

هندسه ۱۱ - بُعدی برای درک آغاز

نویسنده: موریس ماشال^۱

مترجم: ارسلان شادمان

ویراستاران: فرج‌الله محمودی، شهناز عباسپور

فیزیکدانان از دیرباز آرزومند نظریه‌ای هستند که یکجا همه ذرات بنیادی و همه کُنشها و واکنشهای بین آنها را در بر گیرد. از حدود ۱۵ سال پیش، یک راه جدی به سوی مقصود پیش پا دارند. اما برای آن که بتوانند از آن استفاده کنند، باید به ناوبری در فضاهاى مجردی پردازند که ریاضیدانان هم هنوز دست به تجسس در آنها نزده‌اند.

هر فرد محترم و با شخصیتی می‌داند که دانشمندان رشته‌های علمی مانند فیزیکدانان و شیمیدانان، ریاضیات را به کار می‌برند. اما نادردند اشخاصی که آگاه باشند این موضوع تا چه حد حقیقت دارد و ریاضیات و علوم طبیعی تا چه ژرفایی همدیگر را نگه می‌دارند. گاليله گفته است که طبیعت به زبان ریاضی نوشته شده است. به نظر می‌رسد که گسترش علوم جدید و به‌ویژه فیزیک، فکر گاليله را کاملاً تأیید می‌کند. امروز حتی از تأیید این فکر فراتر هم می‌روند: بسیاری از اندیشمندان در شگفت‌اند از این که ملاحظه می‌کنند همواره اختراعات یا اکتشافات ریاضی بالاخره در توصیف یکی از جلوه‌های پدیده‌های طبیعی

^۱ Mashaal, Maurice: *De la géométrie à 11 dimensions pour comprendre la Genèse*, in: *L'explosion des mathématiques*, SMF et SMAI, Paris, 2002, p. 70-74

به کار رفته‌اند. این همان اظهار تعجب مشهور اوژن پ. ویگنر^۱ (۱۹۹۵-۱۹۰۲)، فیزیکدان مجارستانی الاصل است که اصطلاح «کارایی نامعقول ریاضیات در علوم طبیعی» را به کار می‌برد. حقیقتاً نمی‌دانیم چرا ریاضیات تا این حد «کارآمد» هستند. این مسأله که مربوط به فلسفه معرفت است هنوز حل نشده است. ما در این مقاله سعی نخواهیم کرد به این مسأله جواب دهیم، بلکه فقط می‌خواهیم این کارایی را در حوزه‌ای از فیزیک روشن کنیم که نظری‌ترین و بنیادی‌ترین حوزه است و پیشاپیش هیچ فایده مادی ندارد—هرچند اختراعات اساسی مانند لیزر، ترانزیستور و یا انرژی اتمی از آن نتیجه شده‌اند.

فیزیک و ریاضیات، سابقه تاریخی طولانی در مشارکت دوجانبه

روابط بین ریاضیات و فیزیک از امروز شروع نمی‌شود. مگر اصل ارشمیدس («به هر جسم که در مایعی غوطه‌ور شود نیرویی برابر با وزن مایع هم حجم آن وارد می‌شود.») یک جمله ریاضی درباره پدیده‌ای فیزیکی نیست؟ مگر نه این است که فیزیک بر اثر ابداع حساب دیفرانسیل و انتگرال در قرن ۱۷ به وسیله نیوتن و لایبنیتس^۲ به پیشرفت چشمگیری دست یافت؟ آنچه مهم‌تر است این که روابط بین این دو رشته همیشه یک طرفه نیست که اول یک ابزار ریاضی اختراع شود سپس در یک مسأله فیزیک به کار رود. یکی از مثال‌هایی که از بین خیل مثال‌های متعدد می‌توان به عنوان شاهد آورد این است: ضمن علاقه و کار روی مسأله انتشار حرارت بود که ریاضیدان فرانسوی ژان بابتیست ژوزف فوریه^۳ (۱۷۶۸ تا ۱۸۳۰) «سری‌های فوریه» را مطرح کرد (موضوع آن، حاصل جمع نامتناهی توابع مثلثاتی است) که از آن پس نقش فوق‌العاده مهمی در علوم و فنون ایفا کرده‌اند.

فیزیک قرن ۲۰ پر از فعل و انفعال متقابل با ریاضیات است. از موارد آن می‌توان دو نظریه عمده را مثال زد که در آغاز قرن پدید آمدند، یعنی نظریه نسبیت آینشتاین^۴ و مکانیک کوانتیک. نسبیت (عمومی) آینشتاین نظریه‌ای در گرانس است که به جای نظریه جاذبه نیوتن بر کرسی می‌نشیند؛ این نظریه مبتنی بر مفاهیمی است که اختلافات بنیادی با اصول نظریه پیشین دارند، مفاهیمی که مربوط به هندسه‌های ناقلیدسی‌اند، هندسه‌هایی

^۱ Eugène P. Wigner

^۲ Leibniz

^۳ Jean-Baptiste Joseph Fourier

^۴ Einstein



انبوهی از کهکشان‌های بسیار دور که با تلسکوپ فضایی هابل (Hubble) رصد شده است. با توجه به آن که گرانش عنصری کلیدی در زایش و تحول جهان است، متخصصین کیهان‌شناسی مایلند سرانجام به توصیفی از نیروی گرانش که با مبانی فیزیک کوانتیک سازگار باشد دسترسی پیدا کنند. آیا نظریهٔ ریسمان‌ها به تحقق این آرزو جامهٔ عمل خواهد پوشید؟ (کلیشه از (R. Williams/HDF(STSci)/NASA).

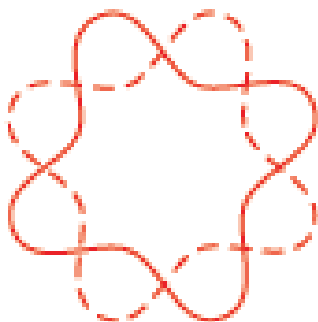
که در قرن ۱۹ وارد شدند و در آن زمان احدی گمان نمی‌برد که چنین مباحثی از ریاضیات بتوانند کاربردی در دنیای واقعی داشته باشند. به همین شکل، زمانی که ریاضیدانان در سال‌های ۱۹۰۰ مطالعهٔ «فضاهای هیلبرت^۱» را آغاز کردند، (فضاهای هیلبرت فضاهایی مجردند که نقاط آنها ممکن است مثلاً توابعی با شرایط فنی ویژه باشند)، هیچ‌کس فکر نمی‌کرد که بیست سال بعد ریاضیات فضاهای هیلبرت به شکل چارچوب مناسب برای بیان فرمول‌بندی مکانیک کوانتیک در خواهند آمد (مکانیک کوانتیک به ویژه در سطح اتمی و زیراتمی ظاهر می‌شود). در جهت عکس، مطالعات بنیادی در نسبیت عمومی و در مکانیک کوانتیک باعث تقویت پژوهش‌های صرفاً ریاضی گردیده‌اند.

فیزیک ذرات بنیادی، میدانی است که ریاضیات بسیار مجردی در آن به کار گرفته می‌شود

به یکی از مسیرهایی که فیزیک کوانتیک در آن گسترش یافته است، اندکی نزدیک‌تر نگاه کنیم: منظور بررسی ذرات به اصطلاح بنیادی و فعل و انفعالات آنهاست. در دهه‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۰، قالبی نظری که هم از لحاظ مفاهیم، و هم از نظر فنون

^۱ espaces de Hilbert

ریاضی مورد استفاده، بسیار پیچیده است، به کار گرفته شد که نظریه کوانتمی میدانها نامیده می شود. در این چارچوب و با یافتن ذرات بنیادی جدیدی که خود به لطف شتاب دهنده های ذرات پدیدار گشتند، فیزیکدانان کشف کردند که دنیای ذرات بنیادی از تقارنهایی برخوردار است. نظریه گروهها^۱، شاخه مهمی از ریاضیات که در قرن ۱۹ تأسیس شد، در روشن شدن این تقارن ها (که غالباً تقارن های مجردی هستند) نقش اساسی ایفا کرده است و هنوز هم به نقش خود ادامه می دهد. بر اثر همین نظریه گروهها بود که در موارد عدیده ای فیزیکدانان نظری توانستند وجود برخی از ذرات بنیادی را سالها پیش از آن که در تجربه به دست آید پیش گویی کنند.



یک خم بسته به گونه ای ارتعاش می کند که برآمدگی ها و فرورفتگی هایی به تعداد صحیح متناهی داشته باشد. گویا ذرات زیراتمی متفاوت (الکترون ها، فوتون ها و غیره) متناظر با شیوه های متفاوت ارتعاش ریسمان های بنیادی بسیار ریز باشند.

در سال های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، نظریه ذرات بنیادی به مقامی رسیده بود که می توانست به شیوه ای رضایت بخش و یکسان، همه ذرات بنیادی شناخته شده و تقریباً همه فعل و انفعالات بین آنها را توصیف کند. چرا «تقریباً»؟ چهار فعل و انفعال را می شناسیم: نیروی گرانش، نیروی الکترومغناطیس، دو نیرو هم که در مقیاس اتمی عمل می کنند، فعل و انفعال ضعیف و فعل و انفعال قوی. اما فیزیکدانان موفق نشده اند نیروی گرانش را در نظریه خود که مدل استاندارد^۲ نامیده می شود، دخالت دهند.

^۱ théorie quantique des champs

^۲ Modèle standard

آشتی دادن گرانش با فیزیک کوانتیک: دژ محکمی که شاید فتح آن از دست نظریه ریسمان برآید.

این استثنا چه معنی دارد؟ به نظر می‌رسد که نسبت عمومی آینشتاین، گرانش را به درستی توصیف می‌کند، اما نظریه آینشتاین یک نظریه کوانتیک نیست، یعنی از قواعد فیزیک کوانتیک تبعیت نمی‌کند (ضمناً هم ناگفته نماند که قواعد فیزیک کوانتیک عجیب و غریب‌اند). و اما واقعاً نمی‌فهمیم در حالی که همه طبیعت از قوانین کوانتیک پیروی می‌کند، چرا باید گرانش از این تبعیت معاف شود؟ از همین جا، اصرار و ابرام فیزیکدانان نظری برای ورود گرانش به میهن کوانتیک درک می‌شود. علی‌رغم چند دهه تلاش، هنوز به این هدف نرسیده‌اند.

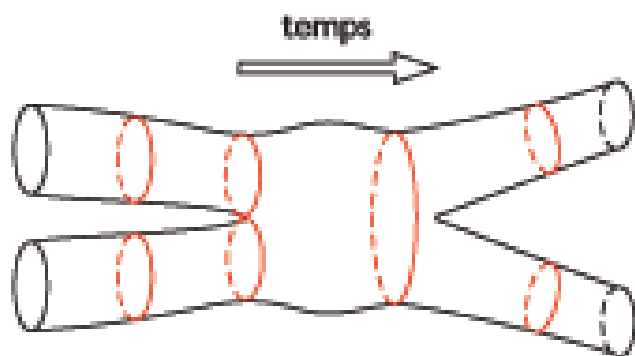
با وجود این، از اواسط دهه ۱۹۸۰، بسیاری از فیزیکدانان نظری گمان می‌کنند سر نخ خوبی یافته‌اند. در واقع این دوره‌ای است که نظریه جدیدی به نام نظریه ریسمان‌ها تأسیس شده است، که هرچند نظریه‌ای هنوز ناتمام است ولی نویدبخش است و از سازگاری‌های کافی برای آن که به طور جدی مورد توجه قرار گیرد، برخوردار است. زمینه واقعی و دلایل دقیقی که فیزیکدانان را به سوی این نظریه سوق داد، فنی‌تر از آن است که بتوانیم اینجا شرح دهیم. هم‌چنین به شیوه ساده‌ای نمی‌توان توضیح داد که نظریه ریسمان چیست؟ فقط به شکل بسیار تقریبی بگوییم که در این نظریه فرض بر آن است که اشیاء بنیادی فیزیک ذراتی نیستند که بتوان آنها را به شکل نقطه تصور کرد («فلسفه») نظریه‌های سنتی کوانتیک میدان‌ها بر این تصور بود) بلکه این اشیاء ریسمان‌هایی بدون ضخامت اند یعنی نوعی پاره‌خط‌های ریز؛ هم‌چنین فرض بر این است که ذرات گوناگونی که در مقیاس ما مشاهده می‌شوند ناظر به ارتعاش‌های متفاوت این ریسمان‌ها هستند، تا اندازه‌ای مثل ارتعاش‌های گوناگون یک سیم ویولون که متناظر با نت‌های متفاوت موسیقی است.

برای آن که نظریه‌های ریسمان سازگار باشد، باید فضا - زمان ۱۱ بعد داشته باشد.

نظریه‌های ریسمان (نظریه‌ها به صورت جمع از آن رواست که به چندین شکل مطرح است) هنوز در مراحل مقدماتی هستند و پیچیدگی وحشتناکی دارند. تعدادی از جلوه‌های آن نیازمند کنکاش است. به علاوه در حال حاضر نمی‌توان نظریه‌ها را به محک آزمایش

سپرد، زیرا انرژی‌های مورد نیاز برای این کار کاملاً دور از دسترس هستند و حتی قوی‌ترین شتاب دهنده‌های موجود هم که در اختیار بشر است قادر به این کار نیستند. اما این نظریه‌ها اهل نظر را مجذوب خود ساخته‌اند، زیرا این نظریه‌ها (که نظریه‌های کوانتیک‌اند) توانسته‌اند گرانش را به گونه‌ای طبیعی دربرگیرند، و ظاهراً برخلاف نظریه‌های پیشین که با موانعی روبرو می‌شدند، در مورد نظریه‌های ریسمان هنوز به مانعی برخورد نکرده‌اند.

اگر فیزیکدانان موفق شوند یک نظریهٔ ریسمان کامل و سازگار بسازند، آنگاه قادر خواهند بود پدیده‌های گرانشی شدیدی (یعنی با انرژی بالایی) را که در کیهان اتفاق می‌افتد مانند فروریزی یک ستارهٔ بزرگ روی خود، یا فیزیک «سیاه چاله‌ها» و غیره را به دقت بررسی کنند. هم‌چنین رازهای مربوط به نخستین لحظات زایش جهان، نخستین لحظات مهیبانگ معروف، آن پدیدهٔ به تمام معنی شدید را، می‌توان بهتر درک کرد. توصیفی کوانتیک از گرانش، یقیناً خواهد توانست جهشی در درک کیفی و کمی جهان، آغاز و منشا و هم‌چنین تحول آن به وجود آورد.



نمایش اجمالی فعل و انفعال بین دو ریسمان. با گذشت زمان که در این شکل از چپ به راست نشان داده شده است، یک ریسمان بسته یک رویهٔ شبیه لوله را جارو می‌کند.

اما همان‌گونه که در سطرهای پیش گفتیم، نظریه‌های ریسمان بسیار پیچیده‌اند. این نظریه‌ها مستلزم فنون ریاضی پیشرفته‌ای هستند که غالباً از پژوهش‌های جدید نشأت می‌گیرند. به همین علت متخصصینی که این نظریه‌ها را بررسی می‌کنند، ریاضیدانان و فیزیکدانان را به یک اندازه دربر می‌گیرند (چندین برندهٔ جایزهٔ فیلدز، که بزرگترین پاداش در ریاضیات است، قسمت عمده از کار خود را به نظریهٔ ریسمان اختصاص داده‌اند؛



ادوارد ویتن، یکی از پدید آورندگان اصلی نظریه ریسمان. معلوم نیست که آیا او را باید فیزیکدان نامید یا ریاضیدان... (کلیشه: DR).

از جمله ادوارد ویتن^۱ امریکایی و ماکسیم کونتسویچ^۲ روسی مقیم فرانسه). به ویژه ثابت شده است که برای سازگاری نظریه‌های ریسمان باید فضا-زمان به جای ۴ بعد (۳ بعد مربوط به فضا و یک بعد مربوط به زمان) دارای ابعاد بسیار زیادتری باشد: در آخرین خبر، صحبت از ۱۱ بعد است! هفت بعد باقیمانده در تجرید و پیچیدگی سهمین‌اند ولی از نظر حواس ما غیرقابل درک‌اند، زیرا به شکل کلاف‌هایی روی خود بسته می‌شوند. نیاز متخصصین اهل نظر به کارکردن با ریسمان‌ها و موضوع‌های دیگری که دارای ابعاد بزرگ هستند، موجب شده است که زمینه همکاری فوق‌العاده جالبی بین فیزیکدانان و ریاضیدانان به وجود آید. پژوهش‌های این حوزه نه تنها برای نظریه ریسمان بلکه برای رشته‌های مختلفی در ریاضیات اساسی ثمربخش بوده است. این مثالی زیبا در تاریخ فیزیک و ریاضیات است که ارتباطی صمیمانه بین دو رشته را نشان می‌دهد، آنجا که نتایج به دست آمده در یکی از رشته‌ها، به تغذیه پژوهش رشته مقابل می‌انجامد. این بازی به زحمت و هزینه‌اش می‌ارزد: درست است که نظریه‌های ریسمان هنوز در مراحل عالی تجرید است، اما این هم صحت دارد که شاید به گشودن معماهای مربوط به بینهایت

^۱ Edward Witten

^۲ Maxim Kontsevitch

کوچک‌ها و بینهایت بزرگ‌ها یعنی نهایتاً معماهای مربوط به سرآغاز ما کمک کند.

موریس ماشال
روزنامه‌نگار علمی

چند مرجع

- B. Greene, *L'Univers élégant* (Robert Laffont, 2000).
- M. Duff, "Les nouvelles théories des cordes", *Pour la Science*, Avril 1998.
- N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali, "Les dimensions cachées de l'Univers", *Pour la Science*, octobre 2000.
- I. Antoniadis, E. Cremmer et K. S. Stelle, "Les supercordes", *Gazette des mathématiciens* n° 87, pp. 17-39, et n° 88, pp. 95-114 (janvier et avril 2001).
- P. Deligne et al. (eds.), *Quantum fields and strings: a course for mathématiciens* (American Mathematical Society/Institute for Advanced Study, 1999).

Maurice Mashaal
Journaliste scientifique