

# حل مسئله ۱۲۵ ساله: ریاضی دانان سه نظریه فیزیکی را با هم یکپارچه کردند

جک مورتاگ\*

مترجم: مریم صفازاده\*\*



ریاضی دانان می گویند، توانسته اند سه نظریه فیزیکی در مورد حرکت سیالات را به هم مرتبط کنند.

نیست که آیا فیزیک دان ها روزی بتوانند بفهمند که آیا این چالش ها را حل کرده اند یا خیر. با این حال، هیلبرت به برخی از اهداف فرعی خاص اشاره کرد و پژوهشگران از آن زمان، دیدگاه او را به گام های مشخصی برای رسیدن به راه حل آن تبدیل کرده اند.

در ماه مارس، ریاضی دانانی به نام های یو دنگ<sup>۱</sup> از دانشگاه شیکاگو و زاهر هانی<sup>۲</sup> و شیائو ما<sup>۳</sup> از دانشگاه میشیگان، مقاله جدیدی را در پایگاه پیش انتشار آرکایو منتشر کردند که ادعا می کند به یکی از این اهداف دست یافته اند. اگر کار آن ها مورد تأیید قرار بگیرد، گامی بزرگ به سوی پایه گذاری فیزیک در ریاضیات خواهد بود و ممکن است دری به سوی پیشرفت های مشابه در سایر حوزه های فیزیک بگشاید.

در این مقاله، پژوهشگران اظهار داشتند که دریافته اند چگونه سه نظریه فیزیکی را که حرکت سیالات را توضیح می دهند، به هم

دستیابی به موفقیت در حل مسأله ششم هیلبرت گامی مهم در پایه گذاری فیزیک براساس ریاضیات است.

وقتی بزرگترین ریاضی دان در قید حیات، چشم اندازی برای قرن بعدی پژوهش ها ارائه می دهد، بی تردید دنیای ریاضی به آن توجه نشان می دهد. این دقیقاً همان اتفاقی است که در سال ۱۹۰۰ در کنگره بین المللی ریاضی دانان در دانشگاه سوربن پاریس رخ داد. ریاضی دان افسانه ای، دیوید هیلبرت، ۱۰ مسئله حل نشده را به عنوان تابلوهای راهنمای بلندپروازانه برای قرن بیستم ارائه داد. او بعدها فهرست خود را به ۲۳ مسئله گسترش داد که تأثیر آن ها بر تفکر ریاضی در ۱۲۵ سال گذشته را نمی توان نادیده گرفت.

مسئله ششم هیلبرت یکی از مهم ترین مسائل بود. او خواستار ارائه ساختار اصل موضوعی برای فیزیک یا تعیین حداقل فرضیه های ریاضی پشت تمام نظریه های فیزیک شد. به طور کلی مشخص

<sup>۱</sup>Yu Deng    <sup>۲</sup>Zaher Hani    <sup>۳</sup>Xiao Ma

به آن اشاره کرد و هنگام نوشتن مسئله با صراحت به کار بولتزمن روی گازها اشاره کرد. ما انتظار داریم که نظریه‌های کامل فیزیک از قوانین ریاضی که پدیده‌ها را از میکروسکوپی تا ماکروسکوپی توضیح می‌دهند، پیروی کنند. اگر دانشمندان نتوانند این شکاف را پر کنند، ممکن است نشان‌دهنده بدفهمی در نظریه‌های موجود ما باشد.

یک‌کاسه کردن این سه دیدگاه در مورد دینامیک سیالات، چالشی دشوار برای این حوزه ایجاد کرده است، اما سه پژوهشگر، دنگ، هانی و ما، احتمالاً این کار را انجام داده باشند. دستاورد آن‌ها بر اساس دهه‌ها پیشرفت تدریجی است؛ با این حال، پیشرفت‌های قبلی همگی به‌نوعی دارای محدودیت بودند؛ برای مثال، مشتقات مورد بحث فقط در بازه‌های زمانی کوتاه، در خلأ یا تحت شرایط تسهیل‌شده کاربرد داشتند.

برهان جدید به‌طور کلی شامل سه مرحله است: استخراج نظریه ماکروسکوپی از نظریه موزوسکوپی، استخراج نظریه موزوسکوپی از نظریه میکروسکوپی و سپس پیوند آن‌ها در یک استنتاج واحد از قوانین ماکروسکوپی که به‌طور کلی از قوانین میکروسکوپی ناشی می‌شود.

گام اول قبلاً درک شده بود و حتی خود هیلبرت نیز در آن مشارکت داشت. از سوی دیگر، استنتاج نظریه موزوسکوپی از میکروسکوپی به لحاظ ریاضی بسیار چالش‌برانگیزتر بوده است. به یاد داشته باشید، محیط موزوسکوپی به رفتار جمعی تعداد زیادی از ذرات مربوط است. بنابراین، دنگ، هانی و ما بررسی کردند که با افزایش تعداد ذرات منفرد برخوردکننده تا بی‌نهایت و کاهش اندازه آن‌ها به صفر، چه اتفاقی برای معادلات نیوتون می‌افتد. آن‌ها ثابت کردند که وقتی معادلات نیوتون تا این حد بسط داده می‌شود، رفتار آماری سیستم - یا رفتار احتمالی یک ذره معمولی در سیال - به جواب معادله بولتزمن همگرا می‌شود. این مرحله با استخراج ریاضیات موزوسکوپی از رفتار حدی ریاضیات میکروسکوپی، یک پل می‌سازد.

مانع اصلی در این مرحله مربوط به مدت زمانی بود که معادلات در حال مدل‌سازی بودند. قبلاً مشخص شده بود که چگونه می‌توان معادله بولتزمن را از قوانین نیوتون در بازه‌های زمانی بسیار کوتاه نتیجه گرفت، اما این برای چشم‌انداز هیلبرت کافی نیست، زیرا سیالات دنیای واقعی می‌توانند برای هر بازه زمانی جریان داشته باشند. با افزایش مقیاس‌های زمانی، پیچیدگی بیشتری ایجاد می‌شود؛ برخوردهای بیشتری رخ می‌دهد و کل تاریخچه برهم‌کنش‌های یک ذره ممکن است بر رفتار فعلی آن تأثیر بگذارد.

ربط دهند. این نظریه‌ها طیف وسیعی از کاربردهای مهندسی، از طراحی هواپیما گرفته تا پیش‌بینی آب‌وهوا را دربرمی‌گیرند، اما تاکنون آن‌ها بر فرضیه‌هایی استوار بودند که به‌طور دقیق اثبات نشده بودند. این پیشرفت، نظریه‌ها را تغییر نمی‌دهد، اما از نظر ریاضی آن‌ها را توجیه می‌کند و اعتماد ما را نسبت به عملکرد معادله‌ها بر اساس فرضیه‌هایمان تقویت می‌کند.

هر نظریه از نظر میزان تمرکزش روی یک مایع یا گاز در حال جریان متفاوت است. در سطح میکروسکوپی، سیال‌ها از ذرات تشکیل شده‌اند؛ مثل توپ‌های بیلیارد کوچکی که به این سو و آن سو حرکت می‌کنند و گه‌گاه با هم برخورد می‌کنند و قوانین حرکت نیوتون به‌خوبی مسیر آن‌ها را توصیف می‌کنند. اما وقتی برای بررسی رفتار جمعی تعداد زیادی از ذرات که به آن سطح موزوسکوپی (میانه مقیاس)<sup>۴</sup> می‌گویند، از مقیاس کوچک‌تر نگاه می‌کنید، دیگر مدل‌سازی تک‌تک آن‌ها به‌صورت جداگانه راحت نیست. در سال ۱۸۷۲، لودویگ بولتزمن<sup>۵</sup> فیزیک‌دان نظری اتریشی، با ارائه معادله‌ای که به معادله بولتزمن معروف شد، به این موضوع پرداخت. این معادله به‌جای ردیابی رفتار هر ذره، رفتار احتمالی یک ذره معمولی را در نظر می‌گیرد. این دیدگاه آماری جزئیات سطح پایین را نادیده می‌گیرد و به روندهای سطح بالاتر می‌پردازد. این معادله به فیزیک‌دانان اجازه می‌دهد که نحوه کامل کمیت‌هایی مانند تکانه و رسانایی حرارتی در سیال را بدون در نظر گرفتن دقیق هر برخورد میکروسکوپی محاسبه کنند.

با بزرگ‌نمایی بیشتر، خودتان را در دنیای ماکروسکوپی خواهید یافت. در اینجا ما سیالات را نه به‌عنوان مجموعه‌ای از ذرات گسسته (مجزا)، بلکه به‌عنوان یک ماده پیوسته واحد در نظر می‌گیریم. در این سطح از تحلیل، مجموعه‌ای متفاوت از معادلات مانند معادلات اوایلر و ناویر-استوکس<sup>۶</sup> بدون توجه به ذرات، به‌طور دقیق نحوه حرکت سیالات را توضیح می‌دهند و چگونگی ارتباط خواص فیزیکی آن‌ها را توصیف می‌کنند.

هر سه سطح تحلیل، واقعیت اساسی یکسانی را توصیف می‌کنند: چگونگی حرکت سیالات. در اصل، هر نظریه باید بر اساس نظریه زیرین خود در سلسله مراتب بنا شود. معادلات اوایلر و ناویر-استوکس در سطح ماکروسکوپی باید به‌طور منطقی از معادله بولتزمن در سطح موزوسکوپی مشتق شوند که به‌نوبه خود باید به‌طور منطقی از قوانین حرکت نیوتون در سطح میکروسکوپی مشتق شوند. این همان نوع «اصل موضوعی‌سازی»<sup>۷</sup> است که هیلبرت در مسئله ششم خود

<sup>۴</sup>Mesoscopic level

<sup>۵</sup>Ludwig Boltzmann

<sup>۶</sup>Euler and Navier-Stokes

<sup>۷</sup>Axiomatization

مفیدتر است، نشان می‌دهد، زیرا از نظر ریاضی این دیدگاه‌ها به یک نظریه نهایی که واقعیت را توصیف می‌کند، همگرا می‌شوند. با فرض اینکه برهان پژوهشگران درست باشد، این پیشرفت زمینه جدیدی در دیدگاه هیلبرت ایجاد می‌کند. می‌توان امیدوار بود که با چنین رویکردهای نوآورانه‌ای، سد دیگر مسائل هیلبرت شکسته شود.

\* نویسنده آزاد ریاضی و دارای مدرک دکتری علوم کامپیوتر نظری از دانشگاه هاروارد  
\*\* دانشگاه یزد

پژوهشگران با محاسبه دقیق میزان تأثیر تاریخیچه یک ذره بر زمان حال آن و با بهره‌گیری از تکنیک‌های ریاضی جدید برای استدلال اینکه اثرات تجمعی برخوردهای قبلی همچنان اندک است، بر این مشکل غلبه کردند.

ترکیب دستاورد بلندمدت پژوهشگران با مطالعات قبلی درباره استنتاج معادلات اویلر و ناویر-استوکس از معادله بولتزمن، سه نظریه دینامیک سیالات را یکپارچه می‌کند. این یافته اهمیت در نظر گرفتن دیدگاه‌های مختلف در مورد سیالات را بر اساس آنچه در هر زمینه

## آگهی

ده سری پوستر رنگی: پنج سری به قطع  $۵۸ \times ۸۸$  سانتی‌متر به نام‌های ابوریحان بیرونی، ابوالوفا بوزجانی، ابوعبدالله محمدبن موسی خوارزمی، غیاث‌الدین ابوالفتح عمر خیام و غیاث‌الدین جمشید کاشانی و پنج سری پوستر به قطع  $۴۸ \times ۶۸$  سانتی‌متر به نام‌های تمدن اسلامی، دوران طلایی یونان، دوران‌های اولیه، عصر نوین و نوزائی (رنسانس)، از انتشارات ستاد ملی سال جهانی ریاضیات در دبیرخانه انجمن موجود است.

این مجموعه زیبا و پر محتوا می‌تواند زینت‌بخش کتابخانه‌ها، سالن‌ها، کلاس‌ها، اتاق‌ها و راهروهای دانشگاه‌ها، دبیرستان‌ها و مجامعی نظیر فرهنگ‌سراها و خانه‌های ریاضیات باشد.

از علاقه‌مندان، به‌ویژه مسئولان و مدیران محترم تقاضا می‌شود جهت خرید این مجموعه نفیس به این [لینک](#) مراجعه نمایند.