

بسم الله الرحمن الرحيم

در آمدی بر نظریه ریسمان بوزونی

به روش نظریه میدان همدیس

تالیف :

دکتر داود کمانی

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

زمستان ۱۳۹۱

سرشناسه	: کمائی، داود، ۱۳۴۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: درآمدی بر نظریه ریسمان بوزونی به روش نظریه میدان همدیس/ تألیف داود کمائی
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۷۶ص.
شابک	: 978-964-463-506-9 : ۱۵۵۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
موضوع	: نظریه ریسمان
موضوع	: ناوردای همدیس
موضوع	: نظریه ابر ریسمان ها
موضوع	: نظریه میدان کوانتومی
موضوع	: نظریه میدان (فیزیک)
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی شریف
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱/۹۸۸/۶/۴ QC۷۹۴
رده بندی دیویی	: ۵۳۹/۷۲۵۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۰۵۰۵۷۰



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)



موضوع	: درآمدی بر نظریه ریسمان بوزونی به روش نظریه میدان همدیس
تألیف	: دکتر داود کمائی
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
بیتوگرافی چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	: زمستان ۱۳۹۱
بیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۱۱۵۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۰۶-۹ : ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۰۶-۹
	تلفن مرکز پخش: ۶۶۴۹۸۸۶۸
	ISBN : 978-964-463-506-9

آدرس : خیابان ولیعصر روبروی خیابان بزرگمهر ، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است

فهرست مطالب

مقدمه	۱
فصل اول: نظریه ریسمان بوزونی در یک نگاه کلی	۱
۱-۱ کش نمبو-گوتو	۳
۲-۱ کش پولیاکف	۴
۱-۲-۱ برجا کردن پیمانه در کش پولیاکف	۷
۲-۲-۱ قیود و حجابی معادلات حرکت	۸
۳-۲-۱ کوانتش نظریه به روش کانونیک	۱۰
۴-۲-۱ عملگر هامیلتونی	۱۲
۵-۲-۱ جریانهای وابسته به تبدیلات پوانکاره	۱۳
۳-۱ نظریه ریسمان در پیمانه مخروط نور	۱۴
۱-۳-۱ عملگرهای جرم	۱۷
فصل دوم: بخش مادی نظریه ریسمان بوزونی	۲۱
۱-۲ نظریه اسکالره‌های بدون بر همکش و بدون جرم	۲۱
۲-۲ بسط ضرب عملگرها (OPE)	۲۶
۱-۲-۲ مرتب سازی شعاعی	۲۶
۲-۲-۲ ضرب عملگرهای موضعی	۲۷
۲-۲-۲ OPE برای نظریه X''	۲۷
۴-۲-۲ مثالهایی از OPE	۳۰
۳-۲ برخی پیامدهای یک تفارن	۳۵
۱-۳-۲ قضیه نوذر	۳۵
۲-۳-۲ اتحادهای وارد	۳۷
۴-۲ ناوردایی هم‌دیس	۳۹
۱-۴-۲ میدان اولیه	۴۳
۲-۴-۲ تبدیلات تانسور انرژی-تکانه	۴۸
۵-۲ بسط بر حسب مدهای نوسانی	۵۱
۱-۵-۲ ریسمان بسته	۵۱

روابط جابجایی نوسانگرها	۵۴
۲-۵-۲ ریسمان باز	۵۶
۲-۶-۲ عملگرهای رأس	۵۷
۲-۶-۲-۱ تناظر عملگر با حالت	۵۷
۲-۶-۲-۲ عملگر رأس انتگرالگیری شده	۶۱
فصل سوم: مولدها و جبر ویراسورو (برای میدانهای X^μ)	۶۵
۱-۳ جبر کلاسیکی ویراسورو	۶۶
۲-۳ جبر کوانتومی ویراسورو	۶۸
۳-۳ کاربردهای بیشتری از مولدهای ویراسورو	۷۲
۱-۳-۳ هامیلتونی ریسمان	۷۲
۲-۳-۳ عملگرهای ویراسورو بر حسب نوسانگرها	۷۳
۳-۳-۳ حالت‌های بدلی	۷۷
۴-۳-۳ مرتب سازی نرمال	۷۷
۵-۳-۳ حالت‌های بالاترین وزن همدیس	۷۸
۶-۳-۳ یکانی بودن یک نظریه میدان همدیس	۸۲
فصل چهارم: نظریه میدان همدیس برای میدانهای شبح	۸۷
۱-۴ شبح‌های همدیس	۸۷
۱-۴-۱ کنشها	۸۷
۲-۴-۱ همدیس بودن نظریه	۸۸
۳-۴-۱ معادلات حرکت، OPE ها	۹۰
۴-۴-۱ تانسور انرژی-تکانه	۹۲
۵-۴-۱ یک تقارن دیگر برای کنش S_ϕ	۹۴
۶-۴-۱ بسط بر حسب مدهای نوسانی	۹۵
۷-۴-۱ عملگرهای ویراسورو	۹۸
۸-۴-۱ تناظر حالت عملگر	۱۰۰
۲-۴ کوانتش BRST	۱۰۲
۱-۲-۴ بار BRST و خواص آن	۱۰۴

۱۰۵	۲-۲-۴ کوهمولوژی $BRST$
۱۰۷	۳-۲-۴ عملگرهای جرم
۱۰۹	۳-۴ آنریسیج‌های همدیس
۱۰۹	۱-۳-۴ کنشها
۱۱۰	۲-۳-۴ معادلات حرکت، OPE ها
۱۱۳	۳-۳-۴ مدهای نوسانی، عملگرهای ویراسورو
۱۱۵	فصل پنجم: نظریه ریسمان در حضور میدانهای زمینه
۱۱۵	۱-۵ میدانهای زمینه کلی
۱۱۵	۱-۱-۵ کنشها
۱۱۸	۲-۱-۵ تقارنها
۱۱۸	۳-۱-۵ ثابت جفت شدگی
۱۲۰	۴-۱-۵ حد انرژیهای پایین، کنش فضا-زمانی
۱۲۳	۲-۵ میدانهای زمینه خاص
۱۲۳	۱-۲-۵ فضا-زمان تخت
۱۲۳	۲-۲-۵ دیلاتون خطی
۱۲۴	۳-۲-۵ PP موج
۱۲۵	ریسمان باز
۱۲۶	ریسمان بسته
۱۲۹	فصل ششم: فشرده‌سازی روی چنبره، T -دوگانی، D -غشاءها
۱۲۹	۱-۶ فشرده‌سازی روی دایره
۱۲۹	۱-۱-۶ بسط مختصه فشرده ریسمان بر حسب مدها
۱۳۲	۲-۱-۶ عملگر جرم
۱۳۲	۲-۱-۶ حالت‌های بدون جرم
۱۳۵	۲-۶ T -دوگانی
۱۳۶	۱-۲-۶ مختصه دوگان ریسمان
۱۳۹	۲-۲-۶ کنش ریسمان و T -دوگانی
۱۴۰	۳-۲-۶ اثر T -دوگانی روی ریسمان باز

۱۴۳.....	۳-۶ D-غشاءها
۱۴۳.....	۱-۳-۶ ریسمانهای باز و D-غشاءها
۱۴۷.....	۲-۳-۶ ریسمانهای بسته و D-غشاءها
۱۵۰.....	۳-۳-۶ بر همکنش D-غشاءها از طریق تبادل ریسمانهای بسته
۱۵۰.....	حالت مرزی
۱۵۲.....	دامنه بر همکنش
۱۵۴.....	سهم حالتی بدون جرم ریسمان در بر همکنش
۱۵۵.....	۴-۳-۶ بر همکنش D-غشاءها از طریق ریسمانهای باز
۱۵۶.....	۵-۳-۶ کنش Dp-غشاء
۱۵۶.....	کنش دیراک-بورن-اینفیلد (DBI)
۱۵۹.....	کنش چرن-سیمونز (CS)
۱۶۰.....	کنش در حالت غیر آبلر
۱۶۳.....	مراجع
۱۶۷.....	واژه‌نامه

مقدمه

از مدتها قبل تا کنون نظریه ریسمان مهمترین موضوع در بین نظریه‌های فیزیک انرژیهای بالا بوده است. این نظریه در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی برای توضیح اسپکتروم هادرونها و برهمکنشهای آنها ابداع گردید. در حقیقت حیات واقعی نظریه ریسمان در سال ۱۹۸۴ شروع شد که در آن گرین و شوارتز نشان دادند که با انتخاب گروه پیمانه ای خاص این نظریه ناهنجاری ندارد. مهمترین انگیزه فیزیکدانان از توسعه نظریه ریسمان پیدا کردن نظریه وحدت برای هر چهار نیروی بنیادی می باشد. همچنین فرمولبندی گرانرش کوانتومی از موضوعات قابل توجه در نظریه ریسمان است.

لازم به ذکر است که یک نظریه از اجسام یک بعدی (ریسمانها) سازگار با کوانتوم نسبیتی شامل موارد زیر خواهد بود: گراس، که از طریق یک حالت بدون جرم با اسپین ۲ در نظریه ریسمان ظاهر میشود و برهمکنشهای آن در انرژیهای پایین منجر به نسبیت عام میشود؛ یک نظریه سازگار برای گرانرش کوانتومی (حداقل بصورت یک نظریه اختلالی)؛ نظریه وحدت بزرگ؛ ابعاد اضافی، که برای نظریه ریسمان بوزونی ۲۲ تا و برای اُپریسمان ۶ تا می باشند؛ اُبرتقارن؛ جفت شدگیهای پیمانه ای تکدست؛ نبود پارامترهای آزاد و ... علاوه بر این موارد فیزیکی، نظریه ریسمان ارتباط عمیقی نیز با ریاضیات دارد. لازم به ذکر است که بعضی از موارد فوق مختص نظریه اُپریسمان است.

نظریه ریسمان دارای تعدادی تقارن می باشد. در بین این تقارنها ناوردایی همدیس جایگاهی ویژه دارد. تقارن همدیس در سال ۱۹۷۱ وارد نظریه میدانهای کوانتومی شد و سریعاً وارد نظریه ریسمان گردید. مطالعه نظریه ریسمان به زبان نظریه میدان همدیس از پیشنیازهای اصلی این شاخه از علم محسوب می شود. در حقیقت بیان این نظریه به روش نظریه میدان همدیس تا حدودی ثقیل است. بنابر این، بر آن شدم که تا حد ممکن آنرا روان و قابل فهم نمایم. بر این مبنا کتاب حاضر نگاشته شد. در این کتاب کوشش شده است، تا جایی که ممکن باشد، روابط و معادلات بدست آورده شوند و راه حلها ارائه گردند تا تصویری نسبتاً ساده از نظریه ریسمان به روش نظریه میدان همدیس ارائه گردد. لازم به ذکر است که روش نظریه میدان همدیس از فصل دوم به بعد اعمال خواهد شد.

در این کتاب به معرفی و توصیف ساده ترین نظریه ریسمان، یعنی نظریه ریسمان بوزونی می پردازیم. اگر چه این نظریه غیر واقعی است و برای پدیده شناسی مناسب نیست (زیرا فاقد فرمیون است و در اسپکتروم آن تاکیون وجود دارد)، اما بسیاری از ساختارها و تکنیکهای آن شبیه نظریه ابر ریسمان است که یک نظریه واقعی می باشد. عبارت دیگر، با مطالعه نظریه ریسمان بوزونی یک چارچوب بدست می آید که از طریق آن می توان فرمیونها و ابرتقارن را وارد نظریه کرد و به اُپریسمان دست یافت.

برای مطالعه این کتاب فرض شده است که خواننده از قبل با دانش نظریه ریسمان آشنا نیست، اما آشنا به اصول نسبیت عام از قبیل متریک، انحناء، معادله انیشتین و کنش انیشتین-هیلبرت می باشد. همچنین فرض شده است که خواننده دارای دانش نظریه میدانهای کوانتومی است.

در این کتاب فضا-زمان، که ریسمان در آن منتشر می شود، یک مینفولد تخت است و متریک آن دارای امضای

$$\eta_{\mu\nu} = \text{diag} \left(-1, \underbrace{1, \dots, 1}_{D-1} \right),$$

می باشد. برای یک بعد زمانی و $D-1$ بعد مکانی. خواهیم دید که سازگاری کوانتومی نظریه ریسمان بورونی منجر به پیدایش بعد $D=26$ می شود. برای جهان-رویه ریسمان نیز داریم $\eta_{\alpha\beta} = \text{diag}(-1, 1)$ همچنین دستگاه یکاهای طبیعی را بکار می بریم که در آن $\hbar = c = 1$ ، اما شیب رژی یعنی α' را صریحاً ذکر می کنیم.

داود کمانی
فروردین ماه ۱۳۹۱