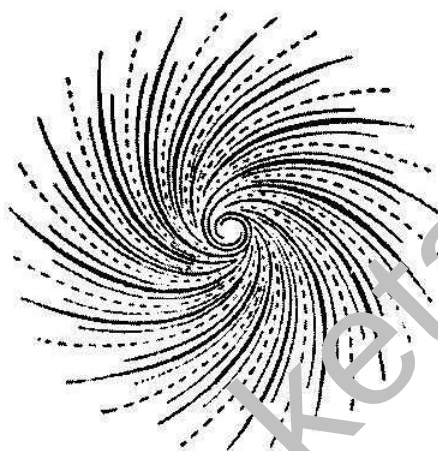


تئوری «ریسمان»

نظریه‌ای واحد و بینشی نامحدود در ذرات بنیادی
(بازدم)



تألیف

پیام طبیبی زاده

مؤسسه آموزش عالی علامه حلی، گروه فیزیک و نجوم



نشر شاملو

فروردین ماه سال ۱۳۹۶ خورشیدی، مشهد

نام پدیدآور: طیبی زاده، پیام

عنوان: تئوری «ریسمان» نظریه‌ای واحد و بینشی نامحدود در ذرات بنیادی / پیام طیبی زاده.

مشخصات نشر: مشهد: شاملو، ۱۳۹۶

مشخصات ظاهری: ۳۵۲ ص.

شابک: 978-600-116-684-6

وضعیت فهرست‌نویسی: فیای مختصر

یادداشت: فهرست‌نویسی کامل این اثر در نشانی <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.

تئوری «ریسمان»:

نظریه‌ای واحد و بینشی نامحدود در ذرات بنیادی

(بازدم)

تألیف: پیام طیبی زاده

تدوین: مهندس راضیه احمدی

طراح جلد: سیده فرزانه موسوی

ناظر چاپ: کاظم شاملو

گرافیکست: سیده زهرا موسوی

برایش و حروف‌نگار: گلناز شامبیانی

نشر: انتشارات شاملو

چاپخانه: مهرتوس

تاریخ تألیف: ۲۶ آبان ۱۳۹۵

نوبت چاپ: چهارم ۱۳۹۶

تعداد صفحات: ۳۵۲ صفحه

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۸۰/۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۶-۶۸۴-۶

کلیه حقوق کتاب برای مؤلف محفوظ است.



9 786001 166846

مشهد - نبش صیاد شیرازی ۵ - مجتمع ستا - وامد ۳۱۱

تلفن: ۳۸۹۴۳۲۲۳ (۰۵۱) - همراه: ۰۹۱۵۱۱۱۵۶۰۸

shamlo.pub@gmail.com



نشر شاملو

یکی از اهداف علم فیزیک کشف ساختار و ماهیت طبیعت در ورای محدودیت‌ها است. حاکمیت تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی، منجر به حاکم شدن نقش روش‌های ریاضی پیشرفته در فیزیک شد و نتیجتاً شاخه «فیزیک نظری» گسترده‌تر جلوه کرد. مجموعه نظریاتی که در کتاب حاضر مطرح شده‌اند، از نقطه نظر ریاضی در سطح بسیار بالا و پیچیده‌ای قرار دارند؛ اما بیشتر بر فلسفه بسیار عمیق جهان فیزیک پی‌ریزی شده‌اند. تئوری «ریسمان» یکی از چالش‌برانگیزترین نظریات فیزیک کوانتومی و تلاقی دودنیای «میدان و ذره» و بازگوکننده وحدت وجود است. تئوری مورد بحث در این کتاب، نظریه‌ای واحد و بینشی نامحدود در ذرات بنیادی است؛ جایی که همه نیروهای طبیعت در یک معادله جمع می‌شوند و اعلام یکپارچگی می‌کنند. دنیای «نظریه ریسمان» شبیه افق‌های علمی فیزیک است؛ افسانه‌هایی که قوانین فیزیک را در هم می‌شکنند و همه را یکپارچه می‌سازند. تئوری «ریسمان» با ارائه‌ای جدید از عالم، شما را به فراسوی ظریف‌ترین قوانین فیزیک سوق می‌دهد. روشی که ما در این تئوری انجام می‌دهیم برای هر ماده‌ای کاربرد دارد. از کوچک‌ترین ذرات عالم تا کهکشان‌ها و بالاخره کل هستی. تئوری ریسمان، نظریه جهان‌شمول فیزیک ذرات بنیادی است. شاید بتوان گفت «تئوری ریسمان»، «تئوری M» و «تئوری ذره» مهم‌ترین بحث در نظریه‌های فیزیک انرژی بالا است که در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی مطرح و به تشریح اسپکتروم هادرون‌ها و نیز برهم‌کنش‌های آن‌ها مطرح شد. همان‌طور که در فصل اول این کتاب خواهد خواند، شروع اولیه تئوری ریسمان را در ۱۹۸۴ میلادی می‌دانیم. در آن سال، فیزیکدانان نامی، شرزنبرگر، گابریل، ثابت کردند که با انتخاب «گروه پیمان‌های» بخصوصی این نظریه نابهنجاری ندارد.

کتاب حاضر، مجموعه کامل از فیزیک ذرات بنیادی است که به صورت تخصصی به بررسی و تجزیه و تحلیل تئوری «ریسمان» می‌پردازد. فیزیک ذرات بنیادی یکی از گرایش‌های فیزیک کوانتومی است که دانشجویان فیزیک در سطح کارشناسی ارشد با آن آشنا می‌شوند. متن اولیه این کتاب را در جریان کلاس المپیاد تخصصی فیزیک (آموزش عالی) به رشته تحریر درآوردم. در سال ۱۳۸۸ مشغول تدریس نظریه نسبیت عام و فیزیک ذرات بنیادی بودم که شاگردانم به‌طور مکرر در مورد نظریه ریسمان سؤالاتی مطرح کرده و انتظار پاسخی مبسوط بودند. نهایتاً با چاپ کتاب «مقدمه‌ای بر تئوری ذره» (چاپ اول: شاملو - ۱۳۹۵) به گوشه‌ای از سؤالات آن‌ها پاسخ دادم. در کتاب «تئوری ذره» به ساختار میکروسکوپی ذرات بنیادی پرداخته‌ام و از

وارد شدن به مبحث «تئوری ریسمان» صرف نظر کردم؛ اما در کتاب حاضر به صورت مبسوط به ساختار تئوری «ریسمان‌ها» پرداختم.

مطالعه این کتاب برای دانش‌پژوهانی است که دروس نظریه نسبیت خاص، تئوری نسبیت عام، فیزیک کوانتومی و فیزیک ذرات بنیادی را فرا گرفته‌اند. البته دانش‌پژوه مجبور است برای درک بهتر و عمیق مطالب، روش‌های ریاضی در فیزیک را بکار بگیرد. با این وجود سعی کرده‌ام که در روان بودن متن کتاب کوشش کرده و پیچیدگی‌های بسیار این نظریه را از میان بردارم. به عبارت دیگر، برای مطالعه این کتاب، خواننده باید با متریک فضا - زمان، معادلات انیشتین، کنش انیشتین - هارتر، هندسه تحلیلی و جبر خطی پیشرفته، جبر لی و تئوری میدان کوانتومی آشنایی کامل داشته باشد.

بینش فیزیکدانان در ابتدای به طبیعت ماورای چیزی است که فیزیکدانان دیگر به طبیعت و اصولاً هستی دارند. بینش ما کشف مرکزیت حیاتی ماده است؛ نقطه‌ای که «ریسمان‌ها» در آن شناور بوده و حقیقت حیات را بازگو می‌کنند. به طور سنتی، فضایی که ریسمان‌ها در آن می‌زیزند بیست و شش بعدی است. عدد بیست و شش از روی روابط ریاضی و نظریه گروه‌ها به دست می‌آید. این ابعاد اضافی برخلاف چهار بعد دیگر کوچک و فشرده هستند. کلمه «فشرده» یعنی اگر در جهت آن‌ها به اندازه کافی پیشروی کنید به جای اول خود برمی‌گردید. کوچک بودن هم معنایش این است که برای آنکه به جای نخست بازگردید باید مسافت بسیار کمی را طی کنید. این سمفونی بسیار ظریف در قلب همه ذرات هستی وجود دارد و ما آن را «فیزیک ذرات بنیادی» به نام تئوری «ریسمان» می‌شناسیم.

به کار بستن مباحث فیزیک نوین و «ریاضی فیزیک پیشرفته»، اگرچه در درک ما از ماهیت هستی پدید آورده است. هدف اصلی این کتاب تشریح فیزیکی ساختار و ماهیت ریسمان‌ها است. باعث خشنودی من است که تألیف این کتاب را به عنوان گامی در بسط تئوری «ریسمان» به دانش‌پژوهان فیزیک نوین تقدیم نمایم.

کتاب حاضر بر پایه درس‌نامه‌هایی بنا شده است که برای دانش‌پژوهان دوره‌های تکمیلی المپیاد فیزیک تخصصی تدریس شده و فقط برای مطالعه فیزیک‌پیشه‌گان فیزیک ذرات بنیادی نیست، بلکه برای فیزیکدانانی که در زمینه‌های دیگر فیزیک هستند نیز پیشنهاد می‌شود و راهگشای بسیاری از مسائل پیرامون وحدت میدان‌ها است.

دلیل اماتی در خصوص نظریه ریسمان می‌گوید:

«نظریه ریسمان، بخشی از فیزیک بیست و یکم است که به‌طور تصادفی در قرن بیستم مطرح شد.»

سایبرگ در مورد تئوری «ریسمان» معتقد است:

«اغلب تئوری پردازان بخش ریسمان بسیار مغرور هستند. اگر چیزی وراء تئوری ریسمان باشد، ما آن را نظریه ریسمان می‌نامیم.»

اما شطری در مورد پیکربندی و ساختار علمی کتاب صحبت کنم. فصل ۱، مروری تاریخی بر سیر تحول مفاهیم تا ارائه تئوری «ریسمان» است. فصول ۲ تا ۴ به مروری بر بنیان‌های فیزیک کلاسیک، تئوری نسبیت، مکانیک کوانتومی، تئوری ذره و الکترودینامیک کوانتومی می‌پردازد. فصل ۵ را به ارائه نتایج یکی از تحقیقات پیرامون «معرفی ابر همزاد گراویتون» اختصاص داده‌ام. در پژوهش انجام شده، ما سه دارم ابر همزاد گراویتون، یعنی گراویتینو، را به‌عنوان کاندیدای ماده تاریک، طول عمر گراویتینو را برای جرم‌های معین بر اساس واپاشی به چهار ذره مختلف و بررسی نسبت شاخه‌های گراویتینو بررسی می‌کنیم.

فصل ۶ به امواج در حوزه «ریسمان‌های ابرنسبیتی» اختصاص دارد و مختصری است در خصوص «فیزیک امواج و ارتعاشات در ریسمان‌های غیرنسبیتی».

فصل ۷ به «انرژی‌های یونیزاسیون در ابعاد اتمی» مربوط است و به تجزیه و تحلیل جزئیات محاسباتی آن پرداخته شده است.

فصل ۸ را مبدأ اصلی «تئوری ریسمان» از نظر ریاضی قرار داده‌ام. از فصل ۸ تا فصل ۱۲ به حوزه تئوری «ریسمان» پرداخته‌ام و بینشی نامحدود در ذرات بنیادی (بازدم) را مورد کنکاش قرار داده و در نهایت به بررسی «تئوری ابرریسمان» و «ابر گرانش» معطوف شده‌ام.

توجه کنید که در فصل ۹ تا ۱۲، ریسمان در فضا - زمان متریک با رابطه $\eta_{\mu\nu} = \text{diag} \left(-1, \underbrace{1, \dots, 1}_{D-1} \right)$ است. این رابطه برای یک بعد زمانی و $D - 1$ بعد مکانی نگاشته شده

است. همچنین نشان داده‌ام که توافق کوانتومی تئوری ریسمان بوزونی منجر به ظهور ۲۶ بعد می‌شود ($D = 26$). برای «جهان - رویه» ریسمان نیز روابط خاصی ارائه شده. همچنین به بررسی «معادله حرکت ریسمان‌ها» پرداخته شده است.

با توجه به مطالب کتاب و از آنجا که بحث اصلی تئوری «ریسمان» بود از این جهت آن را «تئوری ریسمان»: بینشی نامحدود و نظریه واحد در ذرات بنیادی نامیدم که «بازدم» یا «ارتعاش» را در بطن ذرات بنیادی بیان می‌کند.

لازم به تذکر است که ادامه تحقیقات تئوری ریسمان ادامه دارد و امروزه «تئوری M» نیز در حال کامل شدن است. به همین مناسبت، صلاح بر این شد که کتاب «تئوری M» را در آینده‌ای نزدیک به رشته تحریر درآورم.

آیزاک نیربون (۱۷۲۷ - ۱۶۴۳) می‌گوید: «علت پیشرفت من این بود که روی شانه دانشمندان حقیقی (عظیم‌الجثه‌ها) ایستادم و جهان را بهتر نگریستم» و حقیقتاً هم در نوشتن این کتاب همین‌طور بوده است.

کتاب «تئوری ریسمان» همه بداشت‌های محدود در فیزیک نظری را از میان می‌دارد و چگونگی وحدت چهار نیروی بنیادی را در بطن ذرات بنیادی به تصویر می‌کشد. در حقیقت افقی جدید به‌سوی شناخت و کشف ابعاد گسترده ذرات و مبین یگانگی واحد حیاتی بنام «ریسمان» است.

درنهایت پرتو نورانی و «افق رویداد» تئوری «ریسمان» و «تئوری M» در تحقیقات ما، بنیاد مرصوص و امید روزهای روشن فیزیکدانان برای کشف «تئوری وحدت بزرگ» است. امید آنکه کتاب حاضر نیز مورد توجه اهل نظر قرار گیرد. در خاتمه کتاب را نوشتم به یادبود اساتید ارجمندم، به‌ویژه محمد سرفراز و دکتر مرتضی سرفراز. روحشان قرین رحمت خداوند باد.

این خروشم نیست جز با این پیام زامر او می‌روید از من این کلام

۵ فروردین ۱۳۹۶ خورشیدی

۲۶ مارس ۲۰۱۷ میلادی

نوشهر، کلبه جنگلی (سی سنگان)

پیشگفتار

حدود ۷۰ سال از نخستین بحث پیرامون نظریه «ریسمان» می‌گذرد. ماهیت ذاتی ماده بسیار پیچیده است و هر ساله تحقیقات بسیاری به‌عنوان مقالات و کتب علمی را بخود اختصاص می‌دهد. ما فیزیکدانان نیز هر روز ذهن خودمان را به بسیاری از مجهولات طبیعت معطوف می‌کنیم. در این میان علم فیزیک است که با ابزارهای پیچیده ریاضیات فضای فکری ما را مهندسی نموده و ما را به سمت درک ماهیت طبیعت هدایت می‌کند.

نظریه «ریسمان» یکی از پیچیده‌ترین نظریات فیزیک جدید است که در مورد بنیادی‌ترین اجزای ماده صحبت می‌کند و زبان ریاضیات تانسوری را برای به تصویر کشیدن وحدت چهار نیروی طبیعت به کار گرفته است.

نظریه ریسمان اولین بار با توضیح نیروی بین‌هسته‌ای قوی پیشنهاد شد. لیکن معلوم شد که مدل «کرومودینامیک کوانتومی» که اینک بخشی از مدل استاندارد است در توضیح این پدیده بسیار موفق‌تر است. طبیعتاً طریقه ریسمان به نفع کرومودینامیک کوانتومی وانهاده شد. بعدها نظریه ریسمان به عنوان یک تئوری نامتناقض گرانش کوانتومی از نو توسط فاینمن و گرین و شوارتز مطرح شد. این بار اندازه و مقیاس ریسمان‌ها بسیار کوچک‌تر از آن ریسمان‌های توضیح‌دهنده نیروی ضعیف در نظر گرفته شد.

به این احیای مجدد نظریه ریسمان اصطلاحاً «انتقال نخست ابرریسمان» گفته می‌شود. پیشوند ابر در ابتدای کلمه ریسمان به این دلیل آمده است که برای داشتن یک نظریه ریسمان فاقد تناقض و همچنین امکان داشتن ریسمان‌های فرمیونی نیاز به معرفی یک تقارن جدید موسوم به ابرتقارن در کنش ریسمان داریم. به این موضوع پیشتر اشاره گذایی شد. به هر حال چنان‌که پیشتر اشاره شد تنها پنج نظریه ریسمان نامتناقض داریم؛ و این سؤال هم مطرح بود که کدام یک از این نظریه‌ها توصیف‌گر طبیعت‌اند. همه این مباحث را در کتاب حاضر که گنجینه‌ای است مکتوب از نظریه ریسمان مطالعه خواهید نمود.

در حدود یک سال پیش از این توسط یکی از همکارانم در دانشگاه توهوکو با نگارنده کتاب آشنا شدم. در آن زمان با خواندن دو مقاله از نگارنده که در دانشگاه توهوکو به چاپ رسیده بود ایجاد یک ارتباط را دامن زد تا آنکه با رزومه کاری وی آشنا شدم. زمینه‌های فیزیکی که نگارنده در آن‌ها تحقیق و پژوهش داشت و همچنین تألیفات او برای من مایه تعجب داشت. چرا که دامنه تحقیقات و تألیفات وی بسیار وسیع بود. البته با شناخت کامل از شخصیت مؤلف و مطالعه کتب

و مقالات ایشان بسیاری از سوالات را از ذهنم پاک نمود. بخشی از مباحثی که وی در آن‌ها به تحقیق پرداخته عبارتند از مکانیک تحلیلی، اپتیک، اپتیک کوانتومی، نظریه نسبیت خاص و عام، مکانیک کوانتومی، الکترودینامیک، الکترودینامیک کوانتومی، نظریه میدان‌های کوانتومی، فیزیک حالت جامد، رشد بلور، فیزیک لایه‌های نازک، فیزیک اتمی، فیزیک ذرات بنیادی و مدل استاندارد، کیهان‌شناسی کوانتومی، ساختارهای نانو و ... مؤلف در زمینه «تنوری ذره» نیز دارای تحقیقات وسیعی است و کتابی هم اخیراً تحت همین عنوان به چاپ رسانیده است.

نهایتاً من به‌طور مستقیم با نگارنده یک گفت‌وگو را شروع کردم که برایم بسیار مایه خرسندی بود. در آن زمان کتاب حاضر را شروع به نگاشتن کرده بود و چون زبان فیزیک، زبان ریاضیات محض است بنابراین در آنهمه درک مطالب مشکلی نداشتم. عمیقاً احساس شگفتی داشتم از اینکه می‌دیدم درون‌مایه‌های فلسفی کتاب بسیار نزدیک به مکاتب فلسفی ژاپن است و حتی تمثیل‌های شاعرانه متن فلسفی اشعاره مستقیم به اشعار هایکوهای ژاپنی دارد. با مشورت نگارنده بر آن شدم تا یک مقدمه مختصر نیز برای این کتاب به رشته تحریر در آورم. چون نگارش پیشگفتار با آغاز فصل بهار همراه بود این هایکو را از «اساتوبایاشی» بخاطر آوردم که:

بهار من تنها همین است:

تک نهال بامبو،

و یک شاخه پید.

برای مدت نزدیک سی سال است که به تدریس تنوری ژاپن در مراکز تحقیقاتی ژاپن اشتغال دارم و جایزه نوبل فیزیک را هم در زمینه فیزیک ذرات بنیادی در سال ۲۰۰۸ اخذ کرده‌ام. کتاب حاضر نیز مرا به سمت بینشی نامحدود از تنوری ریسن در وقت آزاد و امید دارم که در آینده نیز با مشارکت مؤلف کتابی در «ایبرگانش» به نگارش در آوریم.

مکوتا کبایاشی

دانشگاه ناگویا، گروه فیزیک نظری

مارس ۲۰۱۷

تئوری «ریسمان» نظریه واحد و بینشی نامحدود در ذرات بنیادی

تئوری «ریسمان»، یک مدل پیچیده ریاضی فیزیکی از ساختار درونی ذرات بنیادی است. این نظریه برای هر نوع ماده‌ای کاربرد دارد و جامعه فیزیکدانان را به سمت یک نظریه واحد برای ذره‌های بنیادی هدایت می‌کند. تئوری ریسمان به ما می‌گوید که هر آنچه که وجود دارد از ریسمان‌هایی ساخته می‌شوند. این ریسمان‌ها قادر هستند تا در فرکانس‌های گوناگون به نوسان به بپردازند. هر فرکانس خاص موجب به وجود آمدن یک ذره خاص می‌شود. مقیاس و جرم ذره به نوع نوسان بستگی دارد. همچنین تئوری «ریسمان» به ما می‌گوید که نمی‌توانیم هیچ تفاوت اندازه‌گیری را بین ریسمان‌هایی که به دور ابعاد کوچکتر پیچیده‌اند با ریسمان‌هایی که در ابعاد بزرگ‌تر حرکت می‌کنند قائل شویم. یکی از مؤلفه‌های مهم و چشمگیر تئوری «ریسمان» ابعاد اضافی آن است که تعداد آن‌ها برابر ۱۰، ۱۱ و ۲۶ می‌رسد. تئوری «ابر ریسمان» کوششی از سوی فیزیکدانان تئوری ریسمان است تا همه ذرات بنیادی در طبیعت را در قالب تئوری ریسمان بگنجانند. همان‌طور که در این کتاب خواهید دید، تئوری ریسمان برای بوزون‌ها یا حاملان نیرو مطرح شد اما در آن فرمیون‌ها جای داشتند. در تئوری «ابر ریسمان»، فرمیون‌ها وارد قلمرو ریسمان شدند و بخشی از ارتعاش ریسمان‌ها را برای ساخت آن‌ها در نظر گرفتند. نام ابر ریسمان برگرفته از ابرتقارن تئوری ریسمان است. از این جهت آن را ابر تقارن تئوری ریسمان نام گذاری کردند که ابر ریسمان به وسیله ابر تقارن فرمیون‌ها را در خود جای داد. موفقیت اصلی تئوری ریسمان که موجب شد تا آن را کاندیدای تئوری «ابر ریسمان» قرار دهند تبدیل نمودارهای فاینمن به صورت دو بعدی بود که مشکل بی‌نهایت شدن انتگال را برای آن حل نمود زیرا دیگر نقطه صفری در آن خود نمایی نمی‌کرد. بنابراین تئوری ریسمان یکی از بحران‌ها را رد کرد. در این صورت بود که می‌توانست به این صورت مهم جلوه‌گر شود. تئوری‌های ابر ریسمان در تئوری M به هم می‌پیوندند. این کتاب راهگشای همه دانش‌پژوهانی است که قصد دارند در خصوص نظریه ریسمان مطالعه کنند. این کتاب پر رمز و راز به دانشجوی فیزیک بینشی جدیدی را نسبت به «فیزیک ذرات بنیادی»، وراء محدودیت‌ها در طی گسترش کیهانی ۱۴ بیلیون سال نوری می‌دهد.

«هستی ذره شکوفنده شود»

که در باب مکانیک کوانتومی:

«قوانین زیر بنای فیزیک برای نظریه ریاضی بخش بزرگی از فیزیک و تمامی شیمی کاملاً کشف شده است.»

دیراک (سخنرانی استرالیا - ۱۹۷۵)

«من اگر بن معتقد هستم که مسائل بنیادی کاملاً حل شده است.»

هایزنبرگ (نامه مورخ ۲۷ ژوئیه ۱۹۲۸)

«مکانیک کوانتومی را رگز نمی‌توان فهمید.»

لاندائو

«هر کس فیزیک را دوست دارد را محالعه کند و شوکه نشود، آن را درک نکرده است.»

نیلز بوهر

«بعد از یادگیری مکانیک کوانتوم، هرگز آن شخص قبلی نخواهید بود.»

اشتفان واینبرگ (برنده نوبل ۱۹۷۹)

که در باب تئوری ریسمان:

«تئوری ریسمان بخشی از فیزیک قرن ۲۱ است که رسماً تا در قرن ۲۰ مطرح شد.»

وینتن از قول دنیل امانی

«باید واضح شود که هنوز هیچ دلیل مشاهداتی وجود ندارد که باور کنیم تئوری ریسمان فیزیک است، اگرچه انگیزه آن قطعاً بصیرت‌های فیزیکی قوی بوده است.»

پن رز

«امروز که بیش از سه دهه از صورت‌بندی اولیه آن می‌گذرد، غالب دست‌انداران تئوری ریسمان معتقد هستند که ما هنوز یک پاسخ جامع به این سؤال ابتدایی نداده‌ایم که تئوری ریسمان چیست؟»

برایان گرین (ظرافت جهان)

«هنوز ریاضیات مربوط به تئوری ریسمان کشف نشده است و ما همچنان با فرمول‌بندی قرن

بیستم آن را شرح می‌کنیم.»

مؤلف کتاب حاضر

فهرست فصل‌ها

شماره	عنوان فصل	صفحه
۱	مروری بر تئوری ریسمان	۱
۲	نسبیت خاص و مکانیک کوانتومی	۳۳
۳	الکترودینامیک، گرانش الکترومغناطیسی و میدان‌ها	۸۵
۴	گرانش و ثابت‌های پلانک	۱۲۷
۵	بینش فیزیکدانان تئوری ریسمان به ذرات بنیادی	۱۳۷
۶	مروری بر ریسمان‌های غیر نسبیتی	۲۰۳
۷	فیزیک ذرات اتمی؛ محاسبه انرژی یونش	۲۳۳
۸	تئوری ریسمان نظریه واحد و بینشی نامحدود در ذرات بنیادی	۲۴۱
۹	ابر ریسمان برای RNS	۲۸۱
۱۰	سیاهچاله‌ها در بطن ستوری ریسمان	۳۱۱
۱۱	نتایج تئوری ریسمان و آیند آن	۳۲۵

فهرست مطالب

فصل اول: مروری بر تئوری ریسمان

- ۱ سیر تحول فیزیک تا تئوری ریسمان
۷ سیر تکاملی تئوری ریسمان
۲۱ انقلاب علمی در تئوری ابر ریسمان
۲۶ تئوری ریسمان به عنوان یک نظریه فیزیکی واحد

فصل دوم: نسبیت خاص و مکانیک کوانتومی

- ۳۳ سیستم انداز: هگیری SI
۳۴ تئوری نسبیت خاص و اغوجاج زمان
۴۴ مروری بر هندسه فضا - زمان
۵۲ فواصل و تبدیلات پیشرفت لورنتس
۵۹ انرژی نسبیتی و تکیه
۶۲ مخروط نور: انرژی و تکانه
۶۵ مکانیک کوانتومی و تئوری ذره
۷۱ ثابت پلانک، ذره در جعبه و مکانیک کوانتوم
۷۶ ثابت ساختار ریز و اتم هیدروژن

فصل سوم: الکترودینامیک، گرانش الکترومغناطیس و میدان‌ها

- ۸۵ مقدمه
۹۸ معادلات ماکسول
۱۰۸ پدیده نسبیتی الکترودینامیک
۱۱۷ وحدت میدان‌ها در قالب تئوری نسبیت عام

فصل چهارم: گرانش و ثابت‌های پلانک

- ۱۲۷ مقدمه
۱۲۸ واحدهای اندازه‌گیری پلانک
۱۳۳ نظریه پتانسیل گرانشی
۱۳۶ ثابت گرانش و طول پلانک در ابعاد بالا

فصل پنجم: بینش فیزیکدانان تئوری ریسمان به ذرات بنیادی

۱۳۷	مقدمه‌ای بر فیزیک ذرات بنیادی
۱۴۸	معادله دیراک و میدان دیراکی
۱۵۳	گراویتینو: ابرهمزاد گراویتون
۱۷۵	واپاشی گراویتینو در 2Body
۱۸۶	معرفی ساختار گراویتینو برای ماده تاریک
۱۹۲	گراویتینو در بطن ماده تاریک
۱۹۹	نتیجه‌گیری

فصل ششم: مروری بر ریسمان‌های غیر نسبیتی

۲۰۳	امواج
۲۰۴	امواج در ریسمان کشیده شده

فصل هفتم: فیزیک زیراتمی؛ محاسبه انرژی یونش

۲۲۳	فیزیک زیراتمی و انرژی یونش
۲۲۶	انرژی یونیزاسیون
۲۳۳	اثرات نسبیتی در حالت پایه انرژی‌های یونیزاسیون

فصل هشتم: تئوری ریسمان نظریه ریسمانی نامحدوده در ذرات بنیادی

۲۴۳	حرکت ذرات نسبیتی
۲۴۵	ناوردایی تحت باز پارامتری شدن
۲۴۷	تفسیر معادله حرکت ذره
۲۵۵	ریسمان‌های غیر نسبیتی
۲۵۸	میدان‌های برداری وابسته به فضا - زمان
۲۶۳	ذرات بدون جرم
۲۶۴	معادله حرکت ریسمان
۲۶۹	کنش پولیاکف
۲۷۱	شرایط مرزی در ریسمان‌های باز و بسته
۲۷۴	کوانتش ریسمان
۲۷۷	روابط تبدیل برای ریسمان بسته
۲۷۹	کوانتش مخروط نور و هستی ۲۶ بعدی

فصل نهم: ابر ریسمان‌های RNS

- ۲۸۳ تئوری یانگ - میلز
- ۲۹۲ تئوری کالوزا - کلاین
- ۲۹۸ تئوری ابر ریسمان
- ۳۰۳ ابر ریسمان‌های RNS

فصل دهم: سیاه‌چاله‌ها در بطن تئوری ریسمان

- ۳۱۳ مقدمه‌ای بر تئوری Fuzzball
- ۳۱۸ انی رویداد - شعاع شواتزشیلد
- ۳۱۹ افق رویداد
- ۳۲۰ در بطن افق رویداد
- ۳۲۱ تغییر هندسه در حضور گرانش
- ۳۲۲ سرعت نور در میدان
- ۳۲۴ فرکانس نور در میدان

فصل یازدهم: نتایج تئوری ریسمان آینده آن

- ۳۲۷ گرانش کوانتومی
- ۳۳۱ نظریه‌های اختلالی گرانش کوانتومی
- ۳۳۶ تئوری وحدت بزرگ
- ۳۳۸ ریسمان‌های کیهانی
- ۳۴۱ مقدمه انگلیسی و ژاپنی
- ۳۴۴ منابع و مآخذ