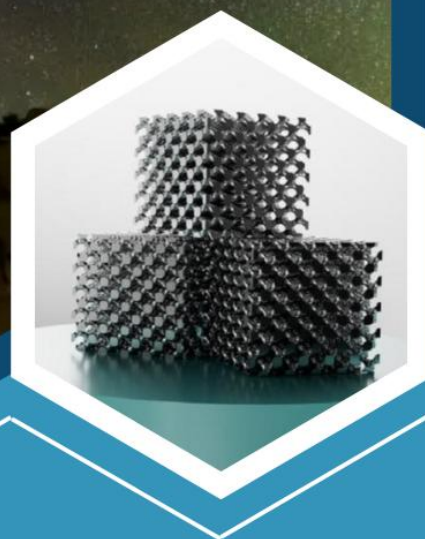
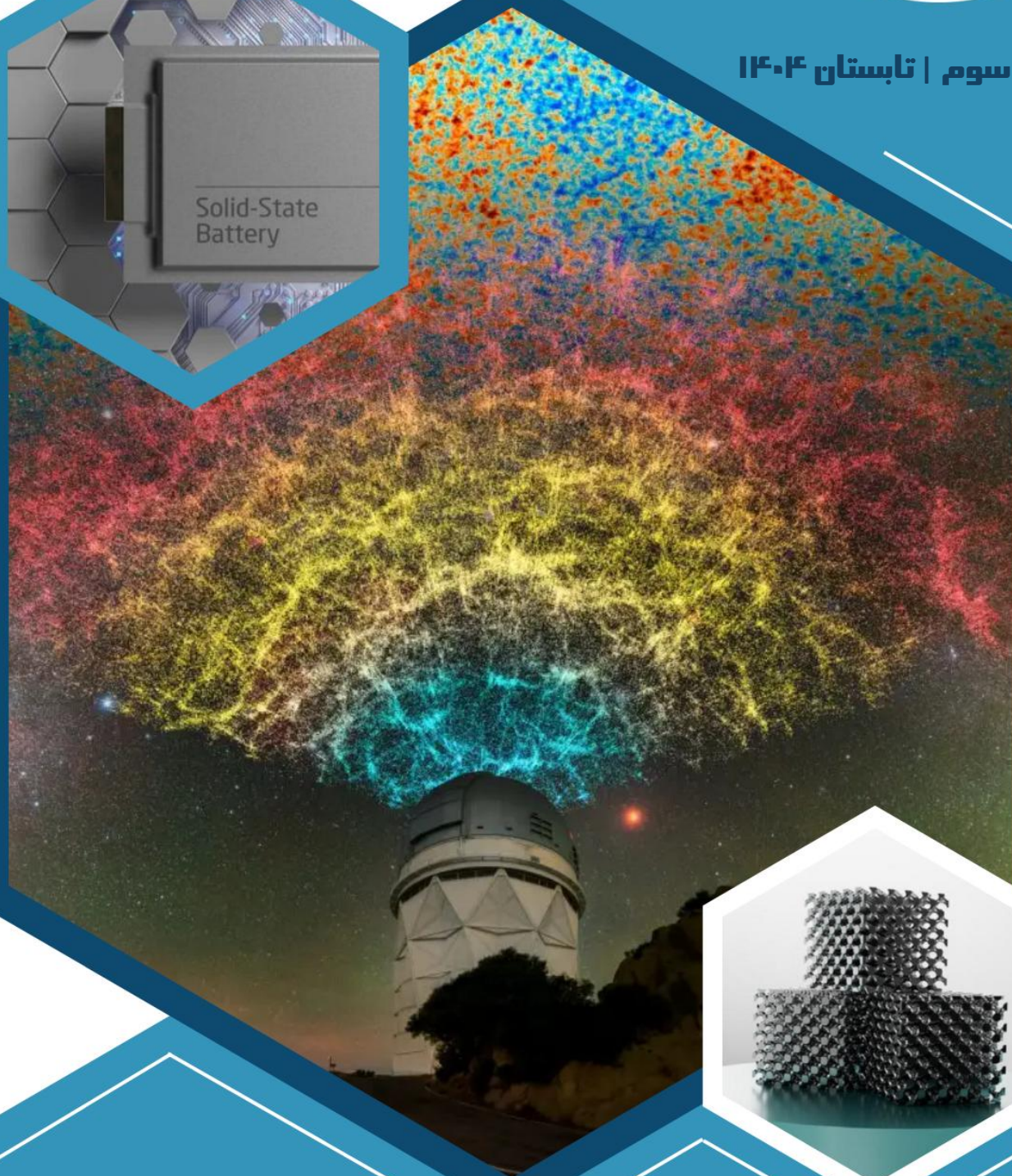
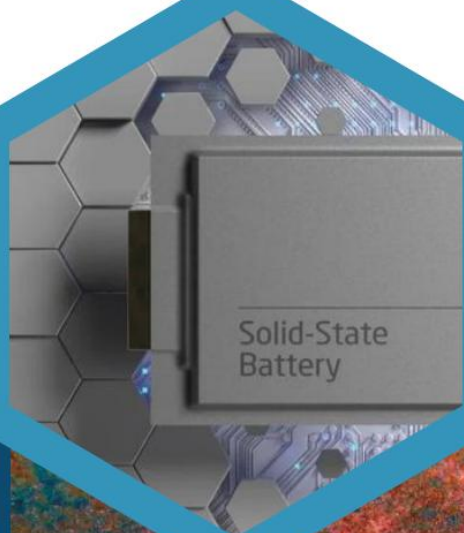


پیراگت

شماره سوم | تابستان ۱۴۰۴



عنوان نشریه: برکت

صاحب امتیاز: انجمن علمی فیزیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مدیر مسئول: فاطمه نجفی^۱

سر دبیر: محمدمهدی جهان طلب^۲

اعضای تحریریه: سانا ابراهیمی^۳، امیر احمدی^۴، آرمان افراز^۵، فاطمه پیریائی^۶، عسل جعفری^۷،

محمدمهدی جهان طلب^۲، ترنم ملکی^۸، ابوالفضل محمدی^۹، سیده صبا نورانی^{۱۰}

مصاحبه کنندگان: محدثه پورساعی^{۱۱}، علیرضا گونه^{۱۲}

با سپاس از:

دکتر امین نصیری راد^{۱۳}، عضو هیئت علمی دانشکده فیزیک دانشگاه خواجه نصیر

دکتر مهرگان درودیانی^{۱۴}، محقق پسادکتری دانشگاه ساوت همپتون

دکتر مهدی مشکوری^{۱۵}، عضو هیئت علمی دانشکده فیزیک دانشگاه خواجه نصیر

ویراستار ادبی: علیرضا جعفری^{۱۶}، علیرضا گونه^{۱۲}

صفحه آرا: فاطمه نجفی^۱

سال انتشار: دوم

شماره: سوم

تاریخ انتشار: تیرماه ۱۴۰۴

۱. fnajafii81@gmail.com ۲. jahantlb@gmail.com ۳. sunaebrahimi162@gmail.com

۴. gaaugk@gmail.com ۵. armanafraz729@gmail.com ۶. fatemehpiriyayi@gmail.com

۷. asal.djafari@gmail.com ۸. taranomalekii@gmail.com ۹. aboldazlqw12@gmail.com

۱۰. saba.nourani93@gmail.com ۱۱. pursaemohadese@gmail.com

۱۲. alirezagooneh@gmail.com ۱۳. amin.nassiriraad@kntu.ac.ir

۱۴. m.doroudiani@soton.ac.uk ۱۵. mahdi.mashkoori@kntu.ac.ir

۱۶. aliiii.jj6@gmail.com

فهرست

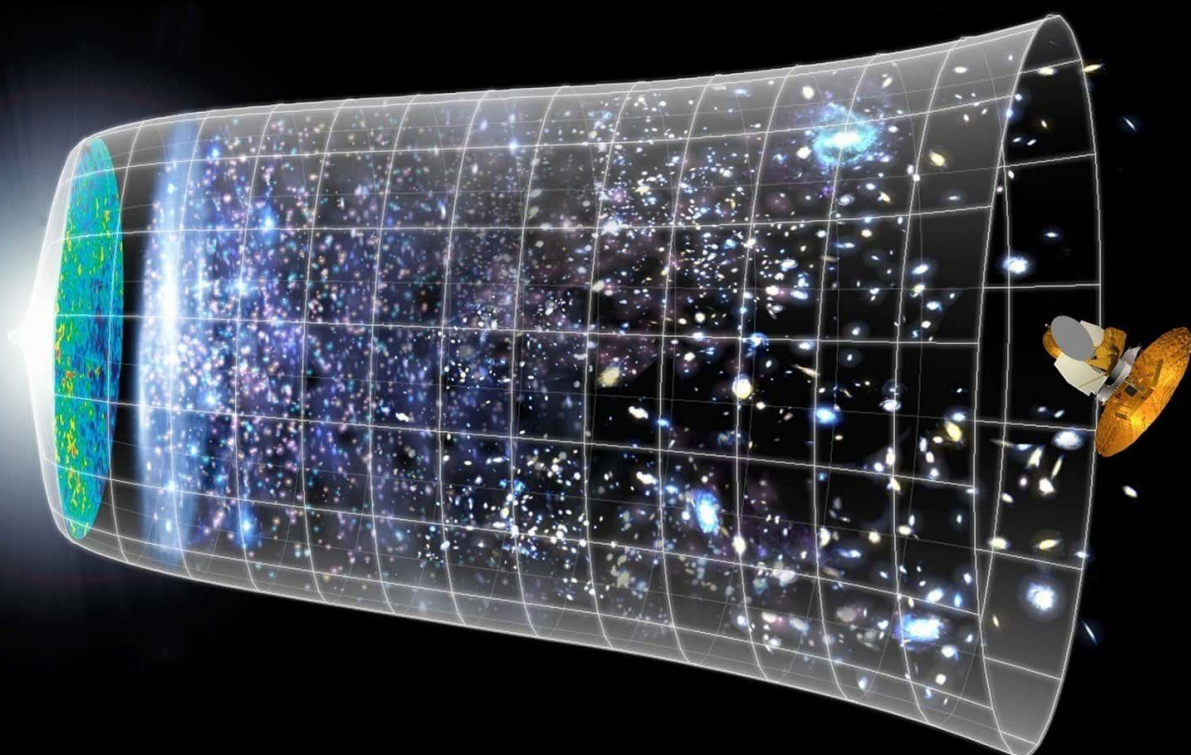
۴. از اختلالات کوانتومی تا تورم کیهانی: گفت‌وگو با دکتر امین نصیری‌راد
۱۲. تورم کیهانی
۱۹. مقدمه‌ای بر سیستم‌های باز کوانتومی
۲۲. مواد آمورف؛ معماری بی‌نظم در دنیای مواد
۲۶. فرامواد؛ ابزار فیزیک برای بازتعریف ماده و نور
۲۹. از چنبره‌های ریسمانی تا رمزنگاری کوانتومی؛ گفت‌وگو با دکتر مهرگان درودیانی
۳۸. اخبار فیزیک
۴۱. بررسی سریال نابغه: اینشتین؛ نگاهی به نبوغ، انسانیت و تاریخ

با قلبی سرشار از سپاس و احترام،

بر خود فرض می‌دانیم تا قدردانی صمیمانه هیأت تحریریه این نشریه را
نثار جناب دکتر مهدی مشکوری و جناب دکتر امین نصیری‌راد، استادان
گران‌قدر دانشکده فیزیک، نماییم.

حضور اندیشه‌ورزانه و دقت نظر علمی این عزیزان که با عنایت به مطالعه
متن و ارائه دیدگاه‌ها و اصلاحات ارزشمندشان، غنایی بی‌بدیل به
محتوای این اثر بخشید، نه تنها نشان از همدلی عمیق ایشان با اهداف
علمی نشریه دارد، که تجلی بارز روحیه تعالی‌بخش و مسئولیت‌پذیری
استادان فرهیخته است.

این همراهی ارزنده که در مسیر اعتلای دانش صورت پذیرفت، همواره
به‌عنوان نقطه‌ای درخشان در تاریخچه این نشریه، یاد خواهد شد.



اردیبهشت ماه ۱۴۰۴

از اختلالات کوانتومی تا تورم کیهانی: گفت‌وگو با دکتر امین نصیری‌راد

محدثه پورساعی، علیرضا گونه

کار من بیشتر تئوری است. در فضای تئوری ما الزاماً دنبال این نیستیم که داده چه چیزی را نشان می‌دهد یا چیزی شبیه به این! البته یک مجموعه دیتا داریم و نتایجی که از دیتا به دست آمده است، را در اختیار داریم؛ ولی بیشتر به دنبال تئوری سازی یا مدل هستیم. چون به هر حال، نه دیتا بدون تئوری کار تکمیلی است و نه تئوری بدون دیتا. این دو باید دست به دست هم بدهند تا ما بتوانیم به یک نتیجه مناسبی برسیم.

پس کار شما به طوری است که یک مدلی ارائه می‌دهید سپس داده‌های رصدی را با این مدل بررسی می‌کنید؛ درست‌ه؟

باید گفت که در تئوری، کار به دو بخش تقسیم می‌شود. در یک بخش، مدلی را ارائه می‌کنید که باید این مدل با داده‌های رصدی همخوانی داشته باشد. البته این را بگویم که ما عموماً در کیهان‌شناسی، یک تئوری جدید نمی‌دهیم. البته کسانی هستند که این کار را انجام دادند ولی به ندرت است. بیشتر در کیهان‌شناسی با استفاده از دیتاها، مدلهایی برای نحوه رفتار کیهان چه در زمان‌های اخیر و چه در زمان‌های اولیه ارائه می‌دهند. یک مثال بزنم تا حس بهتری نسبت به آن داشته باشید؛ فرض کنید که قوانین نیوتون را بلدید و پذیرفتید. حالا ما یک فنر به همراه یک جرم متصل به آن داریم و شما می‌خواهید رفتار این جسم را مدل کنید. یکی از روش‌هایتان این است که بیایید از قانون هوک استفاده کنید اما در واقع دارید همه کار را بر پایه قوانین نیوتون انجام می‌دهید. حالا فرد دیگری ممکن است بگوید این فنر مثل قانون هوک رفتار نمی‌کند، بلکه یک مقداری نسبت به قانون هوک انحراف دارد. شما می‌آیید دنبال آن انحراف می‌گردید که ببینید آیا می‌توانید رفتار این جسم را (با در نظر گرفتن قوانین نیوتون) بهتر توصیف کنید یا خیر. یک زمانی است که نیاز دارید از پایه، قوانین نیوتون را عوض کنید. اینجا در واقع شما رسماً در حال دست‌کاری کردن تئوری هستید و کار خیلی سخت‌تری است. یک زمانی هم است که تئوری (قوانین نیوتون) را قبول می‌کنید ولی مدل رفتار فنر را دست‌کاری می‌کنید. این همان کاری است که در کیهان‌شناسی و در پدیدارشناسی بیشتر انجام می‌شود. در عین حال، فضای تئوری دادن در کیهان‌شناسی، بسته نیست ولی خب خیلی کار سختی است و کار پر مشقتی خواهد بود. نوع دومی از کارهایی که در کیهان‌شناسی انجام می‌شود، این است که شما ممکن است هنوز

خیلی خوشحالیم از این که وقتتان را در اختیار ما قرار دادید. لطفاً کمی درباره خودتان و فعالیتتان بگویید.

به نام خدا. من امین نصیری‌راد هستم و در حال حاضر استادیار دانشکده فیزیک در گروه اتمی، مولکولی - نجوم در گرایش کیهان‌شناسی و گرانش کار می‌کنم. زمینه اصلی کاری بنده، کیهان‌شناسی جهان اولیه است و در مورد تورم کیهانی یا در اصل مدل‌های جایگزین برای تورم کیهانی و همچنین اختلالات کوانتومی در این دوره‌ها مطالعه می‌کنم. مقطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی را در شریف گذراندم. برای دکترا به IPM (پژوهشگاه دانش‌های بنیادی) آمدم و یک دوره پس‌دکتری به مدت تقریباً هشت سال آنجا بودم. در حال حاضر هم به صورت محقق پاره‌وقت با پژوهشگاه در ارتباط هستم و یک مجموعه همکاری‌های علمی داریم.

کمی برای ما از تجربه کاری در IPM و کیهان‌شناسی بگویید.

IPM یک محیط مناسبی است برای افرادی که بخواهند خیلی خوب تحقیق کنند. یک محیط پژوهشی است و برای کسانی مناسب است که تقریباً مقدار خوبی، بحث آموزش آن‌ها تمام شده است.

کاری که من در حال حاضر انجام می‌دهم، بیشتر در زمینه کیهان‌شناسی جهان اولیه است. در اصل، کارهایی که انجام می‌دهیم در این زمینه، عموماً روی اختلالات کوانتومی دوره تورم تمرکز می‌کنیم. اگر بخواهیم تورم را به عنوان یک مدل مشهور برای تحول جهان اولیه در نظر بگیریم، کار ما این است که روی یک مجموعه مدل‌هایی که می‌توانستند شانس بیشتری برای ایجاد تورم کیهانی داشته باشند، قید بگذاریم.

پژوهش‌های شما بیشتر جنبه نظری دارد یا بر تحلیل داده‌های رصدی هم تمرکز دارد؟

پژوهش‌های من بیشتر حوزه نظری را پوشش می‌دهد؛ یعنی بیشتر کارم تئوری هست و خیلی کار با داده ندارم. البته نه به این معنی که کلاً کار با داده نداریم، بلکه کمتر داریم. یک عده هستند که کلاً پژوهشگر رصدی هستند و پدیده‌هایی را که در کیهان وجود دارد، با استفاده از داده‌هایی که در اختیار دارند، شبیه‌سازی می‌کنند یا حتی برداشت فیزیکی‌شان را از این داده‌ها به دست می‌آورند اما

دیتای رصدی نداشته باشید که بتوانید آن را توصیف کنید. یعنی باید به صورت غیرمستقیم به داده‌های رصدی ربطش دهید. مثلاً میانگین اختلالات کوانتومی در مقیاس‌های کوچک کیهان را محاسبه کنید و این را به اتفاقاتی که می‌تواند در جهان حاضر بیفتد، ربطش دهید. در اینجا محاسبه شما به صورت مستقیم کاری با دیتا ندارد. شاید این کار در ظاهر به علت اینکه ارتباط با دیتا ندارد، کار جالبی به نظر نیاید. ولی اینطور نیست! شما می‌توانید یک ارتباطی بین نتایج تئوریتان با نتایج رصدی داشته باشید ولی خب یک مقداری باید زمان بدهید تا رصدهای بهتر و با دقت بیشتری بتواند در آینده، کیهان جهان اولیه را جستجو بکند.

بخواهیم کمی جزئی‌تر به فعالیت‌های شما بپردازیم؛ در مقاله‌های اخیر به فرآیندهای تصادفی و نقش آن در تورم کیهانی توجه داشتید آیا این‌ها منشأ کوانتومی دارند؟ کمی از این زمینه برای ما بگویید.

بله! احتمالاً اکثر مخاطبان، شما درس مکانیک کوانتومی را گذرانده باشند یا به گوش آنها خورده باشد. در فرآیندهای کوانتومی، در اصل با یک پدیده معینی سروکار ندارید؛ شما نمی‌توانید خیلی قاطعانه مثل مکانیک کلاسیک، حرکت یک ذره کوانتومی را از یک مسیر به مسیر دیگر پیش‌بینی کنید، بلکه راجع به احتمال اینکه ذره از چه مسیری می‌رود یا در چه حالتی قرار بگیرد یا چیزی شبیه به این صحبت می‌کنید. به صورت کلی فضای مکانیک کوانتومی یک فضای تصادفی است و مجموعه‌ای از احتمالات است و شما نهایتاً می‌توانید راجع به میان‌گیری‌ها صحبت کنید. حالا ممکن است کسی این سوال را بپرسد که من آیا می‌توانم به فرآیندهایی که در مکانیک کوانتوم اتفاق می‌افتد، یک تابع توزیع نسبت بدهم؟ ما یک سری توابع توزیع در آمار کلاسیک داریم؛ مثل تابع توزیع گاوسی که این تابع توزیع، توصیف‌کننده یک سری فرآیندهای تصادفی است. مثلاً راجع به میان‌گیری از یک کمیت تصادفی با آمار مشخص صحبت می‌کنیم. این آمار مشخص می‌تواند یک تابع توزیع گاوسی باشد یا نمایی باشد یا یک فرایند پواسونی باشد. مثلاً نرخ تعداد زلزله‌ها در یک بازه زمانی با چه تابع توزیعی داده می‌شود و همینطور باقی فرآیندهای دیگری که در طبیعت رخ می‌دهد؛ این موضوع را در یک سمت قرار می‌دهیم. سمت دیگر، فرآیندهایی است که در مقیاس کوانتومی انجام می‌شود. جفت این دو، ماهیت تصادفی دارند. یعنی هم تعداد زلزله‌هایی که در سال و در یک

منطقه رخ می‌دهد و هم فرآیندهایی که در مقیاس کوانتومی و در یک اتم اتفاق می‌افتد، هر دو ماهیت تصادفی دارند. اما رویکرد شما برای حل مسئله متفاوت است. در یک حالت شما باید بروید در مکانیک کوانتومی، جبر خطی بنویسید و ضرب داخلی و فضای هیلبرت تعریف کنید و الی آخر. اما در یک حالت دیگر در آمار و احتمالات کلاسیک، باید از توابع توزیع استفاده بکنید. در بحث مکانیک کوانتومی، مثلاً تابع موج را به توان دو می‌رسانید و به نوعی از این به عنوان تابع توزیع استفاده می‌کنید؛ اما مسئله اینجاست که همان تابع موج هم از یک مجموعه محاسبات کوانتومی شما بدست آمده است. حالا ممکن است بگویید، آیا محدودیتی وجود دارد که بتوانیم فرآیندهایی را که به صورت کوانتومی انجام می‌شود با استفاده از آمار کلاسیکی حساب کنیم یا خیر؟ یعنی در این محاسبه دیگر نیازی به جبر خطی و محاسبات نظریه میدان کوانتومی ندارید. نظریه میدان کوانتومی، همان مکانیک کوانتومی به صورت نسبی است به یک منظور دیگر، به دلیل پیچیدگی‌های زیادی که در نظریه میدان کوانتومی یا مکانیک کوانتومی وجود دارد، از روش‌های مرسوم کوانتومی برای محاسبه استفاده نکنید بلکه بررسی کنید و ببینید آیا محدودیتی وجود دارد که اختلالات شما کلاسیکی بشوند تا شما بتوانید با استفاده از یک تابع توزیع کلاسیکی و آمار کلاسیکی مفاهیمی را که وجود دارند حساب کنید؟ این کاری است که من در اکثر مقالاتی که در دوره دکترا و همینطور پس‌ادکتر داشتم، انجام دادم. البته زمینه‌های دیگری نیز کار کردم اما بیشتر فعالیت‌هایم در دوره دکترا و پس‌ادکتر حول زمینه محاسبات کوانتومی با استفاده از آمارهای کلاسیکی است و این‌ها را در فضای تورم بررسی کردم. البته اعتبار این کار برمی‌گردد به استاروینسکی که در دهه ۱۹۸۰ میلادی اولین بار این موضوع را ایشان راه انداخت.

پس اینطور که توضیح دادید، شما از ابزارهای آماری یا کلاسیکی استفاده می‌کنید برای اینکه محاسبات کوانتومی را انجام دهید.

درود بر شما! البته تعارضی بین این دو وجود ندارد. شما باید در یک شرایطی بروید و نشان دهید که ماهیت کوانتومی را می‌توانید به صورت کلاسیکی هم توصیف بکنید. ممکن است در شرایطی نیاز باشد این مسئله را بررسی کرد که آیا می‌توان در شرایطی قرار گرفت که ماهیت کوانتومی مسئله حذف بشود و محاسبات را

به صورت کلاسیکی جلو ببرید یا خیر؟ این کاری است که باید انجام دهید و وقتی پی بردید که می شود، مسئله بسیار جذاب خواهد شد. هنوز هم در این زمینه جای کار وجود دارد و کلی سوال بی پاسخ وجود دارد.

وقتی می خواهید یک پروژه جدیدی را شروع کنید، چگونه پی می برید که آیا این پروژه ارزش دنبال کردن دارد یا خیر؟ چون بعضی پروژه ها ممکن است به علت کم بودن داده، هزینه بر بودن، زمان بیشتر یا حتی پیچیدگی زیاد محاسبات به نتیجه نرسند.

خیلی سوال خوبی است! ببینید شما وقتی می خواهید یک پروژه ای را شروع کنید، باید بدانید که سوال اساسی شما چیست. مثلاً از خودتان بپرسید که من می خواهم به چه چیزی جواب بدهم. حتی در پرسش هایی که می خواهید جواب بدهید بهتر است دقت کنید که جزئیات سوال کاملاً مشخص باشد؛ یعنی اینکه بدانید قرار است از کجا شروع کنید و به کجا برسید. مثلاً اینطور نباشد که بگویید "من می خواهم مسئله انرژی تاریک را حل کنم." این یک سوال بسیار کلی است و سوال پژوهشی تکنیکالی نیست. در نتیجه، باید مسیر و ابزارها مشخص باشند و حتی بدانید می خواهید دقیقاً به چه مسئله ای حمله کنید. مثلاً می گوئید ممکن است بخواهید فضای پارامتری یک مدل را با استفاده از مشاهدات مقید کنید. بعد از آن باید روش حل آن را پیش بینی کنید.

مورد بعدی اینکه دوستانی که به تازگی می خواهند پژوهش را آغاز کنند، دقت کنند که از همان اول نمی توان یک مسئله پژوهشی را تعریف کرد. شما باید از قبل تعداد خوبی مقاله خوانده باشید، با ادبیات آن فضا آشنا شده باشید و بدانید مردم (جمع پژوهشگران) به چه سمتی حرکت می کنند. به عنوان مثال، وقتی یک مقاله را خواندید، به این فکر کنید که از چه ابعادی می شود به آن مقاله نگاه کرد که این مقاله آن را بررسی نکرده یا چه فرض هایی در این مقاله وارد شده است که شما می توانید آن فرض ها را گسترش دهید یا کدام مفروضات درست و غلط بودند یا آیا می توانید آن مفروضاتی که درست بودند، دست کاری کنید و بهتر کنید یا در قالب دیگری آن ها بررسی کنید. خوب اینها یک دسته از کارهای پژوهشی هستند. یک دسته دیگر از کارهای پژوهشی هم هستند که شما یک مسیر جدید را معرفی می کنید یا چیزی شبیه به این. خوب لول کار ریسرچ در دسته دوم بهتر است ولی خوب این کار یک مقدار سخت تر است

و شما باید سال ها کار کرده باشید تا بتوانید از پشش بریایید. اما خوب در حالت کلی، قبل از شروع کار باید درباره اینکه آیا مسئله شما حل پذیر است یا خیر یا چقدر زمان بگذارید برایش، یک تخمینی بزنید. مثلاً از خودتان بپرسید که این محاسباتی را که قرار است انجام بدهم، آیا می توانم تحلیلی انجام بدهم؟ خوب! اگر بخواهم تحلیلی انجام بدهم، معمولاً چه ابزارهایی برای حل تحلیلی آن دارم؟ مثلاً اگر روش حل، با استفاده از معادله دیفرانسیل است، باید توجه کرد که خیلی اوقات معادلات دیفرانسیل دقیق حل نمی شوند. خیلی اوقات معادلات دیفرانسیل پیچیده هستند و همین می تواند شما را گیر بیندازد. می تواند برایتان بن بست باشد. شما مسئله را تعریف کردید و همه چیز را مشخص کردید، در اواسط کار به یک معادله دیفرانسیل برخورد می کنید که نمی توانید آن را دقیق حل کنید و باید به روش های جایگزین و تقریبی رجوع کنید. اگر بخواهم محاسبات را به صورت عددی انجام بدهم، چه حدسیاتی باید بزنم یا چه پیش بینی هایی می خواهم انجام بدهم و با چه داده هایی می خواهم نتایجم را مقایسه کنم.

شما وقتی می خواهید یک کار پژوهشی انجام بدهید، باید خودتان را جای داور بگذارید؛ زیرا در نهایت قرار است این مقاله را به ژورنال ارسال کنید و در آنجا به یک یا دو داور می رسد و آنها مقاله شما را نقد و بررسی می کنند. خیلی اوقات اگر کار شما از کیفیت لازم برخوردار نباشد، آنها رد می کنند.

تقریباً باید بتوانید افق کار را ببینید. این توانایی در دراز مدت بدست می آید و باید شما آن قدر کار پژوهشی انجام بدهید تا بتوانید پیش بینی کنید که این کار به نتیجه می رسد یا خیر، زمان آن تقریباً چقدر است، حجم محاسبات آن چقدر است.

به صورت خلاصه اگر بخواهم بگویم، اول باید دقیق بدانید که می خواهید در چه حوزه هایی ریسرچ کنید؛ یعنی علاقه مندی هایتان را رصد کنید و سوالات باز آن حوزه را مطالعه کنید. بعد از آن باید ابتدا مقالات اصلی آن حوزه را پیدا کنید و شروع کنید به خواندن و با تکنیک های مرسوم حل سوالات در این حوزه آشنا بشوید و بعد از آن، مقالات پیشرفته تری در آن حوزه را که مربوط به سال های اخیر هستند، بخوانید و پرسش هایی را که جواب داده شدند، پیدا کنید. بررسی کنید که چه ابعادی از این سوالات پاسخ داده نشده و آیا این ابعاد، ارزش پاسخ دهی دارد یا خیر. گاهی اوقات ممکن است از دید جامعه علمی، ارزش پاسخ دهی نداشته باشد. همچنین توجه داشته باشید که سوال مطرح شما، از قبل حل نشده باشد. برای این کار

درس‌های پیشرفته را گذرانده باشید) یا همان دوره ارشد مناسب است. یک نکتهٔ دیگر این که سعی کنید در لیسانس، همان درس‌های پایه را خوب پاس کنید؛ زیرا به فهم فیزیکی عمیق شما کمک می‌کند. عجله‌ای برای گذراندن درس‌های پیشرفته نداشته باشید. همیشه وقت برای مقاله دادن و پاسخ به سوالات بی‌جواب است.

آیا پروژه‌هایی هست که در ایران یا خارج از ایران اهمیت بیشتری داشته باشد؟

بله! در حوزه‌های مختلف، سوالات خاصی مطرح است؛ مثلاً در حوزهٔ کیهان‌شناسی جهان اولیه، بحث سیاهچاله‌های اولیه است که در مدل‌های تورمی مختلف، نشان داده می‌شود که آیا در پایان تورم، منجر به تشکیل سیاهچاله می‌شوند یا خیر. این بحث نیاز به فرآیندهای تصادفی دارد؛ چون برای اینکه بتوانید توزیع این سیاهچاله‌ها را بسته به هر مدلی توصیف بکنید، باید تابع چگالی احتمال به دست بیاورید. مورد دیگر، امواج گرانشی که در دورهٔ تابش غالب یا بعد از تورم شکل گرفتند و تقریباً یک سال پیش مطرح شدند و این امواج گرانشی هم جنبهٔ اخترازی دارند و هم در دورهٔ بعد از پایان تورم شکل می‌گیرند، و در واقع اینکه با چه مدلهایی می‌توان این امواج گرانشی را توضیح داد، هنوز هم مورد بحث است. یک سری موضوعات جدید دیگر هستند که اثرات حلقه‌های کوانتومی در مشاهدات جهان اولیه را تا مرتبه‌های مختلف حساب می‌کنند و بسیار بحث برانگیز است و جزء حوزه‌های داغ محسوب می‌شود. یک سری حوزه‌های دیگر هم است، مثل مدلهایی که می‌توانند جسم سیاه در کیهان اولیه تولید کنند و اینکه هر مدلی چه مقدار می‌تواند جسم سیاه تولید کند. یک سری مدلهایی هم هستند که دربارهٔ تولید میدان مغناطیسی در کیهان اولیه و ارتباط آن با کیهان جهان اخیر است. به هر حال یک سری فضاهای خالی هستند در کیهان جهان اخیر که در این فضاهای خالی یک میدان مغناطیسی می‌بینید و این میدان مغناطیسی می‌تواند منشأ ستاره‌ای داشته باشد یا منشأ آن در کیهان اولیه باشد. بحث‌هایی نیز در سیاهچاله‌های اولیه است و در کیهان‌شناسی جهان اخیر هم پرسش‌هایی مطرح است؛ البته دکتر انصاری فرد که کیهان‌شناسی جهان اخیر کار می‌کنند، این‌ها را بیشتر اطلاع دارند. مثل اثراتی که جسم سیاه می‌تواند در تشکیل ساختارهای بزرگ مقیاس داشته باشد. انرژی تاریک هم همین طور. یا اینکه

باید سرچ خوبی انجام بدهید از منابع مختلف در اینترنت. حال باید ابزار را مشخص کنید و نحوهٔ استفاده را مشخص کنید. در اصل یک برآورد باید داشته باشید. اینها مواردی هستند که باید توجه کرد. مثلاً هر تقریبی که به کار بردید، باید از جنبه‌های مختلف آن تقریب چک بشود تا اشتباه نباشد. هر مرحله را باید چک کنید و از سه چهار جنبه بررسی کنید تا اشتباه نکرده باشید و فیزیک مسئله را از دست نداده باشید. صبروری و ناامید نشدن در ریسرچ خیلی مهم است چون خیلی اوقات سوالات خیلی باز هستند یا گسترهٔ پهنی دارند که ممکن است شما چون اول کار هستید، به در بسته بخورید. باید صبر داشته باشید، روش‌های مختلف را امتحان کنید و نترسید تا آن‌شالله مسئله‌تان حل شود.

به نظرتان زمان شروع کی هست؟ شما خودتان طبق تجربه‌ای که کسب کردید، چه زمانی وارد این حوزه شدید؟

پیشنهاد من این است که هر وقت می‌خواهید آن را شروع کنید، ابتدا با اساتیدی که مرتبط هستند به حوزهٔ کاری شما، مشورت کنید و از تجربهٔ آن‌ها استفاده کنید. به هر حال آنها دید بازتری در آن حوزه نسبت به شما دارند. نظر من این است که می‌توانید حتی از دورهٔ کارشناسی هم شروع کنید؛ اما ممکن است به علت زیاد بودن درس‌ها نتوانید با تمرکز و جزئیات بیشتر به آن بپردازید و ممکن است منجر به دلزدگی شود یا وقتتان را بگیرد. من تقریباً اولین کار پژوهشی که انجام دادم، در دوره ارشد بود. مسئلهٔ سختی را هم انتخاب کرده بودم. شما حتماً دقت داشته باشید مسائلی را انتخاب کنید که ابزارهایش را یاد گرفته باشید. مثلاً مسئلهٔ ثابت کیهان‌شناسی، حوزه‌های گرانش و کیهان‌شناسی و فیلد تئوری را در بر می‌گیرد و شما برای حل آن نیاز به ابزارهای گوناگون دارید و اگر شما این ابزار را بلد نباشید، وقتی مقاله‌های تحقیقاتی را می‌خوانید؛ نمی‌توانید آن‌ها را بفهمید. باید با مسائلی شروع کنید که تعداد حوزه‌های مربوط به آن محدودتر باشد. این‌ها بستگی دارد که شما چه درس‌هایی در دوره کارشناسی گذرانده‌اید. بهتر است برای ورود به ریسرچ، درس‌های پیشرفته را بلد باشید. مثلاً در کیهان‌شناسی بهتر است، گرانش و نسبیت عام بلد باشید. در کیهان‌شناسی جهان اولیه، فیلد تئوری و نظریهٔ میدان بلد باشید. این موارد از شما یک محقق بهتری می‌سازد. در کل اگر بخواهید زود شروع کنید و دانشجوی خوبی هم بوده باشید، اواخر لیسانس (در صورتی که

سوال خوبیست! در مورد سوال اولتان این را باید بگویم که به نظرم دلیل این علاقه این است که دانشجویان قبل از ورود به این رشته با یک سری نتیجه که در بسیاری از مجلات دیده می شود، مواجه می شوند و تصور می کنند همان کار قرار است در فیزیک انجام شود. در صورتی که این نتیجه کار است. یک مثال می زنم؛ شما تلویزیون که می بینید، کانال ها را می توانید عوض کنید یا نور صفحه را بیشتر و کمتر کنید و بعد تصمیم می گیرید به رشته الکترونیک بروید. ولی وقتی به رشته الکترونیک می روید، با یک سری مقاومت، خازن و ... مواجه می شوید.

در حقیقت تلویزیون نتیجه این موارد است و نباید به این دید نگاه کنید که وقتی به رشته فیزیک می آید، سفر در زمان را تجربه می کنید! و همچنین به شکلی نیست که شما بتوانید یک شب به سوالی پاسخ بدهید. این حاصل کار صدها مقاله و صدها محاسبات پیچیده و تلاش های عده زیادی آدم است که ما می توانیم بخشی از این تلاش ها را عهده دار شویم و این در هر گرایشی است؛ مثلاً در حالت جامد ممکن است کسی به ظاهر قطعات نیمه هادی علاقه مند شود و بعد در عمق علم آن ببیند که یک سری محاسبات نواری و ... وجود دارد. این نتیجه بسیاری از مقالات و محاسبات است که شما می توانید در فیزیک به مطالعه و تحقیق در این موارد بپردازید.

مورد دوم بحث شبه علم است که به نظر من یک کار فرهنگی لازم دارد. امروزه افرادی با نیت های مختلف می آیند و از مفاهیمی که در فیزیک است، استفاده هایی می کنند که اگر نظریه پردازان آن حوزه هم این ها را می دیدند از کله شان دود بلند می شد! مثلاً مواردی مثل عرفان کوانتومی صرفاً مفاهیمی اند که ژورنالی است و بیشتر برای فروش به کار می رود، چگونه می توان از آن جلوگیری کرد؟ به نظر من ناشر قبل از انتشار آن باید از متخصصان آن حوزه استفاده کند تا از نشر نادرست یک سری مطالب جلوگیری کنند. این کار یک کار فردی نیست و باید سازمان های ناظر به این موضوع بپردازند. مثلاً در همین مورد عرفان کوانتومی، باید افراد متخصص در حوزه های عرفان و مکانیک کوانتوم موارد را بررسی کنند و درباره آن نظر بدهند و مورد نقد و بررسی قرار بگیرد.

چه توصیه ای به دانشجویان کارشناسی دارید؟

من به نظرم این خیلی مهم است که شما از خواندن فیزیک لذت ببرید و یک هدف و مسیری برای آن تعریف کنید! در غیر این صورت، از سمت های مختلف سیل افکار منفی شما را آزار خواهد

ساخترهای بزرگ مقیاس بر اساس مدل های جسم سیاه مختلف چگونه تشکیل می شوند. در یک ماه اخیر، مقالاتی عرضه شده که از داده های دزی (تلسکوپ DESI که از ناحیه های مختلف کیهان دیتا می گیرد) استفاده کردند و یک قیدهایی می گذارند روی تحول انرژی تاریک با زمان. ادعای اولیه اش این است که چگالی انرژی تاریک می تواند ثابت نباشد؛ حالا باید دید نتایج نهایی آن به چه صورت است. این موارد در حوزه های رصدی مورد توجه قرار می گیرد.

چه شد که در زمان دانشجویی به این حوزه علاقه مند شدید؟

یک سری سوالات مثل مفاهیم جسم سیاه و انرژی تاریک من را به این سمت کشاند که چرا باید جسم سیاهی باشد؟ در واقع از ساز و کار آن سر در نمی آوردم. یا حتی می تواند ریشه در کودکی من داشته باشد. مثلاً در دوران دبیرستان، مفاهیم نسبیت خاص مثل کند یا تند شدن زمان در یک میدان گرانشی نسبت به ناظر برای من خیلی جالب بود و مفاهیمی مثل کرمچاله ها که شاید یه سری موارد تخیلی باشند ولی روی این موارد کار می شود. اینها زمینه هایی بود که من را به این سمت کشاند و به پرسش هایی که در این حوزه هست، بیشتر علاقه مند کرد یا مثلاً ساز و کار معادلات نسبیت عام که می دانستم حتی در دستگاه های GPS یا مسیریاب هایی که ما استفاده می کنیم، نقش دارند و اگر نسبیت عام نبود، خیلی از دستگاه های GPS یا مسیریاب هایی که استفاده می کنیم با خطا روبرو می شدند. حتی یادم است، سیاهچاله های اولیه را که در مقاله های ساده به زبان عامه پسند نوشته شده بود، دنبال می کردم و برایم جالب بود. یکی از بهترین و مطمئن ترین مسیرها برای پیدا کردن مسیر مورد علاقه این است که شما درس های مختلفی را بگذرانید. چون فیزیک به اندازه کافی پیچیدگی دارد و اگر به آن علاقه نداشته باشید، اطمینان دارم که نتیجه خوبی در انتها نمی گیرید.

اکثر دانشجویانی که وارد رشته فیزیک می شوند به این گرایش علاقه مند هستند ولی وقتی وارد این گرایش می شوند، تصوراتشان به هم می خورد. به نظرتان چرا؟ و یک سوال دیگر این که خیلی از موارد شبه علم بیشتر در کیهان شناسی دیده می شود؛ نظرتان چیست؟

داد و شما را از انتخاب این رشته ناامید می‌کند. افکار منفی مثل این است که فلانی فلان رشته را خوانده و فلان قدر درآمد دارد؛ اما در فیزیک چه؟ ببینید یک سری رشته‌ها هستند که افراد با معیار کسب درآمد انتخاب می‌کنند ولی وقتی شما رشته فیزیک را انتخاب می‌کنید، شما قرار است که فیزیک‌دان شوید و به نظرم قبل از اینکه معیار مالی داشته باشید، معیار علمی داشته باشید و به فیزیک به عنوان تولید ثروت نگاه نکنید. شاید پرسید در فیزیک آیا کار هست؟ واقعیتش این است که درآمد زیاد داشتن از راه آکادمیک شاید خیلی میسر نباشد؛ چون به تقاضا بستگی دارد. اما من به شما قول می‌دهم که اگر پشتکار داشته باشید و اهداف تحقیقاتی خوبی برای خود معین کنید و کاری کنید که در حوزه‌تان بهترین باشید، نهایتاً بیکار نمی‌مانید و لازم نیست به حوزه دیگری سوییچ کنید! فقط زمان می‌برد. زیرا در فیزیک بعد از گذراندن دو الی سه مقطع، واقعاً خبره می‌شوید و می‌توانید به عنوان یک متخصص وارد حوزه کاریتان شوید. الان و در این سن هدف‌تان این باشد که صرفاً خودتان را بسازید! با استفاده از ابزارهای علم و شرکت در کنفرانس‌ها و ورک‌شاپ‌ها.

در انتها اگر موردی هست که می‌خواهید اضافه کنید، بفرمایید.

نه چیز خاصی مدنظرم نیست. اگر دانشجویان تمایل داشتند که بیشتر درمورد گرایش من به صورت خاص آشنا بشوند، حتماً استقبال می‌شود.



تورم کیهانی

ابوالفضل محمدی، محمدمهدی جهان طلب، آرمان افراز، سانا ابراهیمی

بیگ‌بنگ داغ (آغاز کیهان)

بسیاری از محققان، دانشمندان و حتی افراد عام جامعه امروزی بر این باور هستند که کیهان، روزی به نحوی آغاز شده است و نظریه غالب آن در علم کیهان‌شناسی، بیگ‌بنگ می‌باشد. تحول کیهان امروزی را می‌توان با معادلاتی به نام معادلات فریدمان توصیف کرد، درواقع نه تنها کیهان امروز را می‌توان توصیف کرد، بلکه کیهان‌های مختلف با سناریوهای مختلف را نیز می‌توان به کمک آن پیش‌بینی کرد.

ما در کیهان‌شناسی می‌توانیم تحول کیهان را متأثر از سه ماده مختلف تصور کنیم:

۱. ذرات فوق نسبیتی با سرعت نزدیک به نور: این ذرات شامل فوتون‌ها، نوترینوهای بدون جرم و در نهایت ذرات دیگری که جرم بسیار کمی دارند و با سرعت نور حرکت می‌کنند. نام عمومی این نوع ماده، که مانند تابش الکترومغناطیسی منتشر می‌شود، "تابش" است.

۲. ماده بدون فشار غیر نسبیتی: به‌طور کلی به سادگی "ماده" نامیده می‌شود و برعکس تابش، با سرعتی بسیار کمتر از سرعت نور حرکت می‌کند. ماده قابل مشاهده تشکیل‌دهنده ساختارهایی مانند سیارات، ستارگان، ابرهای گازی و یا کهکشان‌ها که از پروتون، نوترون و الکترون تشکیل شده است و همچنین ماده تاریک که منشأ آن در فیزیک ذرات بنیادی همچنان ناشناخته است، در این تقسیم‌بندی جای می‌گیرند.

۳. پارامتر سوم، "انرژی تاریک" یا "ثابت کیهان‌شناختی" یا Λ نامیده می‌شود. این پارامتر در واقع یک ثابت کیهانی احتمالی، با چگالی انرژی ثابت در طی زمان، است. منشأ انرژی تاریک نیز در فیزیک ذرات ناشناخته است. در عین حال اثر آن مشابه دیگر ماده‌ها یا حتی ماده تاریک نبوده و با ایجاد فشار منفی، عامل انبساط تندشونده کیهان به حساب می‌آید.

در کنار این سه پارامتر که می‌توانند کیهان را تشکیل دهند، یک پارامتر دیگر به نام "انحنا" وجود دارد که انحنا کیهان را مشخص می‌کند (بنابر مشاهدات رصدی، پارامتر انحنا صفر بوده و کیهان تخت است، پس ما سناریوی بیگ‌بنگ را برای کیهان تخت با انحنا صفر بررسی می‌کنیم و در این متن انحنا را در صورت عدم اشاره مستقیم، صفر فرض خواهیم کرد). تمامی این چهار پارامتر در معادلات فریدمان با ضریب مقیاس a رابطه دارند. ضریب

مقیاس کمیتی بی‌بعد است که میزان نسبی انبساط کیهان را نشان می‌دهد. پس حضور هر یک از این پارامترها در معادلات فریدمان، می‌تواند ما را با یک کیهان و سناریوی متفاوت روبه‌رو سازد. برخی از سناریوهای ممکن:

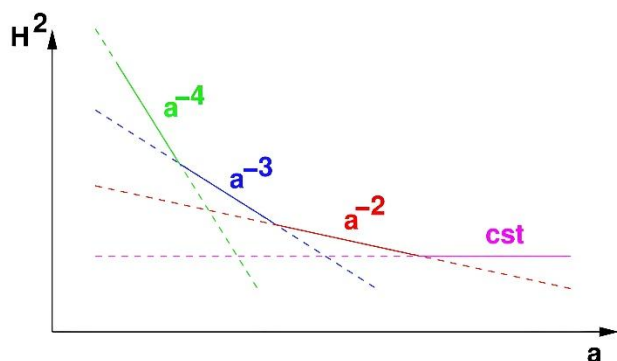
۱. از لحظه بیگ‌بنگ تاکنون، پارامتر غالب تشکیل دهنده کیهان، ماده بوده باشد.

۲. در گذشته، تابش غالب بوده باشد ولی سپس ماده غالب شده باشد.

۳. در ابتدا، تابش غالب بوده باشد، سپس ماده غالب شده باشد و در نهایت تنها انحنا غالب شده باشد.

۴. در گذشته، تابش غالب بوده، سپس ماده غالب شده و در نهایت ثابت کیهان‌شناختی غالب شده باشد.

تمام حالاتی که ترتیب‌های بالا را رعایت نکنند، غیرممکن بوده و در طول هر مرحله از تحول، یک جز به شدت بر سایرین تسلط داشته است (نمودار ۱).



نمودار ۱: برای مثال، در نمودار بالا که مربع پارامتر هابل (Hubble Parameter)، تعیین کننده سرعت تحول کیهان، نسبت به ضریب مقیاس در آن رسم شده است، در یک سناریو که همه پارامترها سهم معمولی در تحول کیهان دارند (تابش با رنگ سبز، ماده با رنگ آبی، انحنا با رنگ قرمز و ثابت کیهان‌شناختی با رنگ صورتی)، این پارامترها یکی پس از دیگری بر یکدیگر مسلط می‌شوند.

در تمام حالات زمانی در گذشته بوده است که ضریب مقیاس به صفر میل می‌کرده که آن‌را تکنیکی اولیه یا لحظه بیگ‌بنگ می‌نامیم. توصیف فریدمان از کیهان قرار نیست زمانی که ضریب مقیاس صفر است ($a=0$) برقرار باشد. زمانی که ضریب مقیاس به صفر میل می‌کند و چگالی به یک مقدار بسیار بزرگ و مشخص به نام چگالی پلانک می‌رسد؛ در این صورت، مفهوم کلاسیک فضا

و زمان ناپدید شده و گرانش باید با یک نظریه کوانتومی توصیف گردد (گرانش کوانتومی غالب است).

بیگ بنگ سرد و بیگ بنگ داغ:

ابتدا برای سادگی فرض کردند که انبساط کیهان به دلیل سلطه تنها یک پارامتر بوده است که کهکشان‌ها را تشکیل می‌دهند (همان ماده). اگر در زمان به عقب برویم، چگالی ماده افزایش می‌یابد. پس ماده باید در زمان‌های اولیه بسیار چگال بوده باشد، به این سناریو، بیگ بنگ سرد گفته می‌شود. با توجه به سناریوی بیگ بنگ سرد، در کیهان اولیه چگالی بسیار بالا بوده است، به طوری که ماده می‌بایست در گازی متشکل از الکترون‌ها و نوکلئون‌ها تشکیل شده باشد. سپس زمانی که چگالی به زیر مقدار مشخصی کاهش یافت، برخی واکنش‌های هسته‌ای اولین هسته‌ها را به وجود آورد. ولی بعدتر، به دلیل انبساط، رقیق شدن ماده به گونه‌ای پیش رفت که واکنش‌های هسته‌ای سرکوب شدند. پس تنها سبک‌ترین هسته‌ها زمان کافی داشتند تا به مقدار قابل توجهی تولید شوند. پس از مرحله‌ی هسته‌زایی، توسط برهمکنش‌های الکترومغناطیسی، ماده در گازی متشکل از هسته‌ها و الکترون‌ها به وجود آمد. زمانی که چگالی باز هم کمتر شد، آن‌ها به اتم‌ها تبدیل شدند (این فاز انتقالی دوم باز ترکیب نام دارد). با گذر زمان ناهمگنی‌های کوچک چگالی توسط برهمکنش‌های گرانشی در این گاز متشکل از اتم‌ها افزایش یافت. اتم‌ها شروع به تجمع و تبدیل شدن به توده‌های اتمی مانند ستارگان و سیارات کردند.

در اواسط قرن ۲۰م تعدادی از فیزیک‌دانان ذرات تلاش کردند که اولین مدل‌ها از هسته‌زایی کیهان را بسازند. آن‌ها در چهار گروه تحقیقاتی جدا به این نتیجه منفی رسیدند: در سناریو بیگ بنگ سرد، هسته‌زایی به درستی کار نمی‌کند؛ زیرا تشکیل هیدروژن شدیداً توسط عناصر سنگین‌تر سرکوب شده است. اما این نتیجه‌گیری با مشاهدات در تضاد است. اختریف یک‌دانان با استفاده از طیف‌سنجی متوجه شده‌اند که مقدار زیادی هیدروژن در ستارگان و ابرهای گازی وجود دارد. آن‌ها همچنین یک راه ممکن برای تطبیق هسته‌زایی با مشاهدات رصدی ارائه کردند. اگر فرض کنیم که در طول هسته‌زایی چگالی انرژی غالب، چگالی انرژی فوتون‌هاست، نرخ این انبساط متفاوت است. این بر سینماتیک واکنش‌های هسته‌ای اثر می‌گذارد، به گونه‌ای که اکسیژن کافی به وجود خواهد آمد. در چنین شرایطی، سناریویی به نام بیگ بنگ داغ توصیف می‌شود؛ به گونه‌ای که پارامتر تابش در زمان‌های اولیه غالب بوده

است (چگالی غالب چگالی تابش بوده است). پیش از هسته‌زایی و پیش از باز ترکیب، طول آزاد میانگین فوتون‌ها بسیار کم بوده است؛ زیرا آن‌ها به طور مداوم در حال برهمکنش بوده‌اند - ابتدا با الکترون‌ها و نوکلئون‌ها سپس با الکترون‌ها و دیگر هسته‌ها. این سناریو یک حالت جسم سیاه را پدید می‌آورد. در هر جسم سیاه، برهمکنش‌های زیاد، فوتون‌ها را در تعادل حرارتی نگه می‌دارد. طیف آن‌ها از یک قانون، که ماکس پلانک در سال ۱۹۰۰ کشف کرد، پیروی می‌کند. هر طیف پلانک به یک دمای خاص و مشخصی مرتبط است. در سناریوی بیگ بنگ داغ، پس از باز ترکیب، فوتون‌ها، به جای الکترون‌ها و هسته‌های باردار، تنها با اتم‌های خنثی مواجه شدند و برهمکنش قابل توجه خود با ماده را متوقف کردند (به جز کسری از آن‌ها که به طور تصادفی با اتم‌ها برهمکنش می‌کنند، اما از آنجایی که ماده رقیق شده است، این پدیده غالب باقی می‌ماند). طول آزاد میانگین فوتون‌ها به بی نهایت میل می‌کند. این باعث حرکت آزادانه‌ی فوتون‌ها از زمان باز ترکیب تا کنون، با حفظ همان طیف انرژی‌ای خود اما با دمایی که به دلیل انبساط کاهش یافته است، می‌شود. طول موج یک تک فوتون متناسب با ضریب مقیاس است، پس فرم کلی طیف پلانک ثابت مانده است اما طول موج کل طیف دارای یک انتقال می‌باشد.

مشکلات بیگ بنگ داغ

سناریوی بیگ بنگ داغ استاندارد، برای کیهان ما که در زمان اولیه تابش غالب بوده است، دارای سه مسئله اساسی است که به مسئله تختی، مسئله افق و مسئله تک قطبی‌ها موسوم است. مسئله تختی را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

"امروزه کیهان تخت است و در گذشته حتی تخت تر بوده است.

منشأ این تختی چیست؟"

مسئله افق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

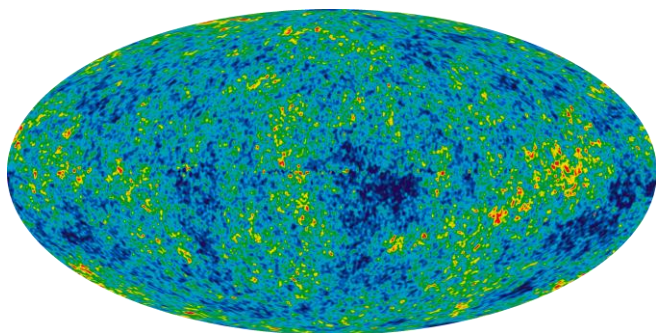
"امروزه کیهان همگن و همسانگرد است (در مقیاس‌های بزرگ) و در گذشته نیز این ویژگی بیشتر هم بوده است. این همگنی و همسانگردی چگونه رخ داده؟"

مسئله تک قطبی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

"چرا بر خلاف پیش‌بینی‌های نظری، شواهد، کیهان امروزی خالی از تک قطبی‌ها نشان می‌دهند؟"

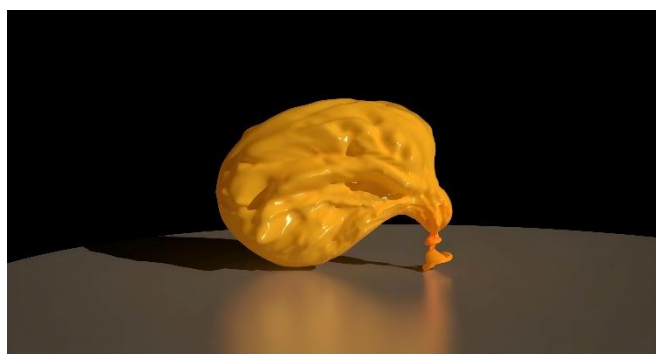
در واقع تئوری پیش‌بینی می‌کند که تک قطبی‌های مغناطیسی در کیهان داغ اولیه به وجود آیند و باعث شوند چگالی بسیار بیشتر از

نشان می‌دهد که دما در نقاط مختلف آسمان، تفاوت‌های بسیار ناچیزی دارد؛ به گونه‌ای که این نوسانات دمایی کمتر از یک ده‌هزارم کلون هستند (شکل ۱).



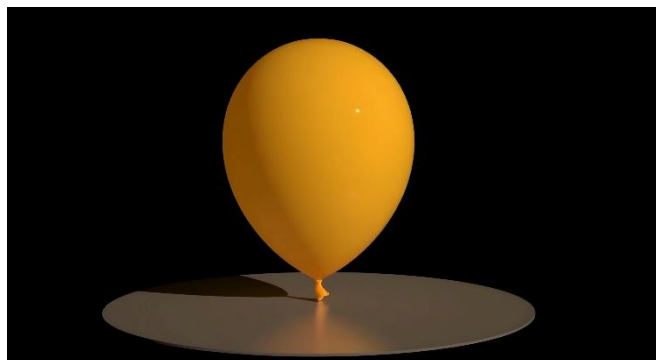
شکل ۱: Cosmic Microwave Background-(CMB)

اما این پرسش مطرح می‌شود که چگونه کیهان اولیه توانسته است تا این حد یکنواخت باشد؟ برای درک بهتر، فرض کنید کیهان در لحظات اولیه بسیار آشفته بوده است؛ به گونه‌ای که در یک نقطه چگالی بسیار بالا و در فاصله‌ای اندک از آن، چگالی بسیار کم بوده است. این وضعیت را می‌توان مانند سطح یک بادکنک تخلیه‌شده تصور کرد (شکل ۲).



شکل ۲: پیش از تورم

این بادکنک ممکن است دارای ضخامت‌های مختلف و چین و چروک‌هایی باشد که به‌طور تصادفی روی سطح آن توزیع شده‌اند. حال تصور کنید این بادکنک در یک بازه زمانی بسیار کوتاه به اندازه‌ای بسیار بزرگ باد شود (شکل ۳).



شکل ۳: پس از تورم

مقدار اندازه‌گیری شده باشد اما تاکنون جستجوها برای تک‌قطبی‌های مغناطیسی بی‌نتیجه مانده است و کیهان خالی از تک‌قطبی‌هاست. راه حل تورم کیهانی این مسئله را اینگونه حل می‌کند: انبساط بسیار زیاد و پرسرعت کیهان باعث شده تا حجم کیهان بسیار افزایش یابد. با ثابت ماندن تعداد تک‌قطبی‌ها و افزایش شدید حجم کیهان، چگالی عددی تک‌قطبی‌ها بسیار پایین آمده و آن‌ها را مشاهده‌ناپذیر کرده است.

تورم کیهانی یک دوره کوتاه مدت، بسیار سریع و نمایی از انبساط کیهان است که به‌طور کلی به توضیح برخی از مشکلات مدل هات بیگ‌بنگ کمک می‌کند.

معرفی نظریه

نظریه تورم کیهانی یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های علمی در زمینه کیهان‌شناسی است که به حل برخی از مشکلات اساسی مدل هات بیگ‌بنگ کمک کرده است. این نظریه برای نخستین بار در دهه ۱۹۸۰ توسط Alan Guth مطرح شد و توانست پاسخ‌هایی برای مشکلاتی چون مسئله افق، مسئله تخت بودن کیهان و تک‌قطبی‌های مغناطیسی ارائه دهد.

تورم کیهانی به این معنی است که در یک دوره کوتاه از زمان، فضا-زمان با سرعتی بسیار بیشتر از سرعت نور منبسط شد. این انبساط سریع که در حدود 10^{-36} تا 10^{-32} ثانیه پس از بیگ‌بنگ رخ داد، باعث شد که کیهان به‌طور ناگهانی با ضریبی در حدود 10^{78} منبسط شده و شرایط لازم برای تشکیل ساختارهای کیهانی به وجود آید. پس از پایان دوره تورم، کیهان وارد مرحله انبساط عادی شد. در این مرحله، سرعت انبساط کاهش یافت و کیهان به‌طور طبیعی به تکامل خود ادامه داد. این تغییرات به ویژه شامل تشکیل ذرات بنیادی، هسته‌ها، اتم‌ها و در نهایت تشکیل کهکشان‌ها و ستارگان بود.

تورم کیهانی، با توضیح این فرآیندها و حل مشکلات بنیادی مدل های بیگ‌بنگ، به یکی از نظریه‌های محوری در کیهان‌شناسی تبدیل شده است.

مسئله افق

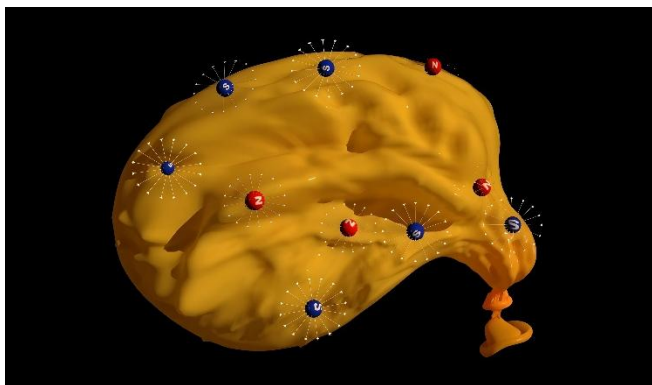
یکی از شواهد مهم در کیهان‌شناسی، یکنواختی و همگنی کیهان در مقیاس‌های بزرگ است. این ویژگی را می‌توان به وضوح در تابش زمینه کیهانی (CMB) مشاهده کرد. کیهان از هر سمت که به آن نگاه کنیم، تقریباً یکسان به نظر می‌رسد. تابش زمینه کیهانی

در واقع تورم هر انحنای اولیه کیهان را تا نزدیکی صافی می‌کشد. ما هنوز نمی‌دانیم که کیهان صد درصد تخت است یا خیر؟ اما اگر انحنایی وجود داشته باشد، آن قدر کوچک است که نمی‌توانیم آن را با فناوری فعلی اندازه‌گیری کنیم.

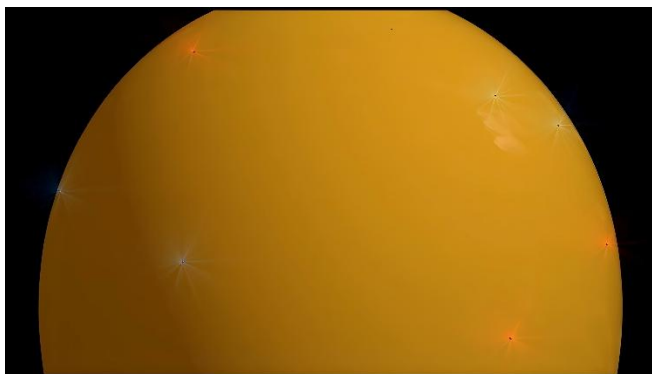
مسئله تک قطبی مغناطیسی

تک قطبی‌ها از لحاظ نظری فقط می‌توانند در دماهای بسیار بالا تشکیل شوند. دماهایی که در لحظات اولیه بیگ‌بنگ وجود داشتند اما پس از تشکیل آنها، برای بقا باید به اندازه کافی پایدار باشند.

ما می‌دانیم که تورم به دلیل انبساط سریع کیهان را به سرعت سرد می‌کرده است؛ پس تنها تک قطبی‌هایی که قبل از تورم ایجاد شده بودند، در کیهان به وجود خود ادامه می‌دادند. تصور کنید که درست قبل از تورم هزار تک قطبی وجود داشته است که همه آنها در یک متر مکعب از فضا جمع شده بودند (شکل ۴). کسری از یک ثانیه بعد از آن، تک قطبی‌ها در منطقه‌ای به وسعت 10^{78} متر مکعب پخش شدند (شکل ۵) و این باعث شده که آنها آن قدر نادر شوند که ممکن است هرگز آنها را پیدا نکنیم.



شکل ۴: پیش از تورم



شکل ۵: پس از تورم

در چنین شرایطی، چین و چروک‌های روی سطح بادکنک به شدت صاف می‌شوند و هرگونه اختلاف چگالی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. این فرآیند شباهت زیادی به اتفاقاتی دارد که در طول تورم کیهانی رخ داده است. در این مرحله، یک حجم بسیار کوچک از کیهان با ضریبی حداقل 10^{78} گسترش یافته است. این انبساط شدید باعث همگن شدن چگالی‌ها و یکنواخت شدن کیهان اولیه شده است.

مسئله تختی

برای بررسی این مسئله، دوباره به مثال بادکنک برمی‌گردیم. تصور کنید که مانند یک مورچه روی سطح یک بادکنک بسیار کوچک زندگی می‌کنید. این یک دنیای دو بعدی برای شما خواهد بود؛ اما اگر این بادکنک به اندازه کافی کوچک بود، ممکن است برای شما واضح باشد که این سطح یک منحنی است (شکل ۳).



شکل ۳: پیش از تورم

با این حال، اگر آن توپ به اندازه زمین منبسط می‌شد، برای شما صاف به نظر می‌رسید. اکنون اندازه مورچه را به اندازه انسان برسانید و بادکنک را حتی از کیهان قابل مشاهده هم بزرگتر کنید. از نظر شما این بادکنک تا جایی که بتوانید ببینید مسطح به نظر می‌رسد (شکل ۴) با اینکه شاید در ابتدا به وضوح منحنی بوده باشد.



شکل ۴: پس از تورم

پژوهش‌های اخیر در زمینه تورم کیهانی

در سال‌های اخیر، پروژه‌های زیادی برای بررسی کیهان اولیه تدارک دیده شده است که از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به BICEP3 اشاره کرد که برای بررسی قطبش‌های CMB در نظر گرفته شده است.

قطبش‌ها در CMB

قطبش تابش پس زمینه کیهانی (CMB) به تغییرات در جهت نور پراکنده شده در فضا اشاره دارد. این تغییرات معمولاً به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری ماده و انرژی در کیهان اولیه به وجود می‌آید. بررسی قطبش‌های CMB می‌تواند اطلاعات زیادی درباره‌ی تاریخچه و ساختار کیهان اولیه و همچنین مدل‌های کیهان‌شناسی اولیه به ما بدهد.

انواع قطبش‌های CMB

CMB دارای دو نوع اصلی قطبش است که در اینجا آن‌ها را شرح می‌دهیم

قطبش E-mode (قطبش الکترواستاتیکی): این نوع قطبش، اصلی‌ترین و اولین قطبش شناخته شده در تابش CMB است. ویژگی‌ها:

۱. الگوی ستاره‌ای: قطبش E-mode، یک الگوی دایره‌ای یا ستاره‌ای است که به صورت شعاعی یا محیطی پراکنده می‌شود.
۲. این نوع قطبش به طور اصلی از نوسانات و تغییرات در چگالی ماده در کیهان اولیه نشأت می‌گیرد.

علت ایجاد قطبش E-mode: این نوع قطبش بیشتر به دلیل تأثیرات گرانشی و نوسانات اولیه در مواد و انرژی کیهان در دوران اولیه تولید می‌شود. به عبارتی، اثرات فیزیکی مثل حرکت و برخورد ذرات و گازهای موجود در کیهان، باعث تولید قطبش E-mode می‌شود.

اهمیت علمی: قطبش E-mode به طور گسترده به عنوان یک نشانه از وجود نوسانات اولیه ماده در کیهان محسوب می‌شود. شواهد زیادی از قطبش E-mode در داده‌های CMB کشف شده است.

قطبش B-mode (قطبش گرانشی):

یکی از مهم‌ترین سیگنال‌های مورد بررسی در فیزیک کیهان‌شناسی است که می‌تواند شواهدی از تورم کیهانی ارائه دهد.

ویژگی‌ها:

۱. الگوی چرخشی (دورانی): این نوع قطبش، الگوی پیچشی یا چرخشی دارد و کاملاً متفاوت از الگوی دایره‌ای قطبش E-mode است.

علت ایجاد قطبش B-mode:

قطبش B-mode می‌تواند ناشی از دو عامل باشد:

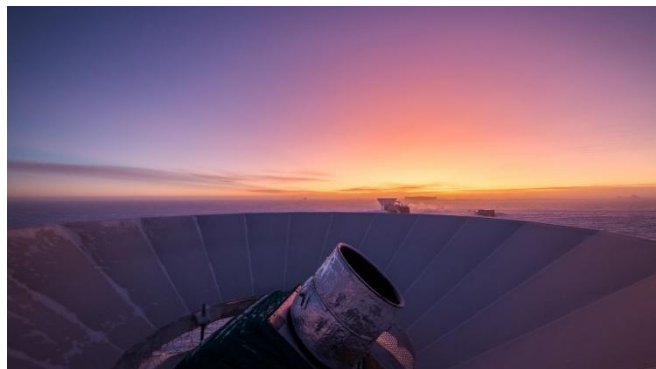
۱. امواج گرانشی/اولیه: این امواج در نتیجه تورم کیهانی (مرحله انبساط بسیار سریع در ابتدای کیهان) ایجاد می‌شوند. این امواج می‌توانند به تغییرات در قطبش نور تابش CMB منجر شوند و الگوی B-mode را ایجاد کنند.

۲. عدسی گرانشی: این پدیده به خم شدن مسیر نور در اثر جاذبه اجرام سنگین (مثل کهکشان‌ها) اشاره دارد که می‌تواند باعث ایجاد قطبش B-mode شود.

اهمیت علمی: کشف قطبش B-mode ناشی از امواج گرانشی اولیه می‌تواند شواهدی قوی از تورم کیهانی ارائه دهد و به طور مستقیم به آزمایش مدل‌های اولیه کیهان‌شناسی کمک کند. همچنین، اندازه‌گیری دقیق B-mode می‌تواند به محققان کمک کند تا مقدار r (که نسبت توان امواج گرانشی به چگالی نوسانات اسکالر است) را دقیق‌تر محدود کنند.

پروژه BICEP3

پروژه BICEP3 (شکل ۵) به طور خاص برای بررسی قطبش نوع B در تابش پس زمینه کیهانی طراحی شده است. این قطبش می‌تواند نشان دهنده وجود امواج گرانشی اولیه‌ای باشد که در اثر تورم کیهانی در مراحل ابتدایی شکل‌گیری کیهان ایجاد شده‌اند.



شکل ۵: BICEP3

این پروژه در قطب جنوب مستقر است؛ زیرا این منطقه به دلیل جو بسیار پایدار و خشک خود، یکی از بهترین مکان‌ها برای مشاهده دقیق CMB است. در ادامه به شرح جزئیات این پروژه می‌پردازیم:

محدود به کمتر از ۰.۰۳۶ (در سطح اطمینان ۹۵٪) شده است. این مقدار به رد برخی از مدل‌های تورمی کمک کرده است.

منابع

1. Ryden, B. (2017). Introduction to Cosmology (2nd ed.). The Ohio State University
2. Steven Weinberg, Cosmology, Oxford University Press, USA, 2008
3. An overview of Cosmology by Julien Lesgourgues: [link](#)
4. Cosmic Inflation: The Solution to the Big Bang Theory: [link](#)
5. BICEP3 Project: [link](#)

BICEP3 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization 3rd generation)

BICEP3 نسخه سوم و به روزتر پروژه‌های تلسکوپ‌های سری BICEP است. این تلسکوپ برای آشکارسازی قطبش B-mode در تابش پس زمینه کیهانی (CMB) طراحی شده و عمدتاً در فرکانس ۹۵ گیگاهرتز کار می‌کند.

ویژگی‌ها و اهداف علمی

۱. حساسیت بسیار بالا BICEP3 با داشتن ۲۵۶۰ آشکارساز در ارتقا (۲۰۱۵-۲۰۱۶) نسبت به نسخه قبلی خود (BICEP2) که تنها ۵۱۲ آشکارساز داشت) حساسیت بیشتری ارائه می‌دهد. این تلسکوپ در بازه فرکانسی ۹۵ تا ۲۷۰ گیگاهرتز فعالیت می‌کند. این پیشرفت چشمگیر در دقت اندازه‌گیری‌ها و کاهش نویز بسیار موثر است.

۲. مطالعه امواج گرانشی نخستین: هدف اصلی این پروژه، کاهش خطای اندازه‌گیری مقدار r است. این پارامتر، نشان‌دهنده نسبت توان امواج گرانشی به توان نوسانات اسکالر است که یکی از پارامترهای کلیدی برای تایید مدل‌های تورمی محسوب می‌شود.

۳. افزایش سرعت نقشه برداری: استفاده از اپتیک $f/1.7$ و دیافراگم بزرگ‌تر باعث دو برابر شدن سرعت نقشه‌برداری ترکیبی در مقایسه با نسخه‌های پیشین شده است.

مکان و تجهیزات

۱. موقعیت: این تلسکوپ در ایستگاه Amundsen-Scott در قطب جنوب نصب شده است.

۲. ویژگی‌های طراحی BICEP3: یک شکست‌دهنده سرمایشی میدان‌باز با دهانه ۵۵ سانتی‌متر است که به دلیل اپتیک سریع خود، ظرفیت عبور نور را نسبت به نسخه‌های قبلی افزایش داده است. همچنین، این دستگاه نمونه اولیه برای چهار گیرنده مشابه است که در آینده جایگزین Keck Array می‌شوند و بیش از ۳۰,۰۰۰ آشکارساز در پنج باند فرکانسی خواهند داشت.

نتایج

۱. رصدهای اولیه: تاکنون شواهد قطعی از قطبش B-mode اولیه کشف نشده است.

۲. داده‌های ترکیبی: داده‌های علمی با استفاده از این تلسکوپ و سایر ابزارها بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ منتشر شده‌اند. مقدار r



مقدمه‌ای بر سیستم‌های باز کوانتومی

امیر احمدی

مخلوط نمایانگر یک ترکیب احتمالی از حالت‌های کوانتومی مختلف است که معمولاً به دلیل برهمکنش با محیط به وجود می‌آید.

فرض کنید یک کیوبیت (مثل اسپین الکترون) داریم که با احتمال ۵۰٪ در حالت $|\uparrow\rangle$ (اسپین بالا) و با احتمال ۵۰٪ در حالت $|\downarrow\rangle$ (اسپین پایین) است. این یک حالت مخلوط است و سوپروپوزیشن نیست. ماتریس چگالی آن به صورت زیر خواهد بود:

$$\rho = \frac{1}{2}|\uparrow\rangle\langle\uparrow| + \frac{1}{2}|\downarrow\rangle\langle\downarrow|$$

از ماتریس چگالی برای سیستم‌های باز مثل کیوبیت‌های در معرض نویز استفاده می‌شود تا اثرات محیط مثل دکوهرانس را مدل کنیم.

۵. سوپروپوزیشن: ابرپوزیشن کوانتومی حالتی است که در آن یک سیستم کوانتومی می‌تواند همزمان در ترکیب خطی چند حالت متفاوت وجود داشته باشد تا زمانی که اندازه‌گیری انجام شود و سیستم به یکی از حالت‌های ویژه فروکاهد.

ابزار ریاضیاتی

۱. تصویر تعامل: در نظریه سیستم‌های باز، معمولاً از تصویر تعامل برای جداسازی دینامیک‌های سیستم و محیط استفاده می‌شود. این کمک می‌کند تا معادلات توصیف‌کننده تکامل سیستم ساده‌تر شوند.

۲. تقریب بورن-مارکوف: یکی از ساده‌سازی‌های رایج این است که فرض شود تعامل سیستم و محیط ضعیف است (تقریب بورن) و محیط هیچ حافظه‌ای ندارد (تقریب مارکوف). این منجر به استنتاج معادله اصلی لینبلاد می‌شود.

۳. زمان دکوهرانس: زمان دکوهرانس به مقیاس زمانی اطلاق می‌شود که طی آن یک سیستم کوانتومی به دلیل برهمکنش با محیط خود، انسجام کوانتومی خود را از دست می‌دهد. زمان‌های دکوهرانس کوتاه یکی از بزرگترین چالش‌ها در رایانه‌های کوانتومی به شمار می‌روند.

چرا زمان دکوهرانس کوتاه یک چالش بزرگ در رایانه‌های کوانتومی است؟

از دست رفتن اطلاعات کوانتومی

کیوبیت‌ها برای انجام محاسبات نیاز دارند تا در حالت‌های سوپروپوزیشن و درهم‌تنیدگی باقی بمانند.

در مکانیک کوانتومی، دانشمندان معمولاً ذرات یا سیستم‌ها را به صورت ایزوله و جدا از دنیای بیرون بررسی می‌کنند تا محاسبات ساده‌تر شوند؛ اما در واقعیت، هیچ سیستمی کاملاً جدا نیست و همیشه با محیط اطراف (مثل هوا و دما و نویزهای خارجی) در ارتباط است. این برهمکنش باعث پیچیدگی بیشتر می‌شود. یک سیستم کوانتومی باز به سیستمی اطلاق می‌شود که با یک محیط خارجی برهمکنش می‌کند که موجب از دست رفتن انسجام و انرژی در طول زمان می‌شود. این برهمکنش باعث پدیده‌ای به نام «دکوهرانس» می‌شود که در آن ابرپوزیشن‌های کوانتومی از بین می‌روند و رفتار کلاسیکی پدیدار می‌شود. درک سیستم‌های باز کوانتومی برای حوزه‌هایی مانند رایانه کوانتومی، ارتباطات کوانتومی و فیزیک ماده چگال اهمیت دارد.

مفاهیم پایه

۱. سیستم و محیط: یک سیستم کوانتومی به جسم مورد مطالعه اطلاق می‌شود (مانند الکترون در یک چاه پتانسیل)، در حالی که محیط شامل همه چیزهایی است که با سیستم برهمکنش می‌کند (مثل ذرات دیگر، میدان‌ها یا محیط اطراف).

۲. دکوهرانس و اتلاف: دکوهرانس زمانی رخ می‌دهد که سیستم به دلیل برهمکنش با محیط خود، انسجام کوانتومی خود را از دست می‌دهد و اثرهای تداخل کوانتومی کمتر قابل مشاهده می‌شوند.

اتلاف به فرآیندی اطلاق می‌شود که سیستم با محیط خود انرژی مبادله می‌کند و باعث از دست رفتن انرژی به صورت برگشت‌ناپذیر می‌شود.

۳. معادله اصلی کوانتومی: دینامیک‌های یک سیستم باز کوانتومی، معمولاً توسط یک معادله اصلی توصیف می‌شوند. رایج‌ترین شکل این معادله، معادله لینبلاد است که هم تکامل واحد سیستم و هم اثرات غیرواحد ناشی از محیط را در بر می‌گیرد. شکل عمومی آن به صورت زیر است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar}[H, \rho] + L(\rho)$$

که در آن ρ ماتریس چگالی سیستم است، H همیلتونی سیستم است و L سوپر اپراتور لینبلاد است که اتلاف و دکوهرانس را در بر می‌گیرد.

۴. ماتریس چگالی: برخلاف حالت‌های خالص (که توسط تابع موج توصیف می‌شوند)، سیستم‌های باز با ماتریس‌های چگالی توصیف می‌شوند که حالت‌های مخلوط را در نظر می‌گیرند. یک حالت

مفاهیم کلیدی: سیستم باز، دکوهرانس، اتلاف، ماتریس چگالی، معادله لینبلاد، رایانه کوانتومی و ترمودینامیک کوانتومی

منابع

1. Breuer, H.-P., & Petruccione, F. (2002). The theory of open quantum systems. Oxford University Press.
2. Barnett, S. M. (2009). Quantum information. Oxford University Press.
3. Le Bellac, D. (2020). An introduction to quantum information. Springer.
4. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). Quantum computation and quantum information (10th anniversary ed.). Cambridge University Press.
5. Ballentine, L. E. (1998). Quantum mechanics: A modern development. World Scientific Publishing.

اگر دکوهرانس سریع رخ دهد، کیوبیت‌ها^۱ قبل از تکمیل محاسبات، خاصیت کوانتومی خود را از دست می‌دهند و اطلاعات خراب می‌شود.

نیاز به تصحیح خطا

برای جبران دکوهرانس، باید از کدهای تصحیح خطای کوانتومی استفاده کرد که خود به کیوبیت‌های اضافی نیاز دارد. اگر زمان دکوهرانس خیلی کوتاه باشد، حتی این روش‌ها هم ممکن است کارآمد نباشند.

محدودیت‌های فنی

برای افزایش زمان دکوهرانس، باید سیستم را در دمای نزدیک به صفر مطلق نگه داشت یا از محافظ‌های پیچیده ضد نویز استفاده کرد که هزینه و پیچیدگی فنی را افزایش می‌دهد. مثال: فرض کنید یک کیوبیت فقط ۱۰ میکروثانیه انسجام خود را حفظ کند، اما الگوریتم کوانتومی شما ۱۰۰ میکروثانیه زمان نیاز دارد. در این صورت، محاسبه قبل از تکمیل خراب می‌شود! راه‌حل‌های ممکن: استفاده از مواد با زمان دکوهرانس طولانی‌تر.

پیامدهای عملی

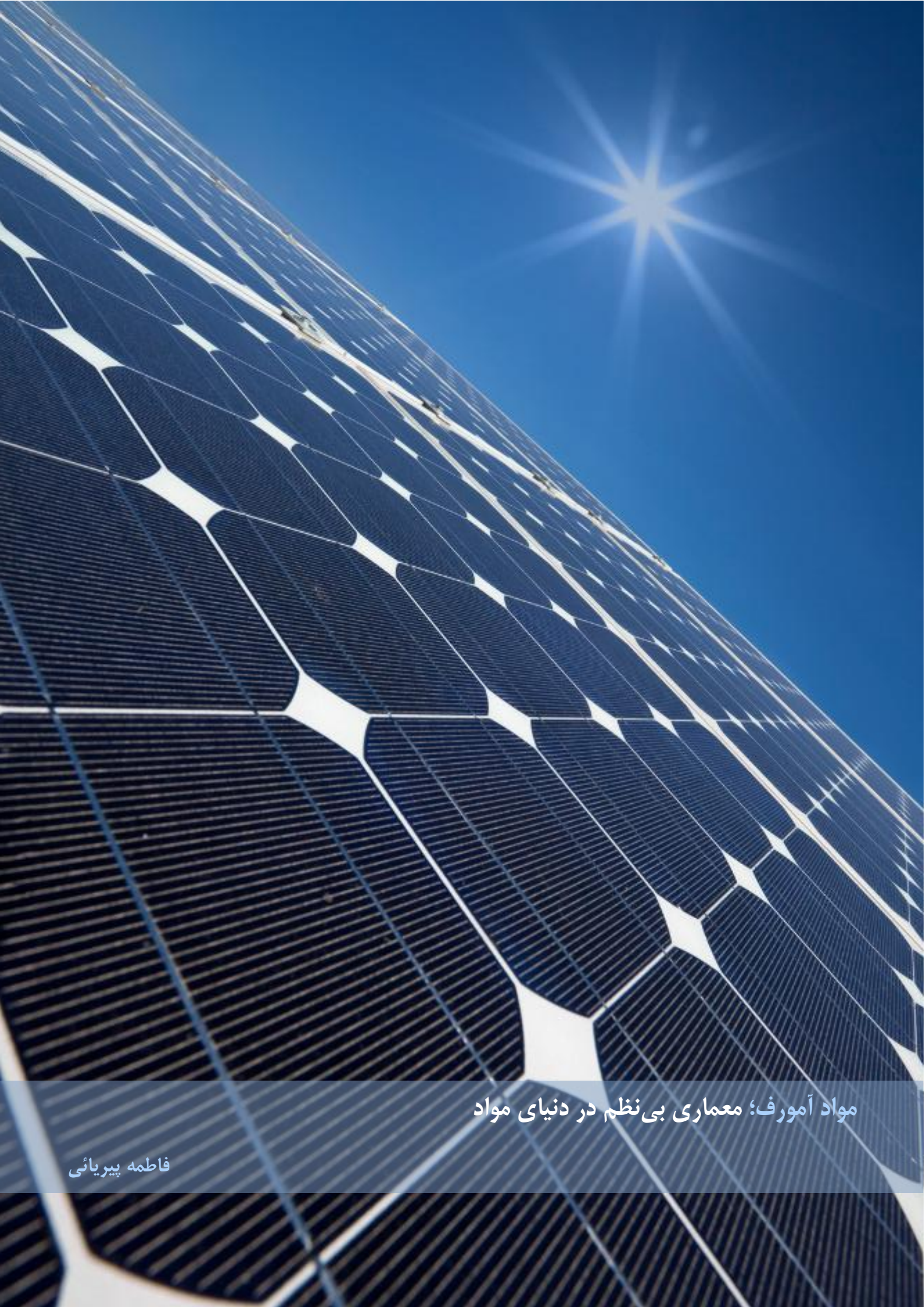
۱. رایانه‌های کوانتومی: دکوهرانس یکی از بزرگترین موانع در حفظ اطلاعات کوانتومی است. رایانه‌های کوانتومی برای حفظ وضعیت‌های کوانتومی نیاز دارند که از نویز محیطی جدا باشند.

۲. ترمودینامیک کوانتومی: سیستم‌های باز در درک جریان انرژی و اطلاعات در ماشین‌های کوانتومی نقش اساسی دارند و کمک می‌کنند تا شکاف بین مکانیک کوانتومی و ترمودینامیک کلاسیک پر شود.

نتیجه‌گیری

در نهایت، سیستم‌های باز کوانتومی چارچوبی برای درک برهمکنش سیستم‌های کوانتومی با محیط‌هایشان فراهم می‌کنند و فرایندهای بنیادی مانند دکوهرانس و اتلاف را روشن می‌سازند. این مفاهیم برای توسعه فناوری‌های کوانتومی، شامل رایانه‌ها و ارتباطات کوانتومی، ضروری هستند و چالش‌ها و فرصت‌هایی را در حوزه‌های مختلف مانند فیزیک کوانتومی و مهندسی کوانتومی فراهم می‌آورند.

^۱ یک کیوبیت (یا سیستم کیوبیت‌ها) به لطف سوپریوزیشن و درهم‌تنیدگی می‌تواند همزمان روی تعداد زیادی حالت ممکن محاسبات را انجام دهد، در حالی که یک کامپیوتر کلاسیک باید این حالت‌ها را یکی‌یکی بررسی کند.



مواد آمورف؛ معماری بی‌نظم در دنیای مواد

فاطمه پیریائی

در دنیای شگفت‌انگیز مواد، جامدات به طور معمول با ساختارهای اتمی منظم و تکرارشونده، موسوم به ساختار بلوری، شناخته می‌شوند. این نظم دقیق، خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی را برای این مواد به ارمغان می‌آورد. با این حال، دسته‌ای دیگر از جامدات وجود دارند که از این قاعده مستثنی بوده و ساختاری بی‌نظم و غیربلوری از خود نشان می‌دهند: جامدهای آمورف.

واژه "آمورف" ریشه در زبان یونانی داشته و به معنای "بدون شکل" است. این نام‌گذاری به خوبی ماهیت این مواد را به تصویر می‌کشد؛ جایی که اتم‌ها و مولکول‌ها بدون هیچ الگوی بلندبرد منظمی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. در واقع، ساختار جامدهای آمورف بیشتر شبیه به مایعات فوق‌سرد شده است که در آن حرکت مولکولی به شدت کند شده و ماده حالت جامد به خود گرفته است، اما آرایش بی‌نظم ذرات حفظ شده است.

جامدات بی‌شکل، غیربلوری هستند و فاقد نظم تناوبی بلندبرد در آرایش اتم‌های تشکیل‌دهنده می‌باشند. همهٔ مواد را می‌توان با جلوگیری از تبلورشان به صورت آمورف درآورد، به این صورت که باید سرعت سرمایش برای تبدیل فاز مایع به جامد به قدری بالا باشد که اتم‌ها فرصت حرکت و چیده شدن به صورت بلوری در کنار یکدیگر را نداشته باشند. از شیشه‌ها می‌توان به عنوان نمونه‌ی مناسبی در این زمینه اشاره کرد. در مواد بلوری به هنگام گرم کردن جامد مستقیماً به فاز مایع تبدیل می‌شود، اما در مواد آمورف، در میانه گرمایش، ابتدا جامد ترد تبدیل به جامد نرم می‌شود و سپس با ادامه گرمایش ذوب رخ می‌دهد. دمایی که در آن جامد ترد به نرم تبدیل می‌شود را دمای گذار شیشه‌ای می‌نامند. البته منظور این نیست که مواد بی‌شکل به طور کامل در مقیاس اتمی بی‌نظم هستند بلکه می‌توانند به صورت محلی دارای نظم کوتاه‌برد باشند.

بطور مثال، بیشتر فلزات دارای ساختار بلوری هستند و فلزات بلوری در سه بعد تکرار می‌شوند؛ اما برای فلزات آمورف ساختار اتفاقی است. گرما دادن به فلز آمورف باعث ایجاد ساختار بلوری در این مواد می‌شود. فلزات آمورف به میزان زیادی ضدزنگ، غیرمغناطیسی و از فلزات متعارف قوی‌تر هستند و این فلزات استحکامی سه برابر فولاد با وزن یکسان دارند. فولادهای آمورف می‌توانند به عنوان یک مادهٔ سبک با پلاستیک‌ها و کامپوزیت‌ها در زمینه‌های حمل و نقل و الکتریسته رقابت کنند.

مشکل این مواد (فلزات آمورف) ترد بودن آن‌ها است و در صورت اعمال شوک مانند شیشه می‌شکنند.

جامدات بی‌شکل به دلیل فقدان نظم و تناوب بلندبرد در شبکه، دارای ویژگی‌های خاصی هستند که در مواد بلوری دیده نمی‌شود. در بلور کامل، اتم‌ها به طور تناوبی و نامتناهی در یک فضای سه بعدی تکرار می‌شوند و به عبارت بهتر نظم بلندبرد داشته و تابع موج الکترونی در آن‌ها تابع موج بلاخ می‌باشد؛ در حالیکه در جامدات بی‌شکل تابع موج بلاخ دیگر معتبر نیست.

در فیزیک ماده چگال، قضیهٔ بلاخ بیان می‌کند که جواب‌های معادله شرودینگر در یک پتانسیل تناوبی به شکل موج تخت است که توسط تابع متناوب مدوله می‌شود. به بیان ریاضی داریم

$$\varphi(\mathbf{r}) = e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}}u(\mathbf{r})$$

که $\mathbf{r}$ موقعیت است، φ تابع موج است، u تابع متناوب با همان تناوب بلور است و $\mathbf{k}$ بردار موج بردار تکانه بلور است.

انواع بی‌نظمی در یک دسته‌بندی عمومی

(الف) بی‌نظمی همگن، (ب) بی‌نظمی ناهمگن

بی‌نظمی همگن هنگامی رخ می‌دهد که تمام منطقه‌های با تعداد زیاد اتم یا مولکول دارای میانگین یکسان خواص کپه‌ای از جمله چگالی، سرعت صوت، گرمای ویژه، رسانندگی گرمایی یا الکتریکی و ... باشند. ساده‌ترین مثال بی‌نظمی همگن، بی‌نظمی‌ای است که در یک شبکه تناوبی ایجاد می‌شود. این دسته از بی‌نظمی ذاتاً دارای نظم هندسی هستند؛ چرا که می‌توان یک مکان‌های شبکه‌ای را با استفاده از بردارهای انتقال مناسب و خوش تعریف مشخص ساخت. یعنی بی‌نظمی در نوع اتم یا مولکولی که در یک مکان خاص موجود است، ایجاد می‌شود. اتم‌ها و مولکول‌ها بر روی یک شبکه منظم قرار می‌گیرند؛ اما در نوع اتم واقع در هر مکان شبکه‌ای قطعیتی وجود ندارد. بی‌نظمی همگن بر روی یک شبکهٔ تناوبی گاهی بی‌نظمی جایگزینی یا بی‌نظمی سلولی نیز نامیده می‌شود. هالیدهای قلیایی، نیم‌رساناهای III-V و ... مثال‌هایی از بی‌نظمی همگن می‌باشند.

گروه دیگری از بی‌نظمی همگن، بی‌نظمی است که جامد دارای نظم تناوبی بلندبرد نیست. این جامدات که جامدات آمورف گروه اصلی آن‌ها را تشکیل می‌دهد، دارای بی‌نظمی هندسی ذاتی

معرفی برخی روش‌های فیزیکی و شیمیایی تهیه مواد

بی‌شکل

فرونشانی مذاب: یکی از قدیمی‌ترین روش برای تولید یک جامد بی‌شکل، سرمایش سریع ماده مذاب است. مواد بی‌شکلی که در این روش تولید می‌شوند، (اگر از خود گذار شیشه‌ای نشان دهند)، شیشه نامیده می‌شوند. این روش به دلیل سادگی، عدم نیاز به سامانه‌های پیچیده و همچنین حفظ استوکیومتری (تناسب عنصری) تا حد بالایی، از متداول‌ترین روش‌های تهیه مواد آمورف می‌باشد.

تبخیر گرمایی: از این روش که ساده‌ترین روش نیز به شمار می‌رود، به طور گسترده در تولید لایه‌ای نازک بی‌شکل استفاده می‌شود و جامدهای بی‌شکل به وسیله رسوب‌گذاری از فاز بخار تولید می‌شوند.

کندوپاش: فرآیند کندوپاش اگرچه پیچیده‌تر از تبخیر گرمایی است، اما از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است. ساده‌ترین راه کندوپاش اعمال یک ولتاژ منفی بالا به سطح هدف است، که در آنجا موجب جذب یون‌های مثبت از پلاسما و بمباران سطح هدف می‌گردد.

لایه‌نشانی بخار شیمیایی: روش رسوب‌گذاری بخار شیمیایی مشابه روش تخلیه تابان است و هر دو تجزیه یک گونه بخار وابسته است. تفاوت آن، این است که فرآیند لایه‌نشانی بخار شیمیایی به انرژی گرمایی وابسته است.

ویژگی‌های منحصربه‌فرد جامدهای آمورف

عدم وجود ساختار بلوری منظم، مجموعه‌ای از ویژگی‌های متمایز را در جامدهای آمورف ایجاد می‌کند:

نقطه ذوب غیرمشخص: برخلاف جامدهای بلوری که در دمای مشخصی ذوب می‌شوند، جامدهای آمورف در یک محدوده دمایی نرم شده و به تدریج به حالت مایع تبدیل می‌شوند. این رفتار ناشی از عدم وجود انرژی پیوندی یکسان در سراسر ساختار آن‌ها است.

خواص همسانگردی: از آنجایی که هیچ جهت ترجیحی در آرایش اتمی جامدهای آمورف وجود ندارد، خواص فیزیکی آن‌ها مانند ضریب شکست نور، هدایت حرارتی و الکتریکی در تمام جهات یکسان است.

هستند؛ اما بر روی یک مقیاس ماکروسکوپی همگن باقی می‌مانند. اگرچه نظم بلندبرد تناوبی نیست، اما تمامی جامدات در این گروه دارای ترتیب اتمی محلی می‌باشند که تا حدی منظم است (نظم کوتاه برد). برای چنین جامدهایی نظم در ترتیب محلی اتم‌ها با فاصله گرفتن از یک مکان شبکه‌ای به سرعت محو می‌شود.

بی‌نظمی ناهمگن از بی‌نظمی همگن پیچیده‌تر است. در این جامدات، خواص میانگین از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. در مقایسه با جامدات بی‌نظم همگن، می‌توان جامدات بی‌نظم ناهمگن را در دو گروه در نظر گرفت، یکی در ابتدا به صورت هندسی منظم و دیگری از ابتدا نامنظم. مثال‌هایی از گروه اول، جامدهای چندبلوری، بلورهای با فازهای مجزا می‌باشند؛ مثال‌های گروه دوم، شیشه‌ها و سرامیک چندفازی هستند. لایه‌های نازک سیلیکون نانو بلورین و میکرو بلورین معمولاً ترکیبی از این دو است.

بنابراین، می‌توان بحث انواع بی‌نظمی را در محدوده بی‌نظمی همگن به صورت زیر خلاصه نمود:

الف) بی‌نظمی توپولوژیکی (هندسی): در این نوع از بی‌نظمی، تناوب انتقالی وجود ندارد. مواد بی‌شکل واقعی دارای این نوع بی‌نظمی هستند، در حالی که ممکن است نظم کوتاه‌برد (موضعی) قابل توجهی داشته باشند.

ب) بی‌نظمی اسپینی (مغناطیسی): در این بی‌نظمی، شبکه بنیادی بلوری حفظ می‌شود؛ اما هر مکان شبکه‌ای دارای یک گشتاور مغناطیسی یا اسپینی است که دارای جهت‌گیری اتفاقی است. این حالت در برخی از آلیاژهای مغناطیسی رقیق مانند Cu-Mn و Au-Fe با مؤلفه مغناطیسی از ۰.۱ تا ۱۰ درصد مولی رخ می‌دهد. موادی که دارای بی‌نظمی هندسی و جهت‌گیری اسپینی تصادفی هستند، شیشه‌های اسپینی نامیده می‌شوند.

ج) بی‌نظمی جایگزینی: در این بی‌نظمی، نیز شبکه بنیادی حفظ می‌شود و در واقع اتم‌های گوناگون در شبکه توزیع و جایگزین برخی اتم‌های شبکه میزبان می‌شوند.

د) بی‌نظمی ارتعاشی: در این بی‌نظمی مفهوم بلور کامل فقط در دمای صفر مطلق معتبر است (اگر از حرکت نقطه صفر صرف نظر شود) و در هر دمای مشخص تحرک اتفاقی اتم‌ها حول نقطه تعادل‌شان، تناوبی بودن کامل آن‌ها را برهم می‌زند.

کاربردهای الکتروشیمیایی

حسگرهای الکتروشیمیایی: یکی از کاربردهای شایع مواد بی‌شکل در الکتروشیمی، استفاده از جامد بی‌شکل به عنوان الکترود جهت نمایش حرکت و فعالیت یون‌ها در محلول‌های یونی است.

باتری‌های حالت جامد: قابلیت ارائه کاربردهای مفید مواد بی‌شکل در ذخیره انرژی (باتری‌ها) قابل توجه بوده و موجب استفاده وسیع این مواد در الکترولیت‌های بی‌شکل در حالت لایه‌نازک گردیده است. یکی از موارد استفاده باتری‌های جامد در ابزار میکروالکترونیکی در شرایط دمایی بالا است.

کاربردهای نوری

در سال‌های اخیر، از الیاف نوری در مخابرات استفاده می‌شود. می‌توان در ناحیه فعال این الیاف از جامدات بی‌شکل استفاده نمود. از دیگر موارد کاربرد، می‌توان دیودهای نور گسیل، لیزر، حافظه های نوری و کلیدزن‌های نوری را نام برد.

مواد دارویی: برخی داروها به شکل آمورف فرموله می‌شوند تا حلالیت و جذب آن‌ها در بدن افزایش یابد.

منابع

1. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley
2. Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2019). *Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design* (5th ed.). Butterworth-Heinemann
3. Elliott, S. R. (1990). *Physics of Amorphous Materials* (2nd ed.). Longman Scientific & Technical.
4. *Journal of Non-Crystalline Solids* (Elsevier).

شفافیت: بسیاری از جامدهای آمورف، مانند شیشه‌ها، شفاف هستند؛ زیرا ساختار بی‌نظم آن‌ها از پراکندگی نور به اندازه ساختارهای بلوری جلوگیری می‌کند.

شکندگی: در حالی که برخی جامدهای آمورف مانند پلیمرها می‌توانند انعطاف‌پذیر باشند، بسیاری دیگر مانند شیشه‌های سیلیکاتی به دلیل عدم وجود صفحات لغزش در ساختارشان، شکننده هستند.

چگالی کمتر نسبت به فاز بلوری: در برخی موارد، چگالی جامدهای آمورف به دلیل فضای خالی بیشتر در ساختار بی‌نظم آن‌ها، کمتر از فاز بلوری همان ماده است.

کاربردهای مواد آمورف در حوزه های مختلف علوم به صورت ذیل است.

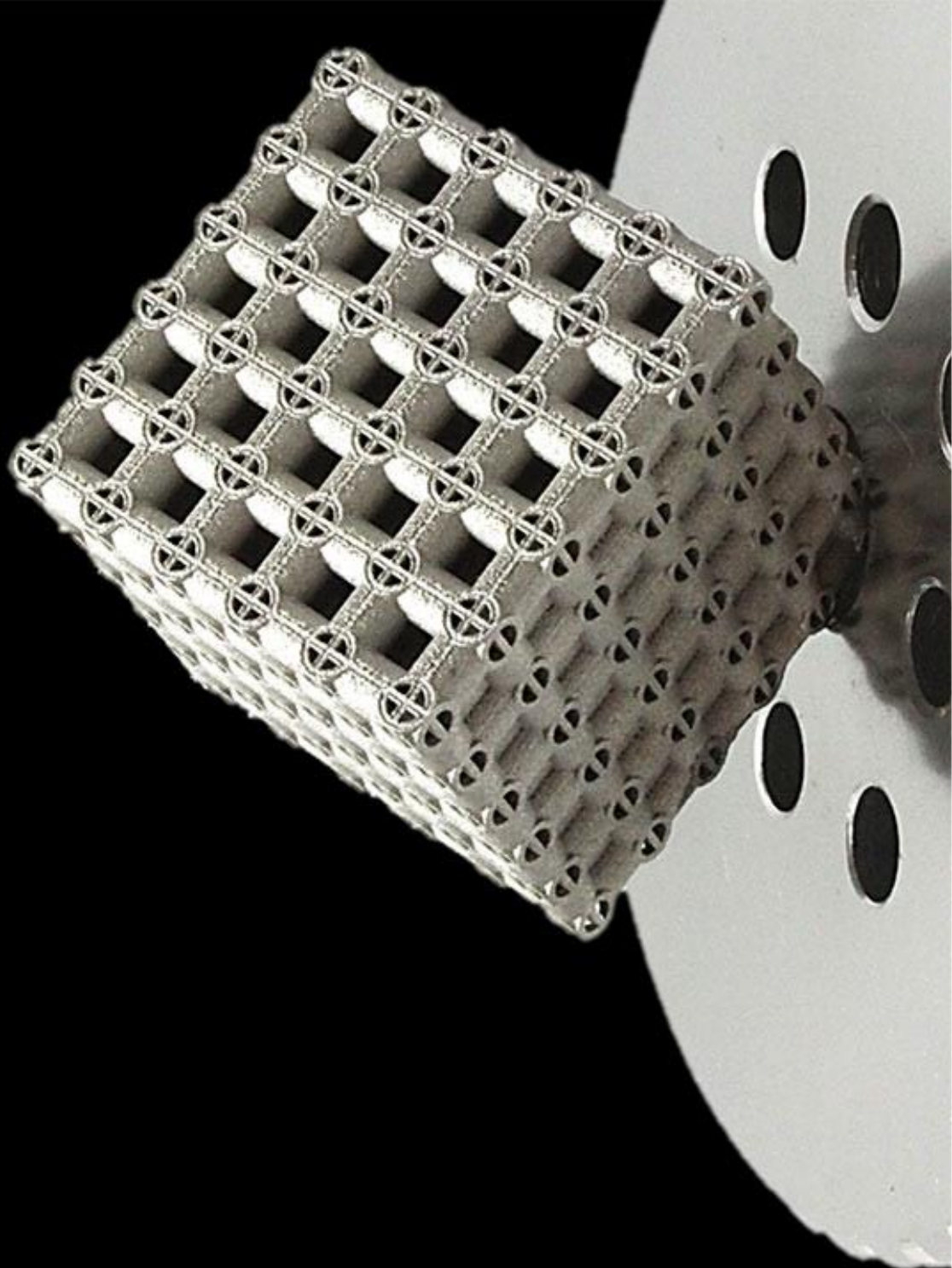
کاربردهای الکترونیکی

ساخت وسایل کلیدزنی: یکی از مهمترین کاربردهای نیم‌رساناهای آمورف در ساخت وسایل کلیدزنی است، که در میدان‌های الکتریکی قوی می‌توانند از حالت مقاومت بالا (رسانش الکتریکی کم) به حالتی که مقاومت بسیار پایین است، تغییر ساختار دهند.

سلول‌های خورشیدی: شاید مهم‌ترین توسعه فناوری و مهم‌ترین کاربرد نیم‌رساناهای بی‌شکل در تبدیل مستقیم نور خورشید به انرژی الکتریکی باشد. در سال ۱۹۸۰ هنری نشان داد که می‌توان از نیم‌رساناهایی با شکاف ۱.۳۵ الکترون ولت جهت تبدیل مستقیم نور خورشید به انرژی الکتریکی با بازده قابل قبول استفاده نمود.

الکتروفتوگرافی: یکی از کاربردهای بسیار شایع نیم‌رساناهای بی‌شکل در الکتروفتوگرافی یا زیروگرافی (این نام از ریشه یونانی به معنی خشک‌نویسی گرفته شده) در ماشین‌های نسخه‌برداری است. مواد مورد استفاده در این زمینه در ابتدا لایه‌های نازک بوده که اخیراً لایه‌های ضخیم‌تر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ترانزیستورهای لایه نازک: سیلیکون بی‌شکل هیدروژنه (a-Si:H) در ساخت سلول‌های خورشیدی لایه نازک و ترانزیستورهای لایه نازک (TFTs) مورد استفاده قرار می‌گیرد.



فرامواد؛ ابزار فیزیک برای بازتعریف ماده و نور

سیده صبا نورانی

مقدمه

پیشوند meta در کلمه metamaterial در زبان یونانی به معنای "فراتر" از ماده است؛ بنابراین متامتریال یا فرامواد خواصی فراتر از مواد طبیعی دارند. در ۱۰ سال گذشته در مجامع علمی، علاقه‌مندی به فرامواد افزایش یافته است. با این حال، فرامواد گاهی اوقات به عنوان مواد چپ دست یا مواد با ضریب شکست منفی توسط بسیاری از افراد از جمله محققان در نظر گرفته می‌شوند.

این مواد، یک دسته هوشمند یا جدید از مواد مصنوعی محسوب می‌شوند که قادر به دستیابی به خواص الکترومغناطیسی‌ای هستند که به طور طبیعی رخ نمی‌دهند؛ از جمله پنهان‌سازی الکترومغناطیسی یا داشتن شاخص شکست منفی.

فرامواد کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌های پزشکی، خودروسازی، هوافضا و انواع دستگاه‌های دیگر مانند حسگرهای زیستی، کنترل جمعیت، جاذب‌ها، آنتن‌ها، فیلترهای نوری، پایش زیرساخت‌ها، مدیریت هوشمند انرژی خورشیدی، برداشت انرژی و حتی حفاظت سازه‌ها در برابر زلزله دارند.

می‌توان گفت که این حوزه جدید و پرهیجان علم، آینده درخشانی را در انتظار صنایع و تکنولوژی‌های نوآورانه دارد.

تاریخچه و تعریف

فرامواد ابتدا با نام‌های Left-Handed Media (LHM) یا Negative Index Materials (NIM) شناخته شدند. اگرچه مفهوم LHM توسط Veselago در سال ۱۹۶۸ ارائه شد، پدیده شکست منفی و رسانه‌های موج معکوس از نظر تئوری خیلی زودتر کشف شده بودند. اصطلاح فرامواد توسط راجر ام. والسر، استاد دانشگاه تگزاس، در سال ۱۹۹۹ ابداع شد. فراماده یک ترکیب ماکروسکوپی از ساختار تناوبی یا غیرتناوبی است که عملکرد آن به دلیل معماری سلولی و ترکیب شیمیایی است. مطابق تعریف ارائه‌شده در پروژه‌های علمی تحت حمایت اتحادیه اروپا، اصطلاح "فرامواد" به معنای «ترتیبی از اجزای ساختاری ساخته دست بشر است که به منظور دستیابی به ویژگی‌های الکترومغناطیسی مفید و غیرمعمول طراحی شده‌اند». به طور کلی، از فرامواد برای بهبود عملکرد سیستم‌های آنتنی، افزایش ویژگی‌های الکترومغناطیسی، جذب تشعشعات الکترومغناطیسی و تغییر خواص الاستیک مواد استفاده می‌شود.

دسته‌بندی

فرامواد را می‌توان از منظرهای مختلفی طبقه‌بندی کرد.

در ادامه به سه دیدگاه اصلی پرداخته می‌شود

۱. طبقه‌بندی بر اساس خواص موثر (Effective Properties)

در این دیدگاه، فرامواد بر اساس مقادیر بزرگ‌مقیاس مانند گذردهی (permittivity) و نفوذپذیری (permeability) دسته‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال:

فرامواد دوجانبه منفی (Double Negative)

در این دسته هر دو پارامتر گذردهی و نفوذپذیری منفی هستند.

فرامواد تک منفی (Single Negative)

در اینجا یا فقط گذردهی منفی است (ENG) یا فقط نفوذپذیری منفی. این دسته‌بندی کمک می‌کند تا واکنش ماده نسبت به میدان‌های الکترومغناطیسی، از جمله نحوه انتشار و هدایت امواج، بهتر تحلیل و پیش‌بینی شود.

۲. طبقه‌بندی بر اساس طراحی و ساختار

از منظر ساختاری، فرامواد بر اساس شیوه‌ی مهندسی ساختار ذاتی‌شان تقسیم‌بندی می‌شوند. برخی از نمونه‌های این طبقه‌بندی عبارتند از:

- بلورهای فونونی: این ساختارها شامل آرایه‌های منظم پراکندگی صوتی یا الکترومغناطیسی هستند که با ایجاد گاف نواری (bandgap) می‌توانند انتشار امواج را کنترل کنند.
- ساختارهای تشدیدی: در این فرامواد، عناصر تشدیدی مانند حلقه‌های تشدید (SRR) و سیم‌های نازک به کار می‌روند تا ویژگی‌هایی نظیر کنترل انتشار صدا یا امواج الکترومغناطیسی را فراهم نمایند.
- پیچش فضایی: (Space Coiling) این طراحی‌ها از ساختارهایی بهره می‌برند که مسیر طولانی‌تری برای امواج ایجاد می‌کنند (شبیه به پیچش فضا) و به این ترتیب امکان هدایت بدون قطع یا برش امواج در سامدهای خاص را فراهم می‌آورند.

۳. طبقه‌بندی بر اساس کاربردها

فرامواد به دلیل قابلیت‌هایی که از طریق طراحی ساختاری بدست می‌آیند، در حوزه‌های مختلفی کاربرد پیدا می‌کنند؛ از جمله:

الکترومغناطیسی: مانند استفاده در آنتن‌های پیشرفته، فیلترهای نوری، جاذب‌های امواج و مدارات ارتباطی.

آکوستیک: کاربرد در کاهش نویز، کنترل ارتعاشات، پنهان‌سازی صوتی و حتی در حفاظت در برابر زلزله.

حرارتی و مکانیکی: استفاده در کنترل انتقال حرارت یا بهبود خواص مکانیکی سازه‌ها از طریق تغییر الگوها و ساختارهای داخلی.

این طبقه‌بندی‌ها نه تنها به پژوهشگران کمک می‌کند تا مواد جدیدی با خواص هدفمند طراحی کنند، بلکه زمینه کاربردهای نوآورانه‌ای در صنایع مختلف ایجاد کرده است. افزایش فناوری‌های تصویربرداری و نانولایه‌سازی باعث توسعه و پیچیدگی بیشتر در طراحی این مواد شده و هر روز زمینه‌های جدیدی از کاربرد برای آن‌ها کشف می‌شود.

علاوه بر این، پژوهش‌های جدید در حوزه فرامواد به ارتقای عملکرد سیستم‌های پیچیده الکترومغناطیسی و صوتی کمک می‌کند، به طوری که مرزهای آنچه در طبیعت ارائه می‌شود، به چالش کشیده می‌شود و امکانات نوینی در مهندسی مواد و فناوری‌های نوین باز می‌شود.

آینده و چالش‌ها

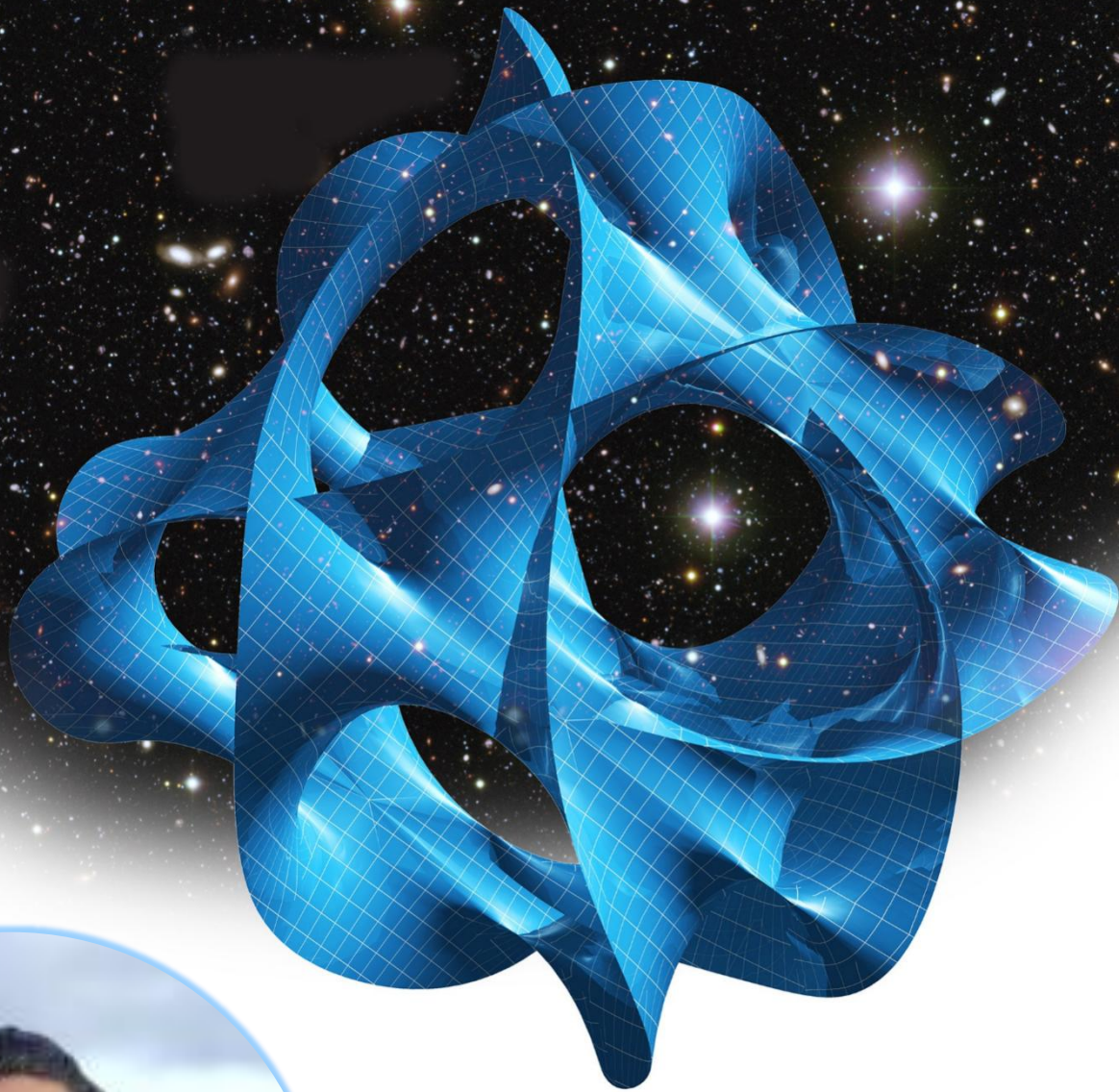
فرامواد در طول ۱۵ سال گذشته مورد استفاده قرار گرفته‌اند و به دلیل ویژگی‌های برتر یا منحصربه‌فرد خود، توجه زیادی از سوی پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. این مواد در دو بخش اصلی، یعنی انتقال انرژی بی‌سیم و حوزه تراهرتز، پتانسیل ایجاد تأثیر قابل توجهی دارند.

با این حال، اکنون باید به چالش‌های زیر نیز پرداخته شود:

۱. اندازه عرضی لنز
۲. مدل‌های مواد غیرمتعارف
۳. مشکل پهن‌بند در استفاده برای پنهان‌سازی و نامرئی‌سازی
۴. نیاز حسگرهای زیستی به بهبود دقت و حساسیت که عمدتاً به دلیل پیچیدگی در دستیابی به وضوح بالا است.

منابع

1. Kumar, R., Kumar, M., Chohan, J. S., & Kumar, S. (2022). Overview on metamaterial: History, types and applications. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3016–3024. [link](#)
2. Engheta, N., & Ziolkowski, R. W. (Eds.). (2006). *Metamaterials: Physics and engineering explorations*. Wiley-IEEE Press.



شهریورماه ۱۴۰۳

از چنبره‌های ریسمانی تا رمزنگاری کوانتومی؛ گفت‌وگو با دکتر مهرگان درودیانی

محدثه پورساعی

لطفاً خودتان را معرفی کنید و درمورد زمینه کاری و پژوهشی تان توضیح بدهید.

من مهرگان درودیانی هستم. الان در ماه آخر دوره دکتری هستم و کمتر از یک ماه دیگر دوره تمام می‌شود و مقطع دکتری را تمام می‌کنم. چیزی که در حال حاضر روی آن کار می‌کنم، بخش اختلالی نظریه ریسمان هست و در این بخش نیز روی دامنه پراکندگی ریسمان‌ها کار می‌کنم. کاری که در شتاب‌گرها انجام می‌شود، این است که چندا ذره را به هم برخورد می‌دهند تا ببینند چه اتفاقی می‌افتد؛ کار من مطالعه این‌ها برای ریسمان‌ها است.

درمورد نظریه ریسمان توضیح می‌دهید؟ چه ویژگی‌هایی از نظریه ریسمان برای شما بیشتر جذاب است؟

خب! به کم باید تاریخی بگویم. نکته‌ای که هست این است که ما برای توصیف ذرات خیلی ریز نیاز به یک چارچوب داریم که در این چارچوب هم باید مکانیک کوانتومی دخیل باشد و در آن کار کند و هم نسبیت خاص. چارچوبی که خیلی خوب می‌شناسیم، نام آن "نظریه میدان‌های کوانتومی" هست. در این چارچوب می‌توانیم یک سری مدل بنا کنیم. یعنی خود نظریه میدان کوانتومی مدل ما نیست؛ یک چارچوب است که روی آن یک مدل می‌سازیم، معروف‌ترین آن مدل، مدل استاندارد ذرات است و این موفق‌ترین تئوری فیزیکی بوده که تا الان بشر به آن رسیده است. دقیق‌ترین و موفق‌ترین بوده و تا حدود پنجاه سال پیش یک بخش خیلی خوبی از آن ساخته شده. یکی از آخرین قطعاتش هم که ذره هیگز هست که حدود ده یا دوازده سال پیش کشف شده و یک چیز خیلی خوب و مستحکمی است ولی نکته‌ای که این چارچوب دارد این است که هر مدلی که ما سعی کنیم روی آن بنا کنیم، گرانش را نمی‌تواند توجیه کند. گرانش را می‌تواند به صورت موثر توضیح بدهد ولی ما یک چیزی بیشتر از یک تئوری موثر می‌خواهیم. درواقع می‌خواهیم یک تئوری بنیادی از گرانش داشته باشیم. نظریه ریسمان یک تلاشی هست برای یک تئوری که گرانش را هم بتواند کوانتومی کند. کاری که انجام می‌دهد این است که چارچوب نظریه میدان را یک درجه بالاتر می‌برد. توضیح آن به صورت سستی این است که به جای اینکه ذرات را به صورت یک سری نقطه در فضا-زمان پیدا کنیم، ذرات را به صورت رویه‌های دوبعدی پیدا کنیم یا اینکه اگر زمان را ثابت نگاه داریم، به صورت یک سری رشته‌های یک بعدی پیدا

می‌کنیم که حالا نتیجه این است که این رشته‌ها چه ارتعاشاتی دارند. این می‌شود نظریه ریسمان! یعنی یک چارچوب جدیدی علاوه بر نظریه میدان کوانتومی.

یک ویژگی خیلی مهمی که آن را از نظریات دیگر خیلی جلو می‌اندازد این است که با گرفتن حدی از نظریه ریسمان، می‌توانیم برگردیم به نظریه میدان کوانتومی و برای همین مستقل از اینکه این نظریه درست است یا خیر؛ به عنوان یک ابزار برای نظریه میدان کوانتومی (که دیدیم چقدر موفق هست) خیلی مفید هست. مثلاً کاری که من در حال انجامش هستم این است که بفهمم در حدی که آن ریسمان‌ها طولشان به صفر میل می‌کند، به ما همان گرانش معمولی اینشتین (همون نسبیت عام) را می‌دهد و وقتی برای آن طول قائل می‌شویم، شروع می‌کند روی گرانش یک سری تصحیحات انجام می‌دهد و خب بقیه چیزها هم احتمالاً شنیدید. مثلاً اینکه این نظریه در ابعاد بالاتر است و از این قبیل. البته این بیان تاریخی از نظریه ریسمان هست و گرنه خیلی الان پیچیده‌تر شده است طوری که خیلی بیشتر می‌دانیم و خیلی خیلی بیشتر نمی‌دانیم!

در دنیای امروز بسیاری معتقدند به اینکه چون شواهد مستقیمی برای این نظریه وجود ندارد، پس این نظریه از اهمیت فیزیکی کمتری برخوردار است. موضع شما به عنوان یک فیزیکدان نظری در برابر این اظهار نظرات چیست؟ آیا فکر می‌کنید که این نظریه به عنوان یک تئوری نهایی فیزیک قابل اثبات هست؟ چرا؟

یک نکته‌ای که هست اینه که تا همین اواخر، فیزیک به این صورت بود که یک چیزی را آزمایش می‌کردیم سپس به یک نظریه‌ای می‌رسیدیم، نظریه ما یک پیش‌بینی می‌کرد، پیش‌بینی‌مان را آزمایش می‌کردیم و بعد مطمئن‌تر می‌شدیم که آن نظریه درست است یا خیر ولی الان به جایی رسیدیم که توانایی آزمایش چیز جدید نداریم چون آزمایش برای ما به شدت سخت‌تر شده است. مثلاً یا باید طوری تلاش کنیم که از اتفاقاتی که در آسمان افتاده داده‌های جدید بگیریم که فوق‌العاده کار سختی هست ولی هم‌اکنون در حال انجام هست، یا باید تلاش کنیم آزمایشگاه‌های زمینی‌مان را مجهزتر کنیم که آن‌هم علاوه بر اینکه فوق‌العاده کار سختی است، به شدت زمان‌بر و هزینه‌بر هم است. مثلاً بعضی آزمایش‌ها و پردازش‌هایشان می‌تواند سی سال طول بکشد که خب

خیلی کار سختی است! پس ما به یک جایی رسیدیم که انجام آزمایش سخت‌تر شده ولی همچنان یک‌سری نظریه داشتیم که این نظریه‌ها می‌توانستند همه آزمایش‌های قبلی را توجیه کنند؛ اما اگر به خود نظریه نگاه کنیم، می‌بینیم که آن نظریه غلط است و خود نظریه مشکل دارد. پس حالا که نمی‌توانیم آزمایش را جلو ببریم، باید برگردیم به آن نظریه‌ها و بگوییم که آیا من می‌توانم این نظریه را طوری تغییر بدم که کماکان آزمایش‌های قبلی‌ام را توجیه کند (یعنی داده‌های آزمایش قبلی را دربرآورد) و علاوه بر آن، بتواند آن مشکلات را هم توجیه کند؟ (صرف اینکه این نظریه چیز جدید می‌دهد یا خیر) همین دوتا سوال به‌شدت سوالات مهمی هستند که کاملاً در راستای فیزیک ماست؛ چون حاضر نیستیم با نظریاتی سر کنیم که فقط می‌دانیم در حد یک نظریه موثر درست هستند. یکی از تلاش‌های اصلی نظریه ریسمان همین است که اولاً باید مدل استاندارد را به ما بدهد (که در حدهایی می‌دهد، اما مثلاً جرم الکترون، پروتون و ... را دقیق نمی‌تواند بدهد ولی کلیت مدل را می‌دهد چون خود مدل استاندارد هم نمی‌تواند این جرم‌ها را بدهد و قابلیتش را ندارد) و دوماً کیهان‌شناسی. چالش بزرگ نظریه ریسمان این نیست که این دوتا را جداگانه توجیه کند؛ زیرا هر دو را جداگانه می‌تواند، توجیه کند. چالش بزرگ این هست که این دوتا را باهم توجیه کند (یعنی تمام داده‌های کیهان‌شناسی همزمان با تمام داده‌های ذرات) و این خیلی خیلی چالش بزرگی است. در سطح تئوری هم به‌شدت سخت است. ما الان می‌گوییم که به یک چیز بهتر رسیدیم یا به یک کاندیدای بهتر از مدل استاندارد رسیدیم ولی من نمی‌توانم ادعا کنم که واقعاً نظریه ریسمان (حالا به هر معنی‌ای که هست)، آن چیزی است که دنیای من را توصیف می‌کند. اتفاقاً پس از اینکه نظریه ریسمان را مطالعه کردیم، فهمیدیم که خود نظریه را هم درست نمی‌شناسیم. مثلاً گاهی اوقات نظریه به ما می‌گوید که ریسمان‌ها در ده بعد زندگی می‌کنند، درحالی‌که ما نظریات مختلفی در این باره داریم. بعد از آن پی‌بردیم که اگر فرض کنیم این نظریه خودش از یک حدی از یک نظریه یازده‌بعدی می‌آید، در این صورت می‌توانیم ربط نظریه‌های ریسمان مختلف را به هم توجیه کنیم پس شاید آن چیزی که داریم درباره‌ش حرف می‌زنیم آن نظریه یازده‌بعدی باشد اما از طرفی آن نظریه یازده‌بعدی خودش می‌تواند حدی از یک نظریه با ابعادی بالاتر باشد. درواقع خیلی مانده تا بفهمیم که چه اتفاقی دارد می‌افتد. جدا از آن، یک سوال دیگری که پیش می‌آید این است که مثلاً من که در حال

حاضر دارم روی نظریه ریسمان کار می‌کنم، اگر همین الان یک‌نفر بیاید و به من بگوید که این نظریه غلط است، آیا تمام کار من بیهوده بوده؟ این سوال توی نظریه گرانش کوانتومی خیلی سوال مهمی است چون اینکه هیچ آزمایشی نداریم که آن‌ها را توجیه کند، برای کل نظریه گرانش کوانتومی صدق می‌کند (به دلیل ماهیت این نظریه‌ها است که در انرژی‌های خیلی زیاد کار می‌کنند و ما به آن انرژی‌ها دسترسی نداریم. صرفاً داده‌های نظری داریم). یکی از قدرت‌های نظریه ریسمان این است که اگر همین الان افرادی پی‌برند که این نظریه، نظریه‌ای نیست که بتواند دنیا را توصیف کند، کماکان مطالعه کردن آن مفید است؛ زیرا از آن چیزهای خیلی زیادی یاد می‌گیریم. مثلاً درباره نسبیت و میدان کوانتومی کلی چیز یاد می‌گیریم. به همین دلیل این شاید بستگی به سلیقه داشته باشد که اسم آن را علم بگذاریم یا خیر در غیراین صورت مطالعه آن مفید هست.

در مقاله خود تحت عنوان "انتگرال از پایه‌های عمق صفر تا سه توابع نموداری مدولار" برای شناخت تعاملات ذرات، از انتگرال‌گیری روی سطوحی مانند تورس (چنبره) استفاده کردید. می‌توانید به‌طور ساده بگویید این کار چه اطلاعات جدیدی در مورد تعاملات ذرات به ما می‌دهد؟

یک چیزی که ما می‌فهمیم از برهم‌کنش ذرات باهم، این است که آن‌ها چه لاگرانژی دارند یا چه کنشی دارند. داستان کنش یک بخش خیلی بزرگی از اطلاعاتی است که ما می‌توانیم از فیزیک ۱ داشته باشیم. یکی از روش‌هایی که می‌توانیم کنش را بفهمیم این است که ببینیم اگر این ذرات با همدیگر برهم‌کنش داشته باشند، با چه احتمالی و چه پیامدهایی را به وجود می‌آورند و باز هم یکی از روش‌ها این است که از نظریه اختلال کمک بگیریم.

چیزی که آن مقاله بررسی می‌کند این است که یک‌سری ریسمان بسته (که در فضا زمان در حال حرکت هستند) مثل یک تیوب می‌مانند که باهم برخورد می‌کنند و یکی می‌شوند و سپس یک‌سری اتفاقات می‌افتد و دوباره ازهم جدا می‌شوند شکلی که نهایتاً تشکیل می‌دهند، یک چنبره می‌شود. چیزی که ما از فرمالیزم انتگرال مسیر فاینمن می‌دانیم این است که ما باید تمام اتفاقات ممکن این وسط را با هم جمع بزنیم. من فرض می‌کنم این چنبره بودن یک اتفاق ثابت است و سپس روی تمام شکل‌های این چنبره

با یک وزن خوبی جمع می‌زنم و این شرطش این است که من فضای چنبره‌های مختلف را بشناسم و بتوانم روی آن‌ها انتگرال بگیرم. اگر من بتوانم این کار را انجام بدهم، اتفاقی که می‌افتد این است که می‌توانم لاگرانژی را که نظریهٔ ریسمان به‌صورت موثر از برهم‌کنش آن ذرات می‌دهد، پیدا کنم. مثلاً یکی از مهم‌ترین‌ها این است که فرض کنم آن ذرات گراویتون هستند. گراویتون‌ها ذراتی هستند که گرانش را می‌سازند. بعد که من توانستم گراویتون را بگذارم و شروع به انجام جمع آن کنم، می‌توانم تصحیحاتی روی نسبیت عام پیدا کنم. تصحیحاتی با دقت بالا و با مراتب بالا روی نسبیت عام. این مقاله پایهٔ ریاضی این محاسبات بود. چون این محاسبات تا همین چندسال اخیر به‌شدت سخت بودند. محاسباتی که از سال ۱۹۸۱ سعی شده است که انجام داده بشود و اوایل به‌شدت سخت بوده ولی الان کم‌کم داریم ریاضیات متفاوتی را یاد می‌گیریم که آن محاسبات را انجام بدهد و تا حد قابل قبولی آن ریاضیات را یاد گرفتیم. الان کاری که دارم سعی می‌کنم انجام بدهم این است که بینم این فیزیک جدیدی که به من می‌دهد چیست و همچنین تصحیحات مراتب بالای گرانش را پیدا کنم.

بسیار عالی! یک مقالهٔ دیگر در حوزه اطلاعات کوانتومی هم داشتید با عنوان "حالت‌های بیشینهٔ درهم‌تنیدگی و پلنار" که در آن به حالت‌های خاص درهم‌تنیدگی PME و AME پرداختید. امکانش است در مورد این حالت‌ها توضیح بدهید؟ همچنین بگویید این حالت‌ها چه تغییری در فناوری‌های کوانتومی حال حاضر مانند رمزنگاری کوانتومی یا تله‌پورت کوانتومی ایجاد می‌کنند؟ چه چشم‌اندازی را برای آن‌ها پیش‌بینی می‌کنید؟

آن مقاله فضایش خیلی فرق می‌کند با نظریهٔ ریسمان. گرچه در یک‌سری مدل‌های هولوگرافی هم می‌تواند استفاده شود ولی بیشتر در حوزهٔ نظریهٔ اطلاعات کوانتومی بود. نکته این است که ما در نظریهٔ اطلاعات کوانتومی یک‌سری حالت‌ها داریم به اسم حالت‌های بیشینه درهم‌تنیده. یعنی به این‌صورت که مثلاً شش ذره داریم، اگر بیاوریم سه‌تا یا دوتا یا یک‌ذره را مطالعه کنید، هیچ اطلاعاتی از آن‌ها نمی‌گیرید ولی اگر بیاوریم چهارتا یا پنج‌تا یا شش‌تا از آن‌ها را مطالعه کنید، تمام اطلاعات این سیستم را می‌گیرید.

نکتهٔ این حالت‌ها این است که مهم نیست کدام سه‌تا یا کدام چهارتا و پنج‌تا و شش‌تا را انتخاب کنید. پیشنهادی که ما (من و دکتر کریمی‌پور) دادیم در آن مقاله، از چیزی آمد به اسم هولوگرافی. ایده این بود که برای ما مهم باشد که کدام چهارتا یا پنج‌تا یا شش‌تا را انتخاب کنیم. به چه صورت مهم باشد؟ به این صورت مهم باشد که آن‌هایی که انتخاب می‌کنیم کنار هم باشند. یک نکته‌ای را بگویم. ساختن این حالت‌های بیشینه درهم‌تنیده، خیلی سخت است. از لحاظ تئوری در شرایط خیلی خاصی قرار دارند. باید یک‌سری شرایط به‌وجود بیاید تا این‌ها باهم سازگار باشند و این شرایط سازگاری یک قید خیلی بزرگی روی آن‌ها می‌گذارد. ایدهٔ ما این بود که آن‌هایی که می‌خواهیم انتخاب کنیم، همیشه نزدیک هم هستند. اگر آزمایشگاهی داریم که مثلاً می‌خواهیم سه‌تا ذره را به یک سمت و سه‌تای دیگر را به سمت دیگری بفرستیم، آن‌هایی که باهم درهم‌تنیده هستند همیشه کنار هم هستند. بعد از این دیدیم که دیگر ساختن این‌ها خیلی راحت می‌شود. فضای هیلبرت این ذرات، هرچند بعدی که می‌خواهد باشد، اهمیتی ندارد (تاوقتی تعدادشان زوج باشد) و شروع کردیم یک سری روش‌های مختلف را برای ساختن تئوری این‌ها امتحان کنیم و سعی کردیم در بعضی حالت‌های خاص هم دسته‌بندی‌شان کنیم.

ویژگی‌ها و فوایدی که در عمل دارند این است که مثلاً شما می‌خواهید یک کدی را به اشتراک بگذارید، (یا اصطلاحاً یک رازی را می‌خواهید به اشتراک بگذارید) اما تمایل دارید که هرکسی که یک بخشی از این راز در دستش است، اطلاعاتی از آن راز نداشته باشد. یعنی یک‌سری ذره دارید و یک‌سری اطلاعات که در بین ذرات مختلف پخش کردید ولی می‌خواهید اطلاعاتی که در دست هر ذره است، صفر باشد. هیچ اطلاعاتی در اختیار ذره‌های خاص نباشد و فقط وقتی اطلاعات بگیرند که تعدادشان از نصف بیشتر می‌شود. این در مخابرات کوانتومی بسیار مهم است. این یک مسئلهٔ خیلی قدیمی است و خیلی بررسی شده است. ما نشان دادیم که چه‌طور این کار می‌تواند انجام داده شود و مثلاً کلید شکستن این راز چیست. به‌طور مثال اگر چند نفر کنار هم باشند، دقیقاً باید چه‌کار کنند تا بتوانند این راز را بشکنند. یا مثلاً برای دوربری کوانتومی، شما این ذرات را تقسیم‌بندی می‌کنید و از هم خیلی دور می‌گذارید و می‌خواهید یک اطلاعاتی را از سمتی که بخشی از این ذرات را دارند، انتقال بدهید به سمتی که بخش دیگری از آن ذرات را دارند. سپس ما شروع کردیم به اینکه حالا با این چینی که داریم

توصیف می‌کنیم (که اسمشان را گذاشتیم حالت‌های درهم‌تنیده صفحه‌ای یا PME . صفحه‌ای به این معنا که همیشه بتوانید گراف این‌ها را در یک صفحه بگذارید)، چه‌طور بتوانیم این کارها را انجام بدهیم و در نهایت هم چیزی که خیلی مهم هست، در مورد هولوگرافی است. این حالت‌ها می‌توانند حالت‌های هولوگرافی، مثلاً حالت‌های ساده $Ads-CFT$ را مدل کنند. حالا این یک مقداری بحث جداتر است؛ چون پیش‌نیاز لازم دارد.

یک موضوعی که همواره برای من سوال بوده است، این است که از آنجایی که برای کار فیزیکدان‌های نظری، نتایج و دیتاهای تجربی بسیار کمی وجود دارد [مخصوصاً برای بعضی جاهای نظریهٔ ریسمان یا گرانش کوانتومی]، شما از کجا متوجه می‌شوید که در پژوهش خود مسیر درستی را طی می‌کنید؟ این را از کجا بررسی می‌کنید؟

یک اصل کلی در پژوهش وجود دارد؛ آن‌هم این هست که ما دو نوع سوال داریم: یک نوع پرسش‌هایی که حل می‌شوند و یک نوع هم پرسش‌هایی که اهمیت فیزیکی دارند. اولین نکته این است که ما سعی کنیم اشتراک این دو را پیدا کنیم که این سخت‌ترین کار پژوهش در فیزیک نظری است. یعنی بتوانیم سوالی را پیدا کنیم که قابل حل باشد و آن را پیش ببریم و هم‌چنین اهمیت فیزیکی داشته باشد. یک سوال خوب پیش می‌آید اینجا، آن‌هم اینکه از کجا بدانیم چه پرسش‌هایی اهمیت فیزیکی دارند؟ اینجا باید برگردیم به تاریخ. چون الان با چیزهای جدید مواجه هستیم. یعنی خیلی از سوال‌ها هستند که قطعاً اهمیت فیزیکی دارند ولی ما نمی‌دانیم چون هنوز نمی‌شناسیم. هنوز ته خط را انگار ندیده‌ایم. پس یک نکته این است که ما برگردیم به تاریخ. ما یک تاریخ خیلی غنی از فیزیک گرانشی داریم و همچنین یک تاریخ خیلی غنی از فیزیک ذرات داریم. بیایم ببینیم که آن‌جا چه پرسش‌هایی مطرح شدند که من می‌توانم الان مطرحشان کنم و بررسی کنم که آیا به جواب می‌رسم یا خیر. نکتهٔ بعدی این است که درست است که طبیعت به کمک نمی‌آید برای اینکه بفهمم اصلاً دارم راه را اشتباه می‌روم یا خیر، اما من دو ابزار خیلی خیلی مهم دارم که هر دو هم به سازگاری مربوط می‌شوند. اولی این است که نظریهٔ من از لحاظ ریاضی با خودش سازگار باشد. در نظریه‌های جدیدی که می‌خواهند ارائه بدهند، این خیلی کار سختی است. تقریباً در همهٔ نظریه‌هایی که یک نفر روی

هوا می‌گوید، بلافاصله می‌شود فهمید که این نظریه از لحاظ ریاضی سازگار نیست و وقتی از لحاظ ریاضی سازگار نباشد، من می‌توانم به راحتی آن نظریه را کنار بگذارم. دومی این است که از لحاظ فیزیکی سازگار باشد. یعنی مثلاً اگر نظریهٔ من می‌گوید که الان در اتاق همه چیز باید شناور باشد، من بلافاصله می‌توانم آن نظریه را کنار بگذارم! به همین علت، سازگاری ریاضی و سازگاری فیزیکی مهم‌ترین ابزارهای هستند که ما داریم تا مطمئن شویم که حداقل به‌طور کامل مسیر را غلط نمی‌رویم. ممکن هست آن نظریه‌هایی که من ارائه می‌دهم، نظریه‌هایی باشند که دنیای من را توصیف نمی‌کنند ولی حداقل می‌دانم که دارم بهترین کاری را که می‌شود کرد، انجام می‌دهم. یک مثال بزنم: یکی از مهم‌ترین چک‌هایی که می‌شود کرد، چیزی است که بهش می‌گوییم آنومالی‌ها. قبلاً نظریه‌های انرژی‌های بالاتر خیلی داده شده است. بعد از اینکه نظریهٔ الکتروضعیف آمد (توسط واینبرگ و سلام و گلاشو)، یک ایده مطرح شد و آن‌هم این که شاید همهٔ نیروهای طبیعت با همدیگر متحدند و شاید همه‌شان در اصل از یک نظریه می‌آیند. بعد از آن آدم‌ها تلاش کردند نظریات وحدت پیدا کنند. (وحدت به معنای وحدت تمام فیزیک نیست. وحدت به معنای وحدت نیروهای الکتروضعیف و قوی است) و مثلاً یکی از نظریاتی که در آن زمان هاوارد جورجای یکی از بزرگترین بنیانگذارانش بود (به همراه گلاشو)، این بود که یک تقارن برای کل عالم در نظر بگیرند. تقارن $SU(5)$ را در نظر بگیرند و از طریق آن همهٔ نیروها باهم متحد می‌شدند. ولی نکته‌ای که داشت این بود که عمر پروتون را برای ما اشتباه تخمین می‌زد. پس یک ناسازگاری فیزیکی داشت و بلافاصله کنار گذاشته شد. با اینکه نظریه از لحاظ ریاضی به شدت قشنگ بود و با اینکه به ما خیلی سود می‌رساند ولی به دلیل ناسازگاری فیزیکی که داشت کنار گذاشته می‌شود. نکته‌ای که الان هست این است که نظریه‌هایی مثل نظریهٔ ریسمان، هیچکدام از این ناسازگاری‌ها را ندارد. البته من باز هم باید تأکید کنم که هر لحظه و در هر قدم از تحقیقی که در این بخش از فیزیک برمی‌داریم، این ناسازگاری‌ها می‌توانند خودشان را نشان بدهند و خیلی معجزه‌وار است که نظریهٔ ریسمان کاملاً از طبیعت بی‌ربط باشد و در طول ۵۰ سال هر بار به‌صورت خیلی خیلی غیربدهی سازگار باشد. بحث ناسازگاری به این صورت است که گاهی اوقات که مشغول محاسبات هستیم، با خودمان می‌گوییم "

این دیگه خیلی عجیبه که این دوتا باهم جوردر بیان" و در ادامه می‌بینیم که بازهم جور درمی‌آیند!

مسیر حرفه‌ای شما چگونه شکل گرفت؟ از جایی که ارشد بودید تا جایی که الان مشغول هستید. چه چالش‌هایی در این مسیر داشتید؟

من کارشناسی ارشدم را در دانشگاه شریف بودم و بعد از آن هم آمدم در موسسه مکس پلانک برای گرانش. این مسیری است که تا الان طی کردم. نکته اینجاست که زندگی آکادمیک با همه آن قشنگی‌هایی که دارد، گاهی اوقات چالش‌هایش خیلی زیاد می‌شود (مخصوصاً هرچی کارتان از صنعت فاصله می‌گیرد و تئوری‌تر می‌شود)؛ مثلاً یک چیزی که در مورد بخش‌هایی که تا این حد تئوری هستند، می‌گویند این است که هر لحظه این انتظار را داشته باش که این مقطعی که الان در آن هستی، آخرین مقطعی باشد که در آن مشغول هستی و مقطع بعدی را نتوانی پیدا کنی. من از ماه دیگر پوزیشن دکتری رو شروع خواهم کرد در دانشگاه ساوت‌همپتون و سه سال آنجا هستم و چیزی که مهم است این است که به هیچ عنوان هیچ تضمینی نیست که بعد از آن بتوانم به مرحله بعدی بروم. این نداشتن امنیت شغلی یکی از بزرگترین چالش‌هاست. شما تا وقتی که پست‌داک هستید و تا وقتی که یک شغل دائمی نگرفتید، برای زندگیتان بیشتر از سه سال نمی‌توانید برنامه‌ریزی کنید و حتی مثلاً کشوری که قرار است در آن زندگی کنید را هم نمی‌توانید تعیین کنید. پس هر لحظه باید این انتظار را داشته باشید که از آکادمی جدا شوید. من خیلی می‌بینم که اطرافم این اتفاق می‌افتد و اصلاً منظورم آدم‌هایی نیستند که از لحاظ فیزیکی ضعیف هستند، [اتفاقاً] کسانی هستند که نفر اول فیلد خودشان هستند و این اتفاق برایشان می‌افتد. یعنی تمام کسانی که در آن فیلد کار می‌کنند، او را می‌شناسند ولی او مجبور است آکادمی را ترک کند. چالش بعدی هنگامی است که شما تشکیل خانواده می‌دهید. من ازدواج کردم و در طول این سه‌ونیم سال دکتری‌ام، اکثر اوقات از همسر دور هستم. او لوزان درس می‌خواند و من هم آلمان هستم و فقط هرازگاهی همدیگر را می‌بینیم و این بازهم سختی‌هایش را بیشتر می‌کند. مورد بعدی اینکه حجم کاری که شما باید در آکادمی انجام بدهید، خیلی بالاست ولی درآمدی که شما از آکادمی دارید، به مراتب کمتر از درآمد هرجای دیگری است. هم‌چنین شغل شما به مراتب چالش‌برانگیزتر است و شما هر روز باید

یک کار جدید ارائه دهید. نمی‌توانید کاری را که قبلاً کردید انجام دهید. هر روز با یک مسئله جدید طرف هستید اما درآمدتان به مراتب از بقیه کمتر هست. خیلی وقت‌ها مثلاً از برنامه‌نویس‌های جونیور به مراتب درآمدتان کمتر هست. این‌ها چالش‌هایش بودند و خوب خوبی هم که خیلی دارد و احتمالاً خوبی‌هایش رو بهتر از چالش‌هایش می‌دانید.

چه چیزی شما را به سمت فیزیک انرژی‌های بالا و به خصوص نظریهٔ ریسمان جذب کرد؟ یعنی آن دورانی که ارشد بودید هم فکر می‌کردید که در حوزهٔ نظریهٔ ریسمان بخواهید پژوهش کنید و کار کنید؟

من در دبیرستان المپیاد نجوم شرکت کردم و از طرف المپیاد نجوم می‌آمدم. البته دوسال دانشگاهم را مهندسی برق رفتم و بعد از دوسال تغییر رشته دادم به فیزیک. خوب برای المپیاد نجومی‌ها یک چیزی که خیلی امن هست و از قبل با آن آشنا هستند این است که سمت کیهان‌شناسی یا اخترفیزیک بروند. برای من هم همین اتفاق داشت می‌افتاد که سر یکی از درس‌ها که آشنایی با ذرات بنیادی بود [حق انتخاب داشتم و] می‌توانستم این درس را بردارم و همچنین می‌توانستم درس کیهان‌شناسی را هم بردارم و با خودم گفته بودم که من که می‌دانم کیهان‌شناسی را می‌خواهم. مثلاً قبلاً یک سری جدول از ذرات بنیادی دیده بودم و با خودم فکر می‌کردم که این انگار مثل جدول تناوبی است که باید حفظ کنیم! درک درستی نداشتم. فیزیک انرژی‌های بالا هم که اصلاً نمی‌دانستم چیست. برای همین با خودم گفتم که فعلاً بروم یکی دو جلسه در کلاس ذرات بنیادی بنشینم و بعد برم سراغ همان کیهان‌شناسی. همان یکی دو جلسه‌ای که نشستم، باعث شد که همان‌جا درس را عوض کنم و ذرات بنیادی بردارم. بعد از آن شروع کردم درس‌هایی را بردارم که در آن سمت باشند؛ مثل نظریه میدان کوانتومی. اما درمورد نظریهٔ ریسمان؛ درس نظریهٔ ریسمان مقدماتی هم برداشته بودم اما نمی‌خواستم راستش و تمایلی نداشتم برایش حتی در ارشد هم ایده‌ام این نبود که نظریهٔ ریسمان را به صورت خالص کار کنم. یک نکته‌ای که هست این است که در حال حاضر نظریهٔ ریسمان به یک کامیونیتی خیلی بزرگی ابلاغ می‌شود. مثلاً کسانی هستند که هولوگرافی کار می‌کنند یا کسانی هستند که اطلاعات سیاهچاله کار می‌کنند؛ درواقع کسانی هستن که چیزهای خیلی خیلی مختلفی کار می‌کنند که شاید هیچکدام از این‌ها خود نظریهٔ ریسمان را بلد

که ملاقات می‌کنم)، فکر می‌کردم که یک مسئله پیدا کنم و بعد با همدیگر آن مسئله را بررسی می‌کردیم چون لذت بحث کردن دربارهٔ یک مسئله خاص فیزیک یا ریاضی با آدم‌های بزرگ، خیلی بالاتر از این است که یک سوال کلی از آنها بپرسی. در این مدت هم من شانس این را داشتم که یک سری ریاضیدان و فیزیکدان خیلی بزرگ ببینم.

می‌توانید دربارهٔ تجربهٔ ملاقات‌هایتان با این آدم‌ها بگویید؟

می‌توانم یک فیزیکدان و یک ریاضی‌دان بگویم. فیزیکدان خیلی بزرگی که من بیشترین برخورد را با او داشتم، مایکل گرین بوده. مایکل گرین یکی از بنیان‌گذاران نظریهٔ ریسمان است و کسی بوده است که با جان شوایتر نظریهٔ ابرریسمان یا نظریهٔ ریسمان سوپرسیمتریک را بررسی می‌کنند و می‌بینند که این نظریه به طرز عجیبی سازگار است. تا قبل از آن شاید سه چهار نفر روی این نظریه کار می‌کردند. یک بحث تکنیکال هم باهم داشتیم (البته قرار است خیلی بیشتر از این هم باهم بحث کنیم، چون یکی از داورهای ترم است و هم اینکه یک کاری که من الان دارم انجام می‌دهم در ادامهٔ یکی از کارهایی است که قبلاً مایکل انجام داده است) و خب اینکه با یکی از کسانی که بنیان‌گذار این چیزها است، بحث تکنیکال بکنی خیلی حس خوبی دارد. بین ریاضیدان‌ها هم با دان زاگیر که نظریه‌پرداز اعداد است و یکی از بزرگترین ریاضیدانان زندهٔ دنیا است، دیدار کردم. این آدم خیلی اعجوبه است! مثلاً یک بار من از یکی از مقالاتش که برای حدود چهل سال پیش بود سوال کردم (سنش خیلی زیاد است. حدوداً هفتاد هشتاد سالش است) و به او گفتم که من از این مقالات یک سوال داشتم، می‌توانی جوابم را بدهی؟ گفت یک لحظه صبر کن یادم آمد! حالا سوالت را بپرس و کاملاً صبر کرد و بعد گفت یادم آمد! حالا سوالت را بپرس و کاملاً به صورت شارپ جواب داد.

چه توصیه‌ای برای بچه‌هایی که می‌خواهند فیزیک را در مقاطع بالاتر ادامه بدهند دارید؟

بهترین کاری که می‌توانند بکنند و من فکر کنم خیلی خوش‌شانس بوده‌ام که این اتفاق برایم افتاد، این است که یک سری گروه تشکیل بدهند و باهم بخوانند. من در یک سری گروه مثلاً چهارنفره با دوستانم چیزهای مختلف می‌خواندیم. باهم تمرین حل می‌کردیم،

نباشند و صرفاً روی فرآورده‌های نظریهٔ ریسمان کار می‌کنند. من می‌خواستم روی همین چیزها کار کنم و در ارشد هم در بخش اشتراک بین هولوگرافی و نظریهٔ اطلاعات کوانتومی، روی پیچیدگی و درهم‌تنیدگی و این چیزها کار کردم. هدفم همین‌ها بود تا اینکه سر اپلای به یک سری مشکلات برخورد کردم. می‌خواستم اپلای کنم برای دکتری که این اتفاق نیفتاد و اپلای نکردم. یکدفعه کرونا شروع شد و در آن روزها دیگر تقریباً هیچ پوزیشنی نمانده بود. اردیبهشت‌ماه بود که دیدم یک پوزیشن باز شده است. اپلای کردم و بعد دیدم که پوزیشن نظریهٔ ریسمان است. اولش برایم خیلی ترسناک بود که بروم سمت نظریهٔ ریسمان کاملاً خالص. خیلی بخش سختی بود ولی در نهایت قبول کردم و در دکتری نظریهٔ ریسمان کار کردم. از اینجا به بعد هم حداقل در پست‌داک اول می‌خواهم بخش نظریهٔ ریسمان کارم را یک مقداری کمتر کنم و برگردم به سمت نظریهٔ میدان کوانتومی و با چیزهایی که در این مدت یاد گرفتم، قصد دارم مدتی روی نظریهٔ میدان کوانتومی بیشتر کار کنم. درواقع اصلاً نمی‌خواهم خودم را محدود به یک بخش خاصی از فیزیک انرژی بالا کنم.

آیا لحظهٔ برجسته‌ای در مسیر پژوهشی‌تان وجود داشته که شما را به ادامهٔ کار در این حوزه تشویق کند؟ لطفاً برایمان توصیف کنید.

نمی‌دانم لحظه‌های زیادی بوده است. به صورت برجسته چیزی الان به ذهنم نمی‌آید. اما خب موفقیت‌های کوچک و بزرگ وسط مسیر خیلی زیاد است قطعاً. مثلاً وقتی می‌توانید یک بخشی را حل کنید یا مثلاً روی این دوتا مقالهٔ اخیر که من با یک گروه دادم، دوسال و نیم کار می‌کردیم و خب وقتی بعد از دوسال و نیم تمام می‌شود آن مقالات، خیلی لذت‌بخش است. این قسمت از ریسرچ خیلی حس خوبی دارد. چیزهای ریز و زیاد به این صورت خیلی حس خوبی دارند.

اگر می‌توانستید با یکی از فیزیکدان‌های بزرگ تاریخ، دیدار کنید چه کسی را انتخاب می‌کردید و چه سوالی را از او می‌پرسیدید؟

خیلی سوال سختی است. اینکه چه سوالی را می‌پرسیدم را که اصلاً نمی‌توانم بگویم و هم‌چنین فیزیکدانی که دوست دارم ملاقات کنم و حرف بزنم هم تعدادشان خیلی زیاد است. احتمالاً (با هر کسی

نظریه‌ریسمان، کسی فکر نکند که ایده خوبی گرفته از اینکه این نظریه چیست. کار سخت‌تری است. زمان خیلی بیشتری نیاز دارد و این را در باقی بخش‌ها هم در نظر داشته باشند. وقتی می‌شنوند که یک نفر در مورد یک چیز خیلی تخصصی در فیزیک و امثالهم حرف می‌زند، خیلی مراقب باشند از اینکه برداشتشان به شدت ناقص خواهد بود. اگر بخواهند واقعاً درک کنند که یک بخش از فیزیک چگونه است، باید تلاش بیشتری کنند و وقت بیشتری بگذارند. این به نظر خیلی مهم است برای هر مصاحبه، کتاب یا هر چیز کوتاهی.

با هم درس می‌خواندیم. یک سری جلسه می‌گذاشتیم و مثلاً یکی از ما که از قبل یک مقاله‌ای را خوانده بود، می‌آمد برای بقیه توضیح می‌داد. بیشترین چیزی که من یاد گرفته‌ام از آن موقع‌ها بوده نه از سر کلاس‌های درس. الان هم منبع زیاد است. منبع توی اینترنت به شدت زیاد است. پر از لکچرها از استاد‌های خیلی بزرگ است. پر از ویدئولکچر است که می‌توانند در یوتیوب یا در سایت دانشگاه‌ها پیدا کنند. درواقع بهترین کار همین است که کسانی که تا حدی یک علاقه مشترک دارند، گروه تشکیل بدهند. البته لزومی ندارد که همه بخواهند دقیقاً یک کاری را انجام دهند. مثلاً از آن گروهی که برایتان مثال زدم، الان یک نفر ماده چگال می‌خواند. به همین شکل سعی کنند همدیگر را بالا بکشند و همه‌جوره به همدیگر کمک کنند. این باعث می‌شود که همه گروه خیلی پیشرفت کند و به شدت به نفع همه اعضای آن گروه است.

یک کتاب در زمینه نظریه ریسمان برای دانشجویهایی که می‌خواهند با این شاخه آشنا بشوند معرفی می‌کنید؟

آشنا شدن همراه با کمی فرمول و تمرین؟ طوری که خیلی هم عام نباشد؟
بله.

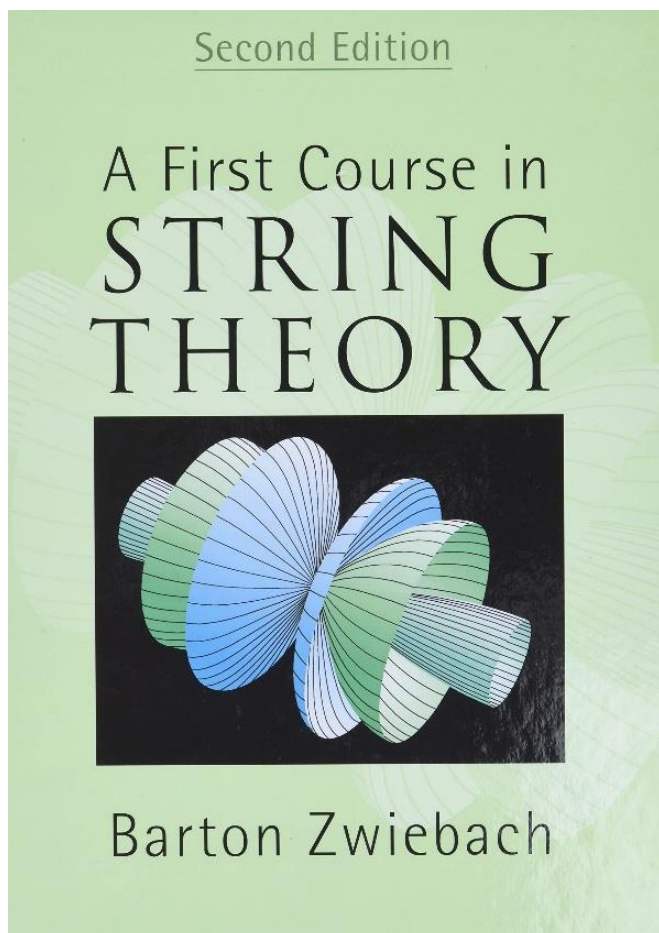
یک نکته این است که برای چنین چیزی باید یک مقداری پیش‌نیاز داشته باشید. مثلاً یک مقداری نظریه میدان و نسبیت خاص بلد باشید. یک کتاب هست از بارتون سویبیاخ به اسم اولین درس در نظریه ریسمان (A First Course in String Theory).

این فکر کنم برای شروع کتاب خیلی خوبی است. خودم از این کتاب شروع نکرده‌ام و تقریباً کامل هم نخواندم ولی به نظر برای شروع این کتاب سویبیاخ بهترین کتاب ممکن است.

برای آشنایی عموم هم یک کتاب هست به اسم چرا نظریه ریسمان؟ (Why String Theory?) نویسنده‌اش هم جوزف کانلان است. این کتاب را خودم نخواندم اما تعریفش را شنیدم.

بسیار عالی. متشکرم. در پایان موضوعی است که بخواهید مطرح کنید و به آن پردازید که من نپرسیده باشم؟

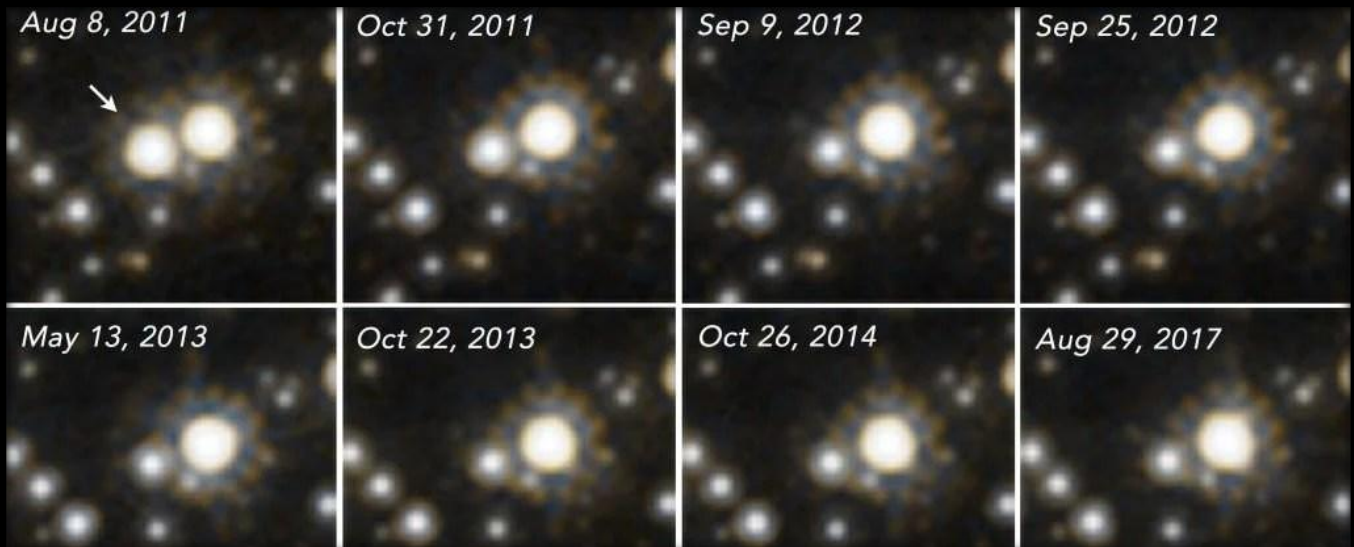
یک موضوعی است در مورد حرف‌هایی که زدم. آن‌هم این است که با پنج دقیقه یا ده دقیقه حرف زدن در مورد چیزی مثل



نخستین رصد یک سیاهچاله ستاره‌ای منزوی:

OGLE-2011-BLG-0462

محمد مهدی جهان طلب



ستاره مشخص شده با پیکان در اولین تصویر (بالا-چپ) ستاره منبع نور می‌باشد است. تغییر نور این ستاره در زمان‌های مختلف به دلیل اثر لنز گرانشی حاصل از سیاهچاله می‌باشد. منبع: [Link](#)

تا چند وقت اخیر، تمام حدود ۲۴ سیاهچاله ستاره‌ای کشف شده در کهکشان راه شیری و همچنین بیش از ۱۵۰ سیاهچاله ستاره‌ای کشف شده در دیگر کهکشان‌ها - از طریق رصد تابش امواج گرانشی آن‌ها، به صورت سیستم‌های دوتایی بودند. نخستین مورد از یک سیاهچاله ستاره‌ای منزوی، در سال ۲۰۲۲ شناسایی شد. اثرات لنز گرانشی مشاهده شده، نشان‌دهنده وجود یک جرم تاریک بسیار پرجرم در حال خم کردن مسیر پرتوهای نور بود؛ ویژگی‌هایی که حاکی از وجود یک سیاهچاله است. تلسکوپ فضایی هابل با تصویربرداری در زمان‌های مختلف، تغییر موقعیت ستاره‌ای در پس‌زمینه این لنز، به دلیل انحراف نور را به نمایش گذاشت.

در طی محاسبات توسط گروه‌های تحقیقاتی مختلف، آخرین نتایج در آوریل ۲۰۲۵ با افزایش دقت محاسبات نسبت به تخمین‌های اولیه منتشر شد. در این محاسبات در کنار تصاویر جدیدی از تلسکوپ فضایی هابل، داده‌های ۱۶ تلسکوپ دیگر نیز، به منظور لحاظ کردن اثر حرکت زمین در مشاهدات، مورد استفاده قرار گرفت. جدیدترین اندازه‌گیری‌ها، نشان‌دهنده جرمی معادل 7.15 ± 0.83 جرم خورشید در فاصله 1.52 ± 0.15 کیلوپارسک (معادل 4.96 ± 0.49 هزار سال نوری) می‌باشد که هیچ نوری از خود گسیل نمی‌کند. این مشخصه، سیاهچاله بودن OGLE-2011-BLG-0462 را تایید می‌کند. همچنین این سیاهچاله با سرعت 51.1 ± 7.5 کیلومتر بر ثانیه در حالت حرکت نسبت به ستاره‌های حاضر در همسایگی خود می‌باشد.

منبع

Lam, C. Y., Lu, J. R., Bennett, D. P., Bhattacharya, A., Bond, I. A., Udalski, A., & Gould, A. (2025). OGLE-2011-BLG-0462: An Isolated Stellar-mass Black Hole Confirmed Using New HST Astrometry and Updated Photometry. The Astrophysical Journal. [link](#)

یافته‌های جدید DESI: احتمال ناپایداری ثابت کیهان‌شناسی

آرمان افراز



ابزار طیف‌سنجی انرژی تاریک (DESI)، با بهره‌گیری از بزرگ‌ترین نقشه‌ساز سه‌بعدی کیهان، تلاش می‌کند تا تأثیر انرژی تاریک را طی ۱۱ میلیارد سال گذشته بررسی کند. به‌تازگی، محققان با استفاده از داده‌های این ابزار، به شواهدی دست یافته‌اند که احتمال می‌دهد «ثابت کیهان‌شناسی» (Λ) در واقع، آن‌چنان که نامش نشان می‌دهد، ثابت نباشد. این یافته‌ها ممکن است منجر به بازنگری در مدل استاندارد کیهان‌شناسی شوند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تلسکوپ DESI و مقایسه آن با سایر اندازه‌گیری‌ها — مانند تابش زمینه کیهانی (CMB)، ابرنواخترهای نوع Ia و پدیده‌ی لنزینگ گرانشی — پژوهشگران به این احتمال رسیده‌اند که اثر انرژی تاریک ممکن است در گذر زمان ضعیف‌تر شده باشد. پروفسور ویل پرسیوال (Will Percival)، سخنگوی پروژه DESI، در این باره اظهار داشت: «هرچه بیشتر پیش می‌رویم، به نظر می‌رسد که برای تطبیق تفاوت‌های میان داده‌ها، ناچاریم مدل کیهان‌شناسی خود را بازبینی کنیم.»

این تحلیل جدید بر پایه‌ی رصد حدود ۱۵ میلیون کهکشان و اختروش (کوازار) در طی سه سال نخست فعالیت DESI به‌دست آمده است. در مقایسه با داده‌های اولیه‌ی سال اول، اکنون آزمایش‌های اضافی متعددی برای کنترل خطاها و عوامل ناشناخته صورت گرفته تا اطمینان حاصل شود که نتایج، حاصل انحرافات آماری یا خطاهای تجربی نیستند.

DESI اثر انرژی تاریک را با بررسی نحوه‌ی پراکندگی ماده در سراسر کیهان اندازه‌گیری می‌کند. وقایع کیهان‌آغازین، الگوهایی ظریف در چگونگی توزیع ماده بر جای گذاشته‌اند؛ پدیده‌ای که به آن نوسانات صوتی باریونی (BAO) گفته می‌شود. این الگوها نقش «خطکش کیهانی» را ایفا می‌کنند که اندازه آن در دوره‌های زمانی مختلف به‌طور مستقیم به نرخ انبساط کیهان وابسته است.

اندازه‌گیری دقیق این خطکش در فواصل زمانی و مکانی مختلف، به پژوهشگران امکان می‌دهد تا قدرت و تأثیر انرژی تاریک را در طول تاریخ کیهانی بررسی کنند. در حال حاضر، دقت تلسکوپ DESI در این زمینه، در میان ابزارهای موجود در جهان، بی‌رقیب است.

منبع

DESI Collaboration; Dey, A., Percival, W., et al. (2025, March 19). New DESI results strengthen hints that dark energy may evolve [Press release]. Lawrence Berkeley National Laboratory / NOIRLab.



QuESat گامی بلند به سوی اینترنت کوانتومی

ترنم ملکی

اینترنت کوانتومی با استفاده از ماهواره‌ها می‌تواند پدیده «درهم‌تنیدگی کوانتومی» را در سراسر جهان گسترش دهد. درهم‌تنیدگی، نوعی ارتباط ویژه میان ذرات کوانتومی است؛ به‌طوری که حتی اگر این ذرات هزاران کیلومتر از یکدیگر فاصله داشته باشند، تغییر حالت یکی بلافاصله بر دیگری تأثیر می‌گذارد.

اما یکی از چالش‌های اصلی در تحقق اینترنت کوانتومی، اتلاف فوتون‌ها در فیبرهای نوری زمینی است. پس از طی مسافتی در حدود ۱۰۰ کیلومتر، بخش زیادی از فوتون‌ها جذب یا پراکنده می‌شوند. برای رفع این مشکل، از تکرارکننده‌های کوانتومی استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها نقشی مشابه ایستگاه‌های تقویت‌کننده در مخابرات کلاسیک دارند، اما به دلیل ماهیت اطلاعات کوانتومی، نمی‌توانند سیگنال‌ها را مستقیماً تقویت یا کپی‌برداری کنند (به دلیل اصل عدم تکثیر کوانتومی).

در عوض، تکرارکننده‌های کوانتومی با بهره‌گیری از درهم‌تنیدگی، مسیرهای طولانی را به بخش‌های کوتاه‌تری تقسیم می‌کنند. در هر ایستگاه، ابتدا دو بخش مجاور درهم‌تنیده می‌شوند و سپس با انجام فرآیند «انتقال درهم‌تنیدگی»، ارتباط میان دو نقطه دوردست برقرار می‌شود. این روش نیازمند حافظه‌های کوانتومی برای نگهداری موقت فوتون‌هاست، اما متأسفانه این حافظه‌ها بسیار گران و ناکارآمد هستند.

در این میان، سامانه‌هایی مانند QuESat تلاش دارند وابستگی به تکرارکننده‌های زمینی را کاهش دهند. این سامانه از ماهواره‌های مدار پایین بهره می‌گیرد تا فوتون‌ها را از طریق مسیرهای تقریبی خالص (فضا) منتقل کند؛ محیطی که اتلاف انرژی در آن بسیار ناچیز است (مثلاً حدود ۰.۰۰۰۱ دسیل بر کیلومتر، در مقایسه با حدود ۰.۲ دسیل در فیبر نوری). البته چالش اصلی اینجاست که ماهواره‌ها همواره در حال حرکت‌اند و بنابراین، مسیرهای ارتباطی باید به‌طور پیوسته و هوشمندانه بازیکربندی شوند.

QuESat با استفاده از الگوریتم‌های خاصی، مسیرهای بهینه را برای ارتباط کوانتومی انتخاب می‌کند؛ این الگوریتم‌ها بر پایه احتمالات و تحلیل‌های محاسباتی پیشرفته طراحی شده‌اند و می‌توانند در هر لحظه بهترین مسیر موجود را تشخیص دهند.

در ترکیب با شبکه‌های زمینی، این سیستم به گونه‌ای عمل می‌کند که برای مسافت‌های کوتاه (مثلاً بین دو شهر)، از فیبرهای نوری معمولی استفاده می‌شود، و برای مسافت‌های طولانی (مثلاً بین ایران و آمریکا)، مسیرهای ماهواره‌ای به‌کار گرفته می‌شوند. به این ترتیب، فوتون‌ها مانند «پیام‌رسان‌های نوری بین‌المللی» از طریق فضا منتقل می‌شوند.

در یک شبیه‌سازی که با استفاده از ۱۰ ایستگاه زمینی و ۱۵۰ ماهواره انجام شد، عملکرد QuESat با شبکه‌های ارتباطی فعلی مقایسه شد. نتایج نشان دادند که QuESat توانست بین ۶۰ تا ۸۰ درصد از درخواست‌های ارتباطی کاربران را پاسخ دهد؛ در حالی که شبکه‌های زمینی موجود، موفقیت زیر ۲۰ درصد را تجربه کردند. این فناوری می‌تواند گامی بزرگ در جهت تحقق اینترنت کوانتومی واقعی باشد و در حوزه‌هایی مانند رمزنگاری امن، محاسبات کوانتومی از راه دور و سنسورهای فوق‌حساس کاربردهای چشمگیری داشته باشد.

منبع

Gu, H., Yu, R., Li, Z., Wang, X., & Xue, G. (2025, January 26). QuESat: Satellite-Assisted Quantum Internet for Global-Scale Entanglement Distribution [Preprint]. [arXiv. link](#)

پدیده درخت الکتریکی و گسیل نوری سبز در PLEC ها

سیده صبا نورانی

در پژوهشی جدید، تیمی از دانشگاه کویینز در انتاریو، کانادا، به سرپرستی پروفیسور جون گائو، کشف غیرمنتظره‌ای در عملکرد سلول‌های الکتروشیمیایی نوری پلیمری (PLEC) داشته‌اند. در این مطالعه، هنگامی که ولتاژ معکوس بالا (۱۰۰۰ ولت) به یک PLEC با ساختار صفحه‌ای اعمال شد، علاوه بر نور قرمز معمولی، فلاش‌های سبز رنگ منحنی‌مانند در نزدیکی الکتروود نوع منفی مشاهده شد. این پدیده که پیش‌تر در مواد پلیمری دیده نشده بود، به‌عنوان «درخت الکتریکی» (electrical treeing) شناخته می‌شود.

کشف فلاش‌های سبز در PLEC

در حین آزمایش، تیم تحقیقاتی متوجه شد که در ناحیه نزدیک به الکتروود نوع منفی، فلاش‌های سبز رنگی ظاهر می‌شوند که با نور قرمز معمولی هم‌زمان نیستند. این فلاش‌ها به‌صورت منحنی و در نواحی خاصی از سطح پلیمر مشاهده شدند، که نشان‌دهنده پدیده‌ای جدید در رفتار الکتریکی مواد پلیمری است.

تحلیل پدیده و دلایل احتمالی

تحقیقات نشان داد که این فلاش‌های سبز به دلیل تعامل الکترون‌ها با گازهای تولیدشده از سطح تخریب‌شده پلیمر ایجاد می‌شوند. این کشف می‌تواند به درک بهتر مکانیزم‌های خرابی در مواد پلیمری و بهبود طراحی و عملکرد دستگاه‌های مبتنی بر پلیمر کمک کند.

تأثیرات بر طراحی و کاربردهای PLEC

این یافته‌ها می‌تواند تأثیرات مهمی در طراحی و بهبود عملکرد PLEC ها داشته باشد. با درک بهتر مکانیزم‌های خرابی و رفتار الکترونیکی این مواد، می‌توان به توسعه دستگاه‌های الکترونیکی و اپتوالکترونیکی با کارایی بالاتر و عمر طولانی‌تر دست یافت.

نتیجه‌گیری

این کشف جدید در حوزه فیزیک ماده چگال، به‌ویژه در زمینه مواد پلیمری و نیمه‌رساناها، می‌تواند راهگشای توسعه فناوری‌های نوین در دستگاه‌های الکترونیکی و اپتوالکترونیکی باشد. تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند به بهبود عملکرد و کارایی این مواد در کاربردهای مختلف منجر شود.

منبع

Phys.org. (2025, April 5). Hey, that's green! Polymer semiconductor developed by Korean researchers is super environmentally friendly. [link](#)

Genius.

بررسی سریال نابغه: اینشتین؛ نگاهی به نبوغ، انسانیت و تاریخ

عسل جعفری



سریال مستند-درام *Genius*، محصول شبکه *National Geographic*، در هر فصل به زندگی یکی از چهره‌های تاثیرگذار تاریخ علم و فرهنگ می‌پردازد. فصل نخست این مجموعه که در سال ۲۰۱۷ به نمایش درآمد، به زندگی آلبرت اینشتین می‌پردازد؛ فیزیک‌دانی که نام او نه تنها با برخی از مهم‌ترین نظریه‌های علمی قرن بیستم گره خورده، بلکه در حافظه تاریخی بشر به عنوان نماد نبوغ شناخته می‌شود.

در این فصل، زندگی اینشتین را به طور موازی در دوران نوجوانی (با بازی جانی فلین) و میانسالی (با بازی جفری راش) روایت می‌شود. این ساختار، نه تنها باعث جذابیت روایت شده، بلکه به مخاطب امکان می‌دهد میان دو مقطع تاریخی و فکری این شخصیت، ارتباط برقرار کند. چیزی که این سریال را از بقیه سریال‌های بیوگرافی جدا می‌کند، نشان دادن شخصیت اینشتین است. در این میان، نه صرفاً زندگی‌نامه‌ای از یک دانشمند، بلکه پرتله‌ای چندلایه از انسانی است که در بستر تحولات اجتماعی، سیاسی و علمی دوران خود شکل گرفت و بر آن تأثیر گذاشت.

عنوان: نابغه: اینشتین (Genius: Einstein)

سال ساخت: ۲۰۱۷

کارگردان: مجموعه توسط چند کارگردان مختلف ساخته شده که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به جیمز هاوز و رون شلتون اشاره کرد. تهیه‌کننده اجرایی اصلی، ران هاوارد است.

ژانر: زندگینامه‌ای، درام تاریخی، علمی

هنرپیشگان:

جفری راش در نقش آلبرت اینشتین در دوران پیری

جانی فلین در نقش اینشتین جوان

سامانتا کولی، امیلی واتسون، و رالف براون در نقش‌های مکمل

مدت زمان: هر قسمت حدود ۵۰ تا ۶۰ دقیقه زمان دارد.

امتیاز:

IMDb: امتیاز ۸.۲ از ۱۰

Prime Video: امتیاز ۸.۲ از ۱۰

Rotten Tomatoes: امتیاز ۷۱٪ از منتقدان

شخصیتی که از اینشتین در این سریال می‌بینیم، صرفاً یک دانشمند و حل‌کننده معادلات فیزیکی نیست، بلکه فردی است که با دستگاه‌های قدرت علمی، و فضای سیاسی نژادپرستانه و ایدئولوژیک دوران خود مواجه است. مثلاً نمایش رویارویی اینشتین جوان با نظام آموزشی خشک و بی‌روح آلمان، یا نحوه واکنش او به اوج‌گیری نازیسم و خطرات ناشی از آن برای یهودیان، مهاجران و روشنفکران است.

علاوه بر این می‌بینیم که او در بسیاری از مسائل شخصی، رفتاری غیرقابل پیش‌بینی و گاه آسیب‌زا برای اطرافیانش از خود نشان می‌دهد. سریال هیچ شرمی از نشان دادن ناتوانی‌های اینشتین به‌عنوان یک همسر و پدر ندارد. روابط عاطفی‌اش با میلو ماربیچ، همسر اولش، نمونه‌ای از ضعف او برای نگهداری روابطش است. اینشتین، با وجود تأکید مکرر بر ارزش‌های انسانی، در زندگی خصوصی‌اش گاه از این اصول فاصله می‌گیرد. پس می‌توان گفت با اینکه او دارای نبوغ علمی بالایی بوده است، اما این معادل نبوغ روانی و اخلاقی نیست. که دقیقاً یکی از هدف‌های همین سریال پرسیدن

سوال "آیا می‌توان از دانشمندان بزرگ، تصویری آرمانی و بی‌نقص ارائه داد؟ یا باید آن‌ها را همچون سایر انسان‌ها، در متن ضعف‌ها، ترس‌ها و خطاهایشان دید و تحلیل کرد؟"

یکی از نقاط قوت این سریال، توانایی آن در انتقال مفاهیم پیچیده علمی در قالبی دراماتیک، قابل فهم و بدون ساده‌سازی بیش از حد و قربانی شدن دقت علمی برای جذابیت داستان است. برای مثال، آزمایش فکری «آسانسور» که اینشتین در آن گرانش را بررسی می‌کند، به خوبی نشان می‌دهد که چگونه او به اصل هم‌ارزی رسید که مبنای نظریه نسبیت عام شد. همچنین، سریال به‌طور گذرا اما

موثر، به فرمول معروف $E = mc^2$ می‌پردازد. اگرچه توضیح ریاضی مفصل آن در قالب درام ممکن نیست، اما اثرگذاری این معادله در زمینه‌های مختلف از جمله انرژی هسته‌ای و فیزیک ذرات، در بستر روایت و دیالوگ‌ها گنجانده شده است.

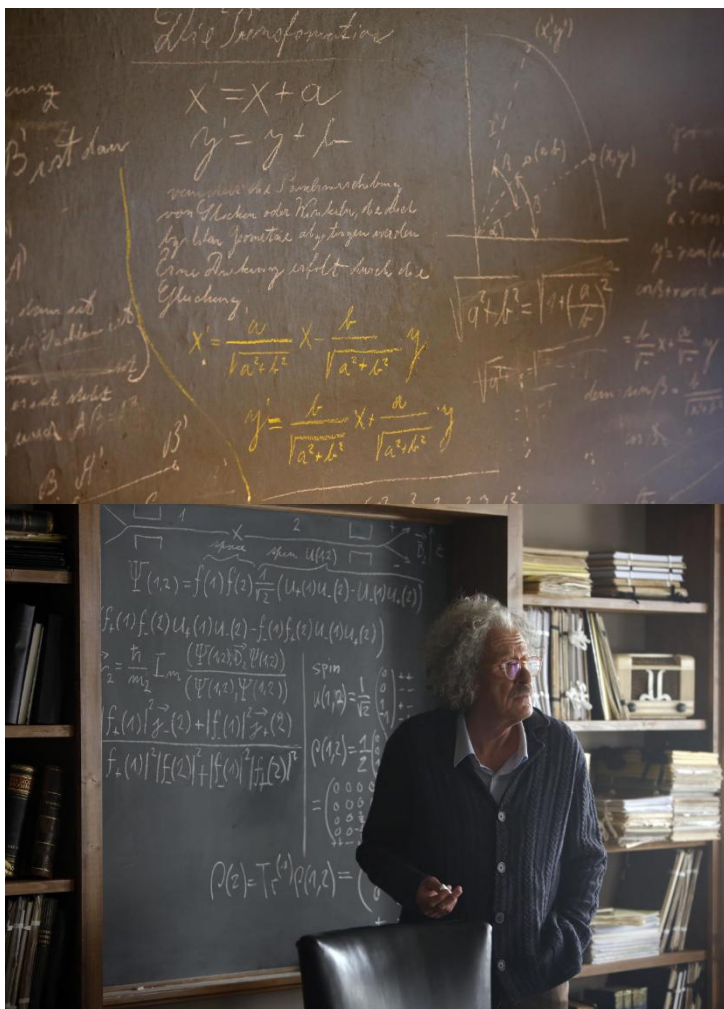
در کنار پرداختن به جنبه‌های علمی زندگی اینشتین، سریال به جنبه‌های تاریخی و سیاسی نیز توجه ویژه‌ای دارد. به‌ویژه زمانی که جنگ جهانی دوم به‌عنوان پس‌زمینه‌ای مهم وارد داستان می‌شود. با

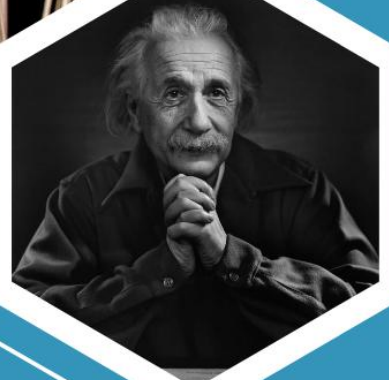
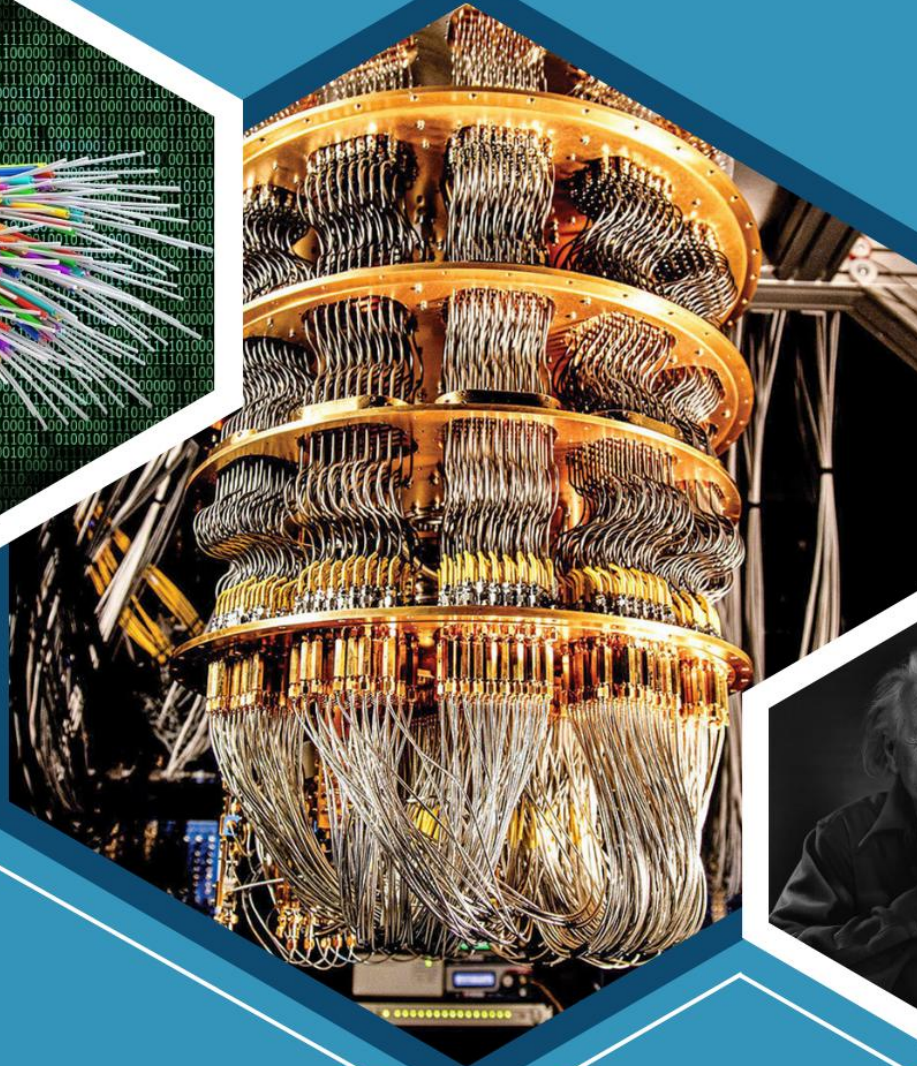
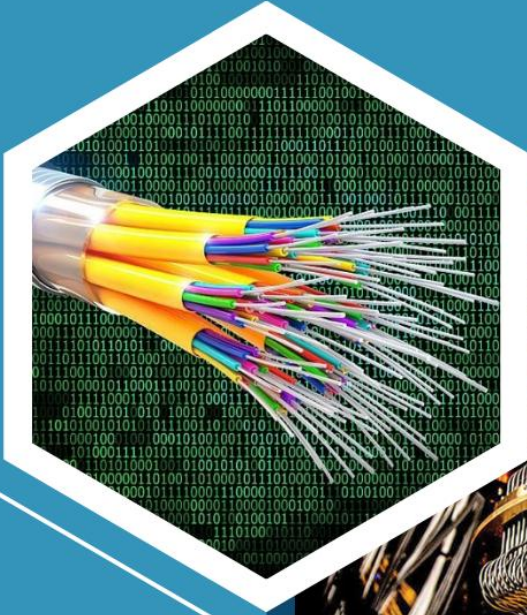
به‌قدرت رسیدن نازی‌ها در آلمان و تهدیدات روزافزون علیه یهودیان، اینشتین که خود یک یهودی شناخته‌شده بود، ناچار به ترک کشورش و مهاجرت به ایالات متحده شد. در آنجا علاوه بر ادامه تحقیقات علمی، به یکی از مخالفان سرسخت نازی‌ها تبدیل شد.

از نظر فنی، سریال با طراحی صحنه و لباس دقیق و موسیقی متن متناسب، فضای اوایل قرن بیستم را به خوبی بازسازی می‌کند و کارگردانی ران هاوارد و دیگران، با بهره‌گیری از تکنیک‌های سینمایی، به روایت داستان عمیق و جذابیت می‌بخشد.

در نهایت، **Genius** به‌عنوان یک روایت بیوگرافیک علمی،

به خوبی توانسته است میراث علمی و اخلاقی اینشتین را با روایتی جذاب و در دسترس برای مخاطب عمومی، به تصویر بکشد. در واقع می‌توان گفت که این سریال از سطح یک بازسازی تاریخی فراتر می‌رود و به نوعی تأمل فلسفی درباره جایگاه علم در جامعه و چالش‌های اخلاقی دانشمند تبدیل می‌شود. اینشتین این سریال، الگویی نیست که صرفاً برای ستایش ساخته شده باشد، بلکه انسانی است که در بستر تضادها و بحران‌ها و اشتباه‌ها معنا می‌یابد. این اثر می‌تواند نه فقط یک تجربه سرگرم‌کننده، بلکه نقطه‌ای برای تأمل عمیق درباره پیوندهای میان نبوغ، دانش و قدرت باشد.





[physicskntu](https://www.physicskntu.com)



[kntuphysics](https://www.kntuphysics.com)



[physics-kntu](https://www.linkedin.com/company/physics-kntu)



Kntu.physics.association@gmail.com