گروه فیزیک

دانشگاه حکیم سبزواری

دانشکده علوم پایه

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک
گرایش ذرات بنیادی

تبدیلات ابرتقارنی در ابرفضای ناجابجایی

استاد راهنما:

آقای دکتر احمد فرزانه کرد

استاد مشاور:

آقای دکتر سید علی اصغر علوی

پژوهشگر:

نرجس قاسم‌پور

دی ۱۳۹۲

سوگند نامه دانش آموختگان دانشگاه حکیم سبزواری

اینک که به خواست آفریدگار پاک، کوشش خویش و بهره‌گیری از دانش استادان و سرمایه‌های مادی و معنوی این مرز و بوم، توشه‌ای از دانش و خرد گردآورده‌ام، در پیشگاه خداوند بزرگ سوگند یاد می‌کنم که در به‌کارگیری دانش خویش، همواره بر راه راست ودرست گام بردارم. خداوند بزرگ، شما شاهدان، دانشجویان و دیگر حاضران را به عنوان داورانی امین گواه می‌گیرم که ازهمه دانش و توان خود برای گسترش مرزهای دانش بهره گیرم و از هیچ کوششی برای تبدیل جهان به جایی بهتر برای زیستن، دریغ نورزم. پیمان می‌بندم که همواره کرامت انسانی را در نظر داشته باشم و همنوعان خود را در هر زمان و مکان تا سر حد امکان یاری دهم. سوگند می خورم که در به کارگیری دانش خویش به کاری که با راه و رسم انسانی، آیین پرهیزگاری، شرافت و اصول اخلاقی برخاسته از ادیان بزرگ الهی، به ویژه دین مبین اسلام، مباینت دارد دست نیازم. همچنین در سایه اصول جهان شمول انسانی و اسلامی، پیمان می‌بندم از هیچ کوششی برای آبادانی و سرافرازی میهن و هم میهنانم فروگذاری نکنم و خداوند بزرگ را به یاری طلبم تا همواره در پیشگاه او و در برابر وجدان بیدار خویش و ملت سرافراز، بر این پیمان تا ابد استوار بمانم.

نام و نام خانوادگی: نرجس قاسم‌پور

تاریخ و امضا:

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب نرجس قاسم‌پور به شماره دانشجویی ۹۰۱۳۷۳۱۰۱۷ دانشجوی رشته فیزیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: نرجس قاسم‌پور

تاریخ و امضا:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ .... ممنوع است.

استاد راهنما: آقای دکتر احمد فرزانه کرد

تاریخ:

امضا:

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر **پدرم**

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز **مادرم**

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم،باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.

قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.

در ابتدا وظیفه ی خود می دانم که از پدر و مادر بزرگوار و عزیزم کمال تشکر را داشته باشم .همچنین قدردان کمک های خواهران دلسوز و مهربان وبرادران عزیزم می باشم.

تهیه و نگارش این مجموعه را مرهون زحمات استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر احمد فرزانه کرد میدانم که در تمام مراحل انجام این پایان نامه همواره با صبر و دقت بسیار مرا از راهنمایی های ارزشمند خویش بهره مند ساختند.

همچنین جا دارد از جناب آقای دکتر سید علی اصغر علوی، مشاور محترم و جناب آقای محسن حدادی مقدم، تشکر و قدردانی نمایم چرا که بدون راهنمایی های ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل مینمود.

دانشگاه حکیم سبزواری

فرم چکیده‌ی پایان‌نامه‌ی دوره‌ی تحصیلات تکمیلی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو: قاسمپور	**نام:**نرجس	**شماره دانشجویی:** ۹۰۱۳۷۳۱۰۱۷
استاد راهنما: دکتر احمد فرزانه کرد	**استاد مشاور:** دکتر سید علی اصغر علوی	
دانشکده: علوم پایه	**رشته:** فیزیک	**گرایش:** ذرات بنیادی
مقطع: کارشناسی ارشد	**تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۱۰/۲۵**	**تعداد صفحات:۱۵۰**
عنوان پایان‌نامه: تبدیلات ابرتقارنی در ابرفضای ناجابجایی		
کلید واژه‌ها: ابرتقارن، ابرفضای ناجابجایی، بازبهنجارپذیری		

چکیده:

در دهه های اخیر نظریه های مختلفی در ابرفضای ناجابجایی معرفی و مورد مطالعه قرار گرفته اند از جمله نظریه پیمانه ای ابرتقارنی. چنین نظریه هایی غیرهرمیتی بوده و فقط نیمی از ابرتقارنی $N = 1$ را دارا هستند و بصورت نظریه های پیمانه ای ابرتقارنی $N = \frac{1}{2}$ معرفی می شوند. مشکل این نظریه ها این است که به صورت قدرتمند بازبهنجارپذیر نیستند، درحالی که عقیده براین است با اضافه کردن تعداد محدودی از عبارات به لاگرانژی واگرایی های موجود در تمام مراتب قابل حذف هستند.

در این پایان نامه بازتعریفی از دو میدان پیمانه ای $\bar{F}$ و میدان فرمیونی پیمانه ای λ را خواهیم داشت که باعث اضافه شدن تعدادی جمله به لاگرانژی می شود و این در حالی ست که ناوردایی لاگرانژی تحت تبدیلات پیمانه ای و ابرتقارنی برقرار خواهد بود. با در نظر گرفتن تصحیحات تابشی به محاسبه واگرایی های موجود در نظریه در تقریب مرتبه اول می پردازیم. و سپس به کمک تکنیک های بازبهنجارپذیری، اثبات خواهیم کرد که نظریه بازبهنجارپذیر است.

فهرست مطالب

فهرست جداول

فهرست تصاویر

مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در فیزیک ذرات، قبل از پیدایش نظریه‌ی ریسمان، در سالهای ۱۹۷۰ تحت عنوان ابرتقارنی [۱] مطرح شد. ابرتقارن یک تقارن بین فرمیون ها و بوزون هاست. فرمیون ها ذراتی با اسپین نیمه صحیح اند، در حالیکه بوزون ها ذراتی با اسپین صحیح معرفی می شوند. این ذرات در نظریه به وسیله ی عملگرهای ابرتقارنی Q به صورت زیر به یکدیگر تبدیل می شوند:

$$Q|fermion\rangle = |boson\rangle$$
$$Q|boson\rangle = |fermion\rangle$$

نظریه پیمانه ای ابرتقارنی در دو ابرفضای جابجایی و ناجابجایی مورد بررسی قرار می گیرد. برای ابرفضای جابجایی رابطه ی غیر چادجابجایی مولفه های گراسمنی بصورت زیر را خواهیم داشت و نظریه با عنوان نظریه پیمانه ای $N=۱$ معرفی می شود :

$$\{\theta^\alpha, \theta^\beta\} = ۰$$

ابرفضای ناجابجایی ابرفضایی ست که پادجابجایی مختصه های گراسمنی در آن مخالف صفر است و معرف این ابرفضا رابطه ی پادجابجایی زیر خواهد بود، به این ترتیب نظریه با عنوان نظریه ی پیمانه ای ابرتقارنی $N=\frac{۱}{۲}$ معرفی می شود [۸، ۲۷] :

$$\{\theta^\alpha, \theta^\beta\}_* = C^{\alpha\beta}$$

نظریه میدان در این ابرفضا شامل جملاتی از ابرمیدان هایی ست که با ضرب ستاره معرفی می شوند. وجود

[۱] SuperSymmetry

ضرب ستاره در این ابرفضا باعث می شود لاگرانژی اصلی جملاتی با پارامتر ناجابجایی C را داشته باشد و بصورت شکلی متفاوت از لاگرانژی در ابرفضای جابجایی معرفی شود.

برای محاسبه ی دامنه پراکندگی های موجود در نظریه ی ابرتقارنی از روشهای اختلالی وابسته به زمان بهره می گیریم. به این ترتیب مطلوب ما از طریق محاسبه ی توابع گرین چند نقطه ای بدست خواهد آمد که این توابع خود را بصورت نمودارهای تک حلقه، دو حلقه و... معرفی می شوند. تعداد این حلقه ها بستگی به میزان تصحیحات تابشی دارد که خود از نظریه ی اختلال ناشی شده است. در برخی موارد نتایج حاصل از نمودارها غیرمنطقی به نظر می رسند چرا که با در نظر گرفتن تقریبهای اختلالی، جواب های ما دارای واگرایی های خواهند بود. بنابراین باید راه حلی بیابیم تا بتوان واگرایی ها را در هر مرتبه ای، از نظریه خارج کرد. فرآیند حذف واگرایی با عنوان فرآیند بازبهنجارپذیری معرفی می شود[۳۲، ۱].

اخیرا بازبهنجارپذیری نظریه میدان های ناجابجایی توجه بسیاری را به خود معطوف کرده است. به نظر می رسد این نظریه ها بصورت قدرتمند امکان بازبهنجارپذیری را نداشته باشند در حالی که مطالعات صورت گرفته در این زمینه بیان می کنند با اضافه کردن جملاتی به لاگرانژی بازبهنجارپذیری نظریه در تمامی مراتب امکان پذیر است[۱۲].

خلاصه ای از مباحث مطرح شده در این پایان نامه بصورت زیر معرفی شده است:

در فصل اول ابتدا به معرفی نظریه ی ابر تقارن می پردازیم و پس از آن مفاهیم ابرفضا، ابرانتقال و ابرمیدان را معرفی خواهیم کرد و در انتها تبدیلات ابرتقارنی و پیمانه ای نظریه ی ابرتقارنی در ابرفضای جابجایی و لاگرانژی نظریه را مورد بررسی و محاسبه قرار می دهیم.

در فصل دوم ابرفضای ناجابجایی را معرفی می کنیم و پس از بیان جبر حاکم بر این ابرفضا، تبدیلات ابرتقارنی و پیمانه ای مولفه های میدان موجود در نظریه را معرفی و به محاسبه ی آنها می پردازیم و در انتها لاگرانژی را در این ابرفضا معرفی می کنیم.

در فصل سوم پس از معرفی لاگرانژی نظریه در گروه $U(N)$ در ابرفضای ناجابجایی به محاسبه رأس های لاگرانژی و انتشارگرهای می پردازیم.نمونه ای از واگرایی حاصل از نمودار تک حلقه ای را محاسبه می کنیم و فرآیند بازبهنجارپذیری را بیان می کنیم و بحث خود را بر روی این مبحث معطوف می‌کنیم.

در فصل چهارم که اصلی ترین قسمت پایان نامه است، با بازتعریف دو میدان پیمانه ای و فرمیونی پیمانه ای و جایگذاری آنها در لاگرانژی، لاگرانژی جدیدی بدست می آید که شامل قواعد فاینمن جدیدی ست به این ترتیب به محاسبه تمامی نمودارهای تک حلقه‌ی برای نظریه‌ی پیمانه‌ای $N = \frac{۱}{۲}$ با استفاده از قواعد فاینمن جدید می پردازیم و پس از آن فرآیند بازبهنجارپذیر را باز نویسی می کنیم و بازبهنجارپذیر بودن یا غیر قابل بازبهنجارپذیر بودن نظریه‌ی مذکور را در تقریب مرتبه ی اول مورد بررسی قرار می دهیم.

فصل ۱

نظریه پیمانه ای ابرتقارن$N = 1$

۱-۱ مقدمه

نظریه میدانهای ابرتقارنی[1] نه تنها نقش مهمی در توسعه فیزیک نظری داشته، بلکه در سه دهه اخیر تاثیر عمیقی روی فیزیک ذرات بنیادی تجربی نیز گذاشته است. به نظر می‌رسد نظریه ابرتقارن برای اولین بار در متون نظریه ریسمان [2]در دهه هفتاد ظاهر شده است و درآن زمان بیشتر به عنوان ابزار نظری خالص در نظر گرفته می‌شد، در اندک زمانی متوجه شدند که می‌توان نظریه ابرتقارن را به صورت یک تقارن برای نظریه میدان کوانتومی در نظر گرفت و از آن در مطالعه فیزیک ذرات بنیادی استفاده نمود. ایده‌ی اساسی پیدایش این نظریه، وحدت میان تمام نیروهای طبیعت است که این وحدت در فواصل بسیار کوچک در حد طول پلانک $l_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \simeq 10^{-35}m$ اتفاق می افتد[۲].

نظریه ابرتقارن شامل دو دسته از ذرات، بوزون ها و فرمیونها، است که تاکنون از بنیاد متفاوت فرض شده اند، چرا که اندازه ی اسپین شان آنها را از همدیگر متمایز می سازد. به این ترتیب می توان ابرتقارن را اینگونه تعریف کرد:"ابرتقارن عملیاتی است که بوزون ها را به فرمیون ها تبدیل می کند، و برعکس". تبدیلات ابرتقارن توسط عملگرهایی حاصل می‌شوند که حالت فرمیونی را به بوزونی و برعکس، تبدیل می کند:

$$Q|fermion\rangle = |boson\rangle$$

$$Q|boson\rangle = |fermion\rangle$$

[1] Supersymmetric Field Theory

[2] String

Q عملگری است که فقط اسپین ذرات را تغییر می‌دهد اما انرژی و تکانه ذره را بدون تغییرباقی می‌گذارد، یعنی اگر عملگر Q روی یک حالت بوزونی اثر کند، حالت نهایی یک فرمیون است که انرژی و تکانه فرمیون با حالت بوزونی برابر است. [۱، ۴]

۱-۱-۱ وحدت همراه با گرانش

بوزونی که گرانش کوانتومی را توصیف می کند گراویتون با اسپین ۲ است، درحالی که دیگر بوزونهای پیمانه ای (فوتون، گلوئون، بوزون های ضعیف Z و W) اسپین ۱ دارند. با شروع از حالت گراویتون اسپین ۲، همراه با مولدهای ابرتقارنی به زنجیره حالتهای زیر می رسیم:

$$Spin۲ \rightarrow Spin\frac{۳}{۲} \rightarrow Spin۱ \rightarrow Spin\frac{۱}{۲} \rightarrow Spin۰$$

بنابراین وحدت بنیادی بین ماده (فرمیون ها) با نیروهای طبیعی (بوزون ها) از جستجوی یکسان سازی گرانشی با دیگر برهمکنش‌ها حاصل می شود.

علاوه برمسئله وحدت نیروها نظریه ابرتقارن پاسخگوی دیگرمسائل مدل استاندارد است ازجمله: وحدت میان جفت شدگی پیمانه ای[۳] ،مسئله سلسله مراتب [۴] ، اختر فیزیک وکیهان شناسی [۵] (ماده تاریک [۶]) و....[۱۴]

۲-۱ جبر ابرتقارنی

ساختار یک گروه با جبر آن تعیین می شود. جبری که ابرتقارن را توصیف می کند ، جبر لی تعمیم یافته است که در توافق کامل با نظریه میدان کوانتومی نسبیتی است.

جبر لی، توصیف کننده ی گروه لورنتس است و می توان آن را به فرم کلی زیر نوشت:

$$[M_{\mu\upsilon}, M_{\rho\sigma}] = i(g_{\upsilon\rho}M_{\mu\sigma} - g_{\mu\rho}M_{\upsilon\sigma} + g_{\mu\sigma}M_{\upsilon\rho} - g_{\upsilon\sigma}M_{\mu\rho}) \qquad (۱-۱)$$

[۳] Unification of guage couplings

[۴] Solution to the hierarchy problem

[۵] Astrophysics and Cosmology

[۶] Dark matter

اما گروه مناسب برای توصیف فیزیک ذرات چیست؟

گروه تقارنی همگن لورنتس[۷] شامل عملگرهای اندازه حرکت زاویه ای و خیز[۸] می‌باشد ولی عملگر انتقال در این گروه تقارنی قرار نمی‌گیرد، از این رو باید از گروه عملگر لورنتس که به گروه پوانکاره[۹] معروف می باشد و شامل تمام عملگرهای فوق می‌باشد استفاده کرد.

جبر گروه پوانکاره، با اضافه کردن عملگر انتقال p به جبر گروه لی به صورت زیر معرفی می‌شود[۲۶] :

$$[P_\mu, P_\upsilon] = 0 \qquad [P_\mu, M_{\rho\sigma}] = 0 \tag{۱-۲}$$

اما ابرتقارن یک بسط از تقارن های مشهور فضا - زمانی است که علاوه برعملگرهای فوق، شامل عملگر Q نیز می‌باشد. بنابراین جبر ابرتقارن تعمیمی از جبر پوانکاره است که نمایش های مختلف با اسپین های متفاوت را به هم مربوط می‌کند. رابطه‌ی کلیدی توسط پادجابجایی زیر داده می شود[۲۸]:

$$\{Q_\alpha, \bar{Q}_{\dot{\alpha}}\} = 2\sigma^{\mu}_{\alpha\dot{\alpha}} P_\mu \tag{۱-۳}$$

رابطه ۱-۳ به این معناست که ذرات درون ابرچندتایی باید جرم یکسانی داشته باشند.

بر این اساس گروه ابرتقارن ، شامل مولدهای بوزونیB، مولدهای فرمیونیF، مولدهای انرژی تکانه P، مولد تبدیلات لورنتس$M_{\mu\upsilon}$ و تعداد متناهی ازB_r ها (مولدهای اسکالر لورنتس که متعلق به جبر لی یک گروه فشرده هستند) می باشد. بطور خلاصه این عملگرها در جبر لی تعمیم یافته ، باید روابط زیر را برآورده کنند :

$$[B, B] = B \qquad [B, F] = F \qquad \{F, F\} = B \tag{۱-۴}$$

$$[P_\mu, B_r] = [M_{\mu r}, B_r] = 0 \tag{۱-۵}$$

با ترکیب جبر پوانکاره و جبر تقارن داخلی ، به جبر لی ابرپوانکاره که ساختار ابرتقارن را تشکیل می‌دهد، خواهیم رسید. در این پایان نامه ساده ترین بسط از ابرتقارن را در نظر می گیریم ؛ یعنی فرض می کنیم فقط یک جفت مولد اسپینوری وجود داشته باشد$N = 1$، به این ترتیب یک نظریه ابرتقارن ساده یا توسعه نیافته

[۷] Homogeneous

[۸] Boost

[۹] poincare

خواهیم داشت که حداقل تعداد ذرات را شامل می شود؛ در حالیکه اگر $N > ۱$ باشد، آنگاه ابرتقارن توسعه یافته[۱۰] داریم. معادلات زیر توصیف کننده جریان ابرتقارن هستند:

$$[Q_\alpha, P_\mu] = [\bar{Q}_{\dot{\alpha}}, P_\mu] = ۰ \tag{۱-۶}$$

$$[Q_\alpha, M_{\mu\upsilon}] = \frac{۱}{۲}(\sigma_{\mu\upsilon})_\alpha^\beta Q_\beta \tag{۱-۷}$$

$$[\bar{Q}_{\dot{\alpha}}, M_{\mu\upsilon}] = -\frac{۱}{۲}\bar{Q}_{\dot{\beta}}(\bar{\sigma}_{\mu\upsilon})_{\dot{\alpha}}^{\dot{\beta}} \tag{۱-۸}$$

$$\{\bar{Q}_{\dot{\alpha}}, \bar{Q}_{\dot{\beta}}\} = ۰ \tag{۱-۹}$$

$$[Q_\alpha, R^\alpha] = [\bar{Q}_{\dot{\alpha}}, R^\alpha] = ۰ \tag{۱-۱۰}$$

در این روابط R^α مولدهای تقارن داخلی و$\alpha, \dot{\alpha}, \beta, \dot{\beta}$ اندیس های اسپینوری هستند که مقادیر ۱ و ۲ را می گیرند[۲۶].

از معادله ۱-۳ مولدهای ابرتقارنی $\bar{Q}_{\dot{\alpha}}, Q_\alpha$ را به صورت زیر در نظر می گیریم:

$$\begin{cases} iQ_\alpha = -i\dfrac{\partial}{\partial\theta^\alpha} - \sigma^\mu_{\alpha\dot{\alpha}}\bar{\theta}^{\dot{\alpha}}\partial_\mu \\ i\tilde{Q}_{\dot{\alpha}} = i\dfrac{\partial}{\partial\bar{\theta}^{\dot{\alpha}}} - \theta^\alpha\sigma^\mu_{\alpha\dot{\alpha}}\partial_\mu \end{cases} \tag{۱-۱۱}$$

در این جا $\bar{\theta}^{\dot{\alpha}}$ و θ^α مولفه های گراسمنی[۱۱] هستند.

---

[۱۰] Extended

[۱۱] Grassmanian component