریه‌های پیمانه‌ای با کشف دوگانی AdS/CFT در سالیان اخیر مورد توجه بوده است. این دوگانی تناظر بین نظریه‌هایی در دو رژیم متفاوت جفتیدگی قوی و ضعیف است. لذا این دوگانی امکان مطالعه نظریه‌های پیمانه‌ای را در جفتیدگی‌های قوی از طریق نظریه ریسمان دوگان با جفتیدگی ضعیف را فراهم آورده است.

در این رساله با مروری بر این دوگانی، با معرفی دسته مهمی از جواب‌های ابر گرانشی دوگان با عملگرهای $\frac{1}{2}BPS$ نظریه پیمانه‌ای، خواص این جواب‌های ابرگرانشی را مطالعه می‌نماییم. از آنجایی که این جواب‌ها از تغییر شکل زمینه AdS به طور یکنواخت حاصل می‌شوند بررسی تفاوت این جواب‌ها با نوع تکین آن موضوع مبحث دیگری است که آنها را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

از جنبه‌های دیگر این دوگانی مطالعه ریسمان‌های دوگان در حد اندازه حرکت زاویه‌ای بزرگ است. از جمله این ریسمان‌ها، ریسمان‌های با لبه‌های تیز است. در بخش دیگری از رساله با استفاده از T—دوگانی دسته جدیدی از جواب‌ها را بدست می آوریم که لبه‌های نوک تیز آنها نسبت به نوع اول معکوس شده‌اند . در بخش پایانی نیز سعی شده است تا دوگان‌های این دسته جدید از ریسمانها در نظریه پیمانه‌ای بررسی شوند.

کلمات کلیدی: دوگانی AdS/CFT، حالتهای $1/2BPS$، جواب‌های ابرگرانشی، گراویتون غول، ابرستاره، ریسمان‌های نوک‌تیز، ریسمان نوک‌تیز دوگان.

فهرست مندرجات

۱ تاریخچه‌ای بر نظریه ریسمان ۱

۲ مروری بر اصول اولیه نظریه ریسمان ۷

۱.۲ ریسمان بوزونی ۸

۱.۱.۲ کوانتش ریسمان بوزونی ۱۴

۲.۲ ابر ریسمان ۱۸

۱.۲.۲ ابر ریسمان RNS ۱۹

۲.۲.۲ کوانتش ابر ریسمان ۲۱

۳.۲.۲ عملگرGSO ۲۳

۴.۲.۲ نظریه‌های سازگار ابر ریسمان ۲۵

۵.۲.۲ T—دوگانی ۲۸

۶.۲.۲ D—غشا ۳۳

۳ تناظر AdS/CFT ۳۵

۱.۳ فضای AdS و مرز آن ۳۶

۲.۳ تناظر ۳۸

۱.۲.۳ جفت شدگی میدان‌ها و عملگرها ۴۳

۴ کاربردهای دوگانی AdS/CFT ۴۷

۱.۴ جواب‌های ابر گرانشی LLM ۵۰

۱.۱.۴ تقارن‌های $\mathbb{Z}_۲$ فضای هندسی LLM ۵۲

۲.۴ تغییر شکل فضای AdS بوسیله گراویتون‌های غول ۵۶

۳.۴ ریسمان کاوشگر بسته چرخان در $\tilde{S^۳}$ ۵۹

۱.۳.۴ ابر ستاره ۶۰

۲.۳.۴ گراویتون غول ۶۰

۴.۴ ریسمان بسته کاوشگر چرخان در $S^۳$ ۶۳

۱.۴.۴ ابرستاره ۶۳

۲.۴.۴ گراویتون‌های غول ۶۶

۵.۴ ریسمان کاوشگر با چند اسپین ۶۷

۱.۵.۴ حالتی با $S_۲ = J_۲ = ۰$ ۶۷

۲.۵.۴ حالتی با $J_1 = J_2 = 0$ ۶۸

۶.۴ حدود موج تخت ۷۲

۷.۴ نتیجه‌گیری و بحث ۷۴

۵ حد BMN و جواب‌های دوگان ریسمان‌های با لبه‌های تیز ۷۶

۱.۵ حد BMN ۷۷

۲.۵ ریسمان‌های با لبه تیز ۷۹

۱.۲.۵ ریسمان‌های با لبه‌های تیز و T دوگان‌های آنها در فضای تخت . ۸۰

۲.۲.۵ جواب‌های دوگان در فضای AdS ۸۵

۳.۲.۵ جواب‌های دوگان در S^5 . . . . . ۹۱

۳.۵ نتیجه‌گیری و بحث ۹۴

۶ پیوست‌ها ۱۰۱

فصل ۱

تاریخچه‌ای بر نظریه ریسمان

در نظریه میدان، ذرات بنیادی به صورت ذرات نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. در حالی که نظریه ریسمان بر این ایده بنا شده است که ذرات بنیادی مدهای نوسانی مختلف یک ریسمان هستند. هرچند باانرژی‌های قابل دسترسی تا کنون موفق به دیدن ریسمان نشده‌ایم، اما در فواصل دوری از یک ریسمان، نوسانات آن و در نتیجه ذرات بنیادی قابل مشاهده خواهد بود. مهم‌ترین مزیت توصیف مذکور این است که در قبال تعداد زیادی ذرات بنیادی فقط یک ریسمان داریم. بنابراین ریسمان‌ها می‌توانند به عنوان کاندید خوبی برای نظریه میدان وحدت یافته برهمکنش های اصلی در نظر گرفته شوند. در این بخش به طور اجمالی به مسیر تاریخی که منجر به نتیجه‌گیری بالا شد اشاره می‌کنیم[۱, ۲] . در اواخر دهه ۱۹۶۰ نظریه ریسمان به عنوان نظریه‌ای برای توصیف نیروی هسته‌ای قوی مورد توجه بود. دامنه پراکندگی بدست آمده در این نظریه با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده برای پراکندگی مزون همخوانی کامل داشت.

در سال ۱۹۷۳ به دلیل تطابق کامل آزمایش و کرومودینامیک کوانتومی توجه به این نظریه کمرنگ شد. علاوه بر آن، نظریه ریسمان جنبه های را شامل می‌شد که آن را برای نظریه هادرن‌ها نامناسب می‌کرد. از جمله، می‌توان به بعدهای اضافی فضازمان و ذرات بی جرم با اسپین بیش از یک اشاره کرد.

در سال ۱۹۷۴ نظریه ریسمان به دلیل دیگری مورد توجه قرار گرفت، در میان حالات بی‌جرم ریسمان، ذراتی با اسپین دو وجود دارند که برهمکنشی همانند گراویتون ها دارند. در حقیقت تنها

برهمکنش سازگار ذرات با اسپین دو برهمکنش‌های گرانشی هستند. پس نظریه ریسمان به طور طبیعی شامل نسبیت عام بود. بنابراین نظریه ریسمان به عنوان نظریه وحدت یافته نیروهای اصلی طبیعت پیشنهاد شد. بر خلاف نظریه میدان کوانتومی که در آن گرانش وجود ندارد(دامنه پراکندگی‌هایی که شامل تبادل گراویتون‌ها هستند مشکلاتی را به دلیل واگرایی‌های ماورا بنفش غیرقابل بازبهنجارش بوجود می‌آورند) نظریه ریسمان یک نظریه سازگار بدون واگرائی‌های ماورا بنفش، گرانش را برای سازگاری همه جانبه نیاز دارد.

لذا با در نظر گرفتن این واقعیت‌ها مقیاس انرژی یا طولی که در آن ریسمان باید در طبیعت مشاهده شود را می توان تخمین زد. از آنجایی که نظریه ریسمان یک نظریه کوانتومی نسبیتی است که شامل گرانش نیز می‌باشد، باید سه ثابت اصلی مربوطه، سرعت نور c ، ثابت پلانک $\hbar$ و ثابت گرانش نیوتنی G را نیز شامل شود. این سه ثابت را می‌توان به گونه‌ای ترکیب کرد تا ثابتی با بعد طول بدست آورد. مقیاس طول مشخصه ریسمان ها را می‌توان توسط طول پلانک گرانش کوانتومی، $l_p = (\frac{\hbar G}{c^3})^{1/2} = 1.6 \times 10^{-33} cm$ ، تخمین زد. مقیاس انرژی آن نیز به عنوان جرم پلانک، $m_p = (\frac{\hbar c}{G})^{1/2} = 1.2 \times 10^{19} Gev/c^2$ ، شناخته می‌شود. این مقیاس ها بیانگر این واقعیتند که چرا ریسمان ها تاکنون در طبیعت مشاهده نشده‌اند.

برخی از جنبه‌های عمومی و شناخته شده نظریه ابر ریسمان عبارتند از

• نسبیت عام در فواصل خیلی کوچک (کوچک تر از مقیاس پلانک) تغییر شکل می‌دهد، اما در فواصل و انرژی‌های معمولی در نظریه ریسمان به شکلی که در نظریه انیشتن حضور دارند دیده می‌شوند.

• مدل‌های استاندارد با پیمانه‌های از نوع پیمانه‌های یانگ–میلز به طور طبیعی در این نظریه ظاهر می‌شوند. اگرچه هیچ دلیل طبیعی وجود ندارد که چرا گروه تقارنی $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$، باید وجود داشته باشد.

• بدلیل سازگاری‌های مورد نیاز، نظریه ریسمان ابرتقارن را پیش‌بینی می‌کند، اگر چه تاکنون این تقارن به شکل تجربی مشاهده نشده است.

برای سالیان متمادی مدل های مختلفی برای نظریه ریسمان وجود داشت، اما هیچکدام از آنها شباهت زیادی به ساختار مدل استاندارد نداشتند. این موضوع باعث شد تا توجه به این نظریه مجدداً کمرنگ شود. در سال ۱۹۸۵ با تحولی که تحول اول در نظریه ریسمان نامیده شد شرایط تغییر کرد. دستاورد این تحول این بود که روش حذف نازسازگاری های ریاضی در نظریه کوانتومی ریسمان شناخته شد. این روش که به روش حذف نامتعارف گرین—شوارز[۱] معروف شد، تنها پنج نظریه (نوع اول، نوع دوم A و B و هتراتیک[۲] با گروه پیمانه‌ای $SO(۳۲)$ و $E_۸ \times E_۸$) نظریه‌های سازگار با این روش بودند.

مشکل ابعاد اضافی فضازمان نیز از طریق ایده فشرده سازی برطرف شد. در این روش با فشرده کردن بعدهای اضافی بر روی فضای فشرده شش بعدی با اندازه‌ای کوچک تر از قدرت تفکیک پذیری قوی‌ترین میکروسکوپ ها، فضازمان ۱+۹ بعدی به صورت یک فضازمان ۱+۳ بعدی به نظر می‌رسد. در سال ۱۹۸۰ چگونگی فرمول بندی نظریه‌های ریسمان بر حسب سری های اختلالی واگرا مشابه نظریه میدان کوانتومی شناخته شد. همانند کرومودینامیک کوانتومی، مطالعه خلأ واقعی در چارچوب یک نظریه اختلالی بعید به نظر می‌رسد. همچنین بدون یک فهم درست از اثرات غیراختلالی، نظریه ریسمان نمی‌تواند پیش‌بینی های صریح و کمّی برای مدل وحدت یافته ارایه کند. این شرایط تا حوالی سال ۱۹۹۵ ادامه داشت، زمانی که برای اولین بار مشخص شد چگونه می‌توان با استفاده از دوگانی ها از اثرات اختلالی، اطلاعاتی از اثرات غیراختلالی بدست آورد [۳]. دستاوردهای مهم این کشف عبارت بودند از

• دوگانی‌ها تمام نظریه‌های ابر ریسمان در ده بعد را به یکدیگر مربوط می‌کردند.

---

[۱] Green-Schwarz

[۲] Heterotic

نظریه‌های مختلف، بسط اختلالی نظریه اساسی واحد، $\mathcal{U}$، حول پنج خلأ کوانتومی سازگار متفاوتند. بنابراین یک نظریه واحد در طبیعت وجود دارد، که خلأ های زیادی در معادلات حرکت آن صدق می‌کنند.

• این نظریه همچنین شامل جوابی است که در ۱۱ بعد زندگی می‌کند و نظریه M نامیده می‌شود.

حد انرژی‌های پایین نظریه M ابرگرانش ۱۱ بعدی است و تمام پنج نظریه ابر ریسمان از نظریه M ناشی می‌شوند.

• علاوه بر ریسمان های اساسی، نظریه $\mathcal{U}$ شامل انواع مختلفی از برانگیختگی‌های غیراختلالی است که p—غشاها ، نامیده می‌شوند.

دسته مهمی از این جوابها، p—غشا دریشله (D—غشاها) هستند که دینامیک کوانتومی آن توسط نظریه ریسمان های بازی تعیین می‌شود که انتهای آنها مقیدند تا برروی این غشاها حرکت کنند.

کشف D—غشاباعث پیشرفت مهمی در نظریه ریسمان شد که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد

• تحقق صریح دوگانی های غیراختلالی ریسمان. به عنوان مثال، یک حالت ریسمان بسته در نظریه A (بدلیل آنکه دامنه های آن توابعی از ثابت ریسمان g_s است و یک حالت اختلالی است) تحت تبدیل دوگانی S به یک D—غشا در نظریه دوگان B نگاشت می‌شود(که نوع وابستگی آن به صورت $\frac{1}{g_s}$ است و یک حالت غیراختلالی است) .

• تعبیر میکروسکوپیک آنتروپی سیاه‌چاله و نرخ گسیل تابش گرمائی (هاوکینگ) در نظریه ریسمان.

• تناظر نظریه پیمانه‌ای و گرانش (AdS/CFT).

• بررسی فضازمان در فواصل کوچک، جائی که نوسانات کوانتوم گرانشی مهم می‌شود و نسبیت خاص کلاسیکی اعتبار ندارد.

• فشرده سازی با شعاع بزرگ، جایی که اندازه بعدهای فشرده شده اضافی خیلی بزرگ تر از $(Tev)^{-1}$ [۱] است. از آنجائی که این مقیاس طول در آزمایشات امروزه شتابگرها قابل دسترسی است، این امید را می دهد ابعاد اضافی که در نظریه ریسمان درخواست می شوند قابل مشاهده باشند.

• در مدلی که در آن جهان به عنوان یک D—غشا در نظر گرفته می‌شود می‌توان توضیح داد که چرا جفت‌شدگی ماده با گرانش ضعیف است، چرا جرم موثر پلانک در دنیای ۱+۳ بعدی ما بزرگ است و توضیحی برای مسئله سلسله مراتب [۳] $m_p \gg m_{weak}$ ارائه کرد[۴, ۵].

[۳] hierarchy problem

فصل ۲

مروری بر اصول اولیه نظریه ریسمان

در این فصل در ابتدا به‌طور اجمالی به بررسی دینامیک ریسمان بوزونی از دیدگاه کلاسیک می‌پردازیم. برای کوانش یک سیستم می‌توان از یکی از دو روش کوانتش دوم، که در آن میدان‌ها به‌عنوان عملگرهای خلق و نابودی کوانتاها در نظر گرفته می‌شوند یا کوانتش اول که جمع بر روی انتگرال مسیرهای فایمن است و ارتباط تنگاتنگی با نظریه اختلال دارد استفاده کرد. روش کوانتش اول، روشی است که در این فصل برای رسیدن به این مهم به‌کار می‌رود.

نظریه ریسمان بوزونی شامل مدهایی با جرم منفی است و مدهای فرمیونی را نیز دربرندارد. برای رفع ناسازگاری‌های ریسمان بوزونی، درجات آزادی فرمیونی را به نظریه اضافه می‌کنیم سپس نتایج ریسمان بوزونی را برای ابرریسمان تعمیم می‌دهیم. نظریه‌های متفاوت ابرریسمان سازگاری را که در فصل گذشته به آنها اشاره شد، از جمله مباحثی است که مورد مطالعه دقیق‌تری قرار می‌گیرند. در نهایت برای مطالعه دینامیک D—غشاها از دیدگاه نظریه ریسمان، مروری داریم بر T—دوگانی، که از پیامدهای طبیعت امتداد یافتگی ریسمان است [۱, ٦].

۱.۲ ریسمان بوزونی

به عنوان اولین گام در مطالعه ریسمان به بررسی دینامیک آن می‌پردازیم. ریسمان موجودی یک بعدی است که برای توصیف حرکت آن در زمان می‌توان از جهان‌رویه دوبعدی که توسط ریسمان

جاروب می‌شود بهره جست. مختصات بر روی این جهان رویه را به شکل زیردر نظر می‌گیریم

$$(\xi^{\circ}, \xi^{1}) = (\tau, \sigma) \qquad (1)$$

در اینجا $\circ \leq \sigma \leq \pi$ مختصات فضائی در طول رسیمان است، $\tau \in \Re$ گسترش زمانی آنرا بیان می‌کند. شکل جهان رویه در فضازمان با توابع

$$x^{\mu}(\tau, \sigma), \mu = \circ, 1, ..., d-1 \qquad (2)$$

داده می‌شود که بیانگر تحول زمانی ریسمان هستند. اگر ریسمان در فضازمان D بعدی تخت با متریک $\eta_{\mu\upsilon}$ حرکت کند، در این صورت متریک القاشده بر روی جهان رویه ریسمان h_{ab} به صورت زیر خواهد بود

$$h_{ab} = \eta_{\mu\upsilon}\partial_a x^{\mu}\partial_b x^{\upsilon} \qquad (3)$$

که در آن

$$\partial_a \equiv \frac{\partial}{\partial \xi^a}, \qquad a = \circ, 1 \qquad (4)$$

کنش این موجود یک بعدی را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\begin{aligned} S_{NG} &= \int d\tau d\sigma \ell_{NG} \qquad (5) \\ \ell_{NG} &= -\frac{1}{2\pi\alpha'}(-det h_{ab})^{1/2} \end{aligned}$$

که به کنش نمبو–گوتو[1] معروف است. در اینجا ثابت α' با واحد مربع طول، از طریق رابطه زیر به کشش ریسمان، T، مربوط می‌شود

$$T = \frac{1}{2\pi\alpha'} \qquad (6)$$

[1] Nambu-Goto