

# طرح برگزیده نوزدهمین جشنواره بین‌المللی خوارزمی

محمد مهدی شیخ‌جباری



به عنوان یکی از نیروهای بنیادی طبیعت شناخته می‌شود و توسط کولن کشف و مطالعه شد، نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی بود. نیروی الکتریکی، طبق مشاهدات و مطالعات کولن، همانند نیروی گرانش نیوتونی با عکس مجذور فاصله دو بار متناسب بود. اما بر خلاف گرانش می‌توانست جاذبه یا دافعه باشد. نیروی دیگری که از دیر باز شناخته شده بود نیروی مغناطیسی بود. مایکل فارادی در اوایل قرن ۱۹ متوجه اثرات مغناطیسی جریان بارهای الکتریکی شد و بدین ترتیب نیروهای الکتریکی و مغناطیسی که دو نوع نیروی متفاوت پنداشته می‌شدند به‌عنوان دو جلوه از یک پدیده یا نیروی واحد، نیروی الکترومغناطیسی، مطرح گشتند. فرمول‌بندی نیروهای الکترومغناطیسی با کارهای ماکسول و لورنتس از اواسط تا اواخر قرن ۱۹ میلادی تکوین یافت.

با شروع قرن بیستم و کارهای افرادی نظیر ماری کوری، فیزیکدان‌ها با پدیده‌های به‌خصوص در آزمایش‌های هسته‌ای مواجه شدند که با دو نوع نیروی گرانشی یا الکترومغناطیسی قابل توصیف نبود. برای توجیه و توصیف این پدیده‌ها دو نوع نیروی دیگر به نام نیروهای هسته‌ای ضعیف و نیروهای هسته‌ای قوی معرفی شدند. نیروهای هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیسی سرانجام سال‌ها پس از معرفی آنها، در نیمه دوم قرن بیستم در قالب مدل الکترو ضعیف (electro-weak model) که توسط عبدالسلام-واینبرگ و گلاشو و به‌عنوان یک نظریه میدان فرمول‌بندی شد، با یکدیگر اصطلاحاً متحد شدند.

بدین‌ترتیب، نیروهای الکترومغناطیسی و هسته‌ای ضعیف صورت‌های مختلف یک «نیروی بنیادی» هستند. نیروهای هسته‌ای قوی هم سرانجام در قالب نظریه کوانتومی «دینامیک رنگ‌ها» (quantum chromodynamics) که یک نظریه میدان کوانتومی پیمانه‌ای است فرمول‌بندی شد.

فهم ما از نیروی گرانشی که به نوعی اولین نیرویی است که به‌صورت

عنوان طرح: مدلی برای ساختار کوانتومی فضا-زمان در پس‌زمینه فضای  $AdS_5 \times S^5$  و امواج گرانشی صفحه‌ای  
مجری: محمد مهدی شیخ‌جباری عضو هیأت علمی پژوهشگاه فیزیک، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی  
چکیده، اهداف و نتایج طرح:

یکی از مهمترین مسائل روز فیزیک نظری آشتی دادن نظریه گرانش (نسبیت عام) با نظریه کوانتوم است و مطرح‌ترین مدل برای انجام این مهم که عاری از اشکالات عمده نظری است، مدل کوانتومی ابررسمان می‌باشد. فهم ما از نظریه ابررسمان بعد از سال ۱۹۹۸ با پیشنهاد دوگانی CFT/AdS که مطابق آن گرانش کوانتومی - حداقل در یک پس‌زمینه خاص - معادل با یک نظریه میدان کوانتومی (که غالباً یک نظریه میدان پیمانه‌ای کوانتومی، معمولاً از نوع یانگ - میلن) است، دچار تحول و پیشرفت زیادی گردید.

علی‌رغم تعمیق فهم ما از گرانش کوانتومی در پرتو دوگانی CFT/AdS، از این دوگانی در مورد ساختار کوانتومی فضا-زمان نتایج قابل توجهی به‌دست نیامده است. پژوهش‌های چند سال اخیر اینجانب که در قالب طرحی به نوزدهمین جشنواره خوارزمی ارائه شده، معطوف به بررسی و مطالعه ساختار کوانتومی فضا-زمان در چارچوب دوگانی CFT/AdS است. این پژوهش‌ها منجر به ارائه یک مدل ماتریسی برای توصیف نظریه ابررسمان در زمینه فضای ده بعدی  $AdS_5 \times S^5$  شده که آن را Tiny Graviton Matrix Theory نامیده‌ام. مطابق این مدل ساختار فضا-زمان کوانتومی توسط تعدادی ماتریس توصیف می‌شود و در حالت کلی فضا-زمان کوانتومی هندسه‌ای ناجابه‌جایی است. ساختار پیوستار فضا-زمان (فضا-زمان کلاسیک) در حد ماتریس‌های با بعد بینهایت از این مدل ماتریسی قابل استخراج است. قدم‌های بعدی در بررسی مدل ماتریسی Tiny Graviton تعمیم این مدل به پس‌زمینه‌هایی غیر از  $AdS_5 \times S^5$  و همچنین ساختار کوانتومی سیاه چاله‌ها می‌باشد که در دست بررسی است.

به بهانه برگزیده شدن طرح اینجانب [تابلو بالا] در جشنواره خوارزمی، مجله اخبار پژوهشگاه فرصت مغتنمی در اختیارم گذاشته تا توضیحات مبسوط‌تری را در مورد طرح برگزیده خود ارائه دهم. با توجه به این که مخاطبان مجله اخبار الزماً فیزیکدان نیستند بهتر است با مروری مختصر بر تاریخ فیزیک شروع کنیم.

شاید نقطه شروع فیزیک یا همان «فلسفه طبیعی» (natural philosophy) به‌عنوان یک علم تجربی، کارگالیه باشد. اما این نیوتون بود که قوانین مکانیک را، که امروزه به‌عنوان مکانیک کلاسیک مشهور است، به‌صورتی کمتی فرمول‌بندی کرد.

قوانین نیوتون بر اساس معرفی کمتی مفهوم نیرو استوار است. نیوتون علاوه بر مکانیک کلاسیک قانونی نیز برای گرانش ارائه کرد، قانون معروفی که بر اساس آن نیروی جاذبه گرانشی بین هر دو جرم متناسب با عکس مجذور فاصله بین دو جرم است. پس از نیوتون فیزیکدانها سعی در شناخت و فرمول‌بندی کمتی بقیه نیروها داشته‌اند. نیروی بعدی که هنوز هم

ریسمان‌ها به‌عنوان یک نظریه گراننش کوانتومی باید به‌نوعی مبین ساختار کوانتومی فضا-زمان باشد. اما متأسفانه علی‌رغم تلاش زیاد در این جهت فهم ما، از نظریه ریسمان منجر به ارائه تصویری روشن و دلچسب از فضا-زمان کوانتومی نشده است.

بررسی و مطالعه نظریه ریسمان، همانند اکثر نظریه‌های میدان کوانتومی، عموماً در قالب نظریه اختلال و به‌صورت اختلال حول و حوش یک پس‌زمینه مشخص و فقط وقتی که این اختلالات (نسبت به پس‌زمینه) کوچک باشند انجام شده و فرمول‌بندی غیر اختلالی نظریه ریسمان هنوز در مرحله تکوین است و عمده تلاش ده ساله اخیر فیزیک‌دان‌هایی که در این شاخه فعالیت دارند معطوف بدین امر بوده است. یکی از مدل‌های مطرح در این زمینه مدل‌های ماتریسی (matrix models) است که مبتنی بر این ایده کلی است که مختصات فضا-زمان و در نتیجه تمام درجات آزادی فیزیکی و دینامیکی در این نظریه‌ها به‌صورت ماتریس‌هایی هرمیتی هستند. در این تصویر طبعاً مفهوم فضا-زمان به‌عنوان یک خمینه که با هندسه خمینه‌ها و هندسه دیفرانسیل و توپولوژی مربوط به آنها توصیف می‌شود به‌طور کلی دستخوش دگرگونی می‌شود. در مدل‌های ماتریسی مختصات متعارف فضا-زمان فقط به قسمت قطری ماتریس‌های مختصات یا به عبارت دقیق‌تر به مقادیر ویژه این ماتریس‌های هرمیتی مربوط می‌شود. جملات غیر قطری این ماتریس‌ها بیانگر بقیه درجات آزادی فیزیکی هستند. یکی از خصوصیات عمومی ماتریس‌ها ناجابه‌جایی بودن جبر آنهاست. بنابراین از مدل ماتریسی برای نظریه ریسمان (یا گراننش کوانتومی) چنین بر می‌آید که ساختار فضا-زمان کوانتومی باید ساختاری ناجابه‌جایی باشد و احتمالاً از نظر ریاضی در چارچوب نظریه هندسه ناجابه‌جایی (noncommutative geometry) می‌گنجد. و البته عبارت آخر هنوز از مسائل حل نشده و مطرح در قالب نظریه ریسمان است.

و اما، طرحی که برگزیده جشنواره خوارزمی شد ارائه مدلی ماتریسی برای بررسی و فرمول‌بندی گراننش کوانتومی در پس‌زمینه‌ای خاص (امواج گراننش صفحه‌ای یا plane-wave geometry) بود. این مدل را در یکی از مقالات سال ۲۰۰۴ خود ارائه شد<sup>۱</sup> و بررسی کاملتر و مفصل‌تر این نظریه ماتریسی دستمایه چند مقاله اخیر نیز بوده است و البته هنوز این کار به پایان نرسیده و در حال مطالعه و انجام است.

\*\*\*\*\*

M.M. Sheikh-Jabbari, *Tiny graviton matrix theory: DLCQ of type IIB plane-wave string theory, A conjecture*, Journal of High Energy Physics (JHEP) 09 (2004), 017.

<http://arxiv.org/abs/hep-th/0406214>

کمی مورد مطالعه قرار گرفته در اوایل قرن بیستم توسط انیشتین در قالب نظریه نسبیت عام دچار تحول عمیقی شد. از دید نظریه نسبیت عام نیروی گراننش نیوتون که یک نظریه «کنش از دور» (action at a distance) بود به یک نظریه میدان ارتقاء پیدا کرد و مفهوم میدان گراننش به‌طوری صریح و جدی به صورت کتی معرفی شد. مطابق نظریه نسبیت عام، میدان دینامیکی که حامل نیروی گراننش، مثلاً بین دو جرم است، در واقع خاصیتی از خود ساختار فضا-زمان، یعنی متریک فضا-زمان، است. نظریه نسبیت عام به‌رغم موفقیت‌های چشمگیر تجربی و نظری و فرمول‌بندی بسیار زیبا و ساده خود با نظریه کوانتومی میدان‌ها که سه نوع دیگر نیروهای بنیادی طبیعت یعنی الکترومغناطیسی، ضعیف و قوی را توصیف می‌کنند سازگاری ندارد. به بیان دیگر نظریه نسبیت عام که یک نظریه میدان است با نظریه کوانتومی ناسازگار است. این مسئله که تحت عنوان مسئله گراننش کوانتومی از آن نام برده می‌شود هنوز از مسائل حل نشده فیزیک نظری است.

از طرف دیگر فیزیک‌دان‌ها، به‌ویژه فیزیک‌دان‌های شاخه انرژی‌های بالا و ذرات بنیادی، همواره بر این باور بوده‌اند که تجربه شیرین وحدت الکتروسیسته و مغناطیس تحت الکترومغناطیس و نیروهای هسته‌ای ضعیف تحت الکترو-ضعیف روندی طبیعی است و در مورد دو نیروی دیگر باقیمانده یعنی هسته‌ای قوی و گراننش نیز تکرار خواهد شد و با این دید همواره سعی در فرمول‌بندی نظریه وحدت بزرگ (Grand Unified Theories, GUTs) داشته‌اند. مدل‌های وحدت بزرگ ما عموماً ناظر به وحدت الکترو ضعیف و قوی بوده‌اند و نیروهای گراننش غالباً در این چارچوب بحث نمی‌شوند. با توجه به موفقیت نظریه‌های نسبیت عام و مدل‌های نیروهای قوی الکتروضعیف (امروزه از مجموعه الکتروضعیف و نظریه کوانتومی رنگ‌ها با عنوان مدل استاندارد ذرات بنیادی نام برده می‌شود) متخصصان فیزیک انرژی‌های بالا برآن‌اند که فرمول‌بندی که برای وحدت تمام چهار نیروی طبیعت ارائه می‌دهند باید تمام خصوصیات مثبت این نظریات را در خود داشته باشد، از جمله این که همانند نسبیت عام، بقیه نیروها (جز گراننش) نیز باید به‌نوعی به خصوصیات «هندسی» فضا-زمان مربوط گردند و یا این که نظریه‌های کوانتومی میدان‌های پیمانه‌ای جزئی لاینفک از فرمول‌بندی مدلی است که چنین وحدتی را امکان می‌بخشد.

نظریه ابرریسمان‌های کوانتومی در واقع مدل یا به عبارت دقیق‌تر چارچوبی است که برای فرمول‌بندی نظریه گراننش کوانتومی پیشنهاد شده است. این نظریه همچنین دارای این قابلیت است که علاوه بر نظریه گراننش کوانتومی چارچوبی برای نظریه وحدت بزرگ نیز که وحدت دهنده نیروهای الکتروضعیف و قوی است باشد.

همان‌طور که ذکر شد در نسبیت عام هندسه فضا-زمان به بیان دقیق‌تر متریک فضا-زمان موجود دینامیکی محسوب می‌شود. بنابراین نظریه