فیزیک روز

فصلنامهٔ علمی-ترویجی انجمن فیزیک ایران
شمارهٔ پنجم. تابستان ۱۳۹۳

دیباچهٔ ۲

اخبار ۳
- بانوی ایرانی برندهٔ معتبرترین جایزهٔ جهانی ریاضیات
- رامین گلستانیان برندهٔ جایزهٔ هول‌وک ۲۰۱۴
- هفتمین دورهٔ جشنواره و نمایشگاه سالانهٔ فناوری نانو
- پنجمین همایش بین المللی علوم و فناوری نانو
- کنفرانس بین‌المللی اطلاعات کوانتومی در اصفهان
- اعزام تیم المپیاد نجوم به رومانی
- پژوهشگران کوچکترین نیرویی را که تاکنون اندازه‌گیری شده آشکارسازی می‌کنند.
- نوترینوی سترون نامزد مادهٔ تاریک
- مطالعهٔ تازه‌ای که به کشف راز ابررسانایی دمای بالا کمک کرده است.
- شکل‌دهی هوشمندانه‌تر پالس‌ها در فیبر نوری
- دافعه به فشرده‌سازی AND در ویروس کمک میکند.
- رابطه‌ای جهانشمول برای تهی‌جاهای کیهانی
- برونو زومینو درگذشت.

مقاله ۱۲
- مارپیچش رشتهٔ باریک عسل: ناپایداری ریسمان شاره
- فیزیک خورشید
- آشنایی با اثر کازیمیر
- مصاحبه با کامران وفا

فیزیک در جامعه ۳۲
- باستان‌سنجی، راه ارتباطی علوم طبیعی و باستان شناسی

معرفی کتاب ۳۸
- معرفی کتاب: پرسش و پاسخ با استیون واینبرگ
- معرفی کتاب: نظریهٔ کوانتومی

پژوهش‌های روز ۴۱
- خود آرایی نانو ذرات پلاتین روی سطح گرافین
- در جستجوی مادهٔ تاریک با همگرایی گرانشی ضعیف گذری

پرسش‌های این شماره ۴۵
- پاسخ پرسش‌های شمارهٔ قبل
- پرسش‌های این شماره

اخبار انجمن فیزیک ۴۷
- کنفرانس فیزیک ایران
- دومین کارگاه و سمینار پیشرفت‌های اخیر در فیزیک نظری
- هفتمین کنفرانس فیزیک آماری
- مدرسهٔ ملی گرانش و کیهان‌شناسی ۱۳۹۳
- فراخوان چهارمین دورهٔ «جایزهٔ علیمحمدی»
- گردش مجازی دانش آموزان ایرانی در CERN
- دومین کارگاه یک روزهٔ اپتیک تکنیک ماره و کاربردهای آن
- باشگاه فیزیک
- دومین مدرسهٔ پیشرفتهٔ سامانه‌های دوبعدی، از نیم‌رساناها تا مواد دو بعدی نوین
- دکتر وفا در ایران

تصویر روی جلد:

مارپیچش لختی،
توضیحات کامل در شکل۲ صفحهٔ ۱۴.

صاحب امتیاز: انجمن فیزیک ایران

مدیر مسئول:هادی اکبرزاده
(رئیس انجمن فیزیک ایران)

سردبیر: کیوان آقابابایی سامانی

هیئت‌دبیران: محمدرضااجتهادی، سیدنادررسولی، سیما قاسمی، فرهنگ لران، حمیدرضا مشفق، سامان مقیمی عراقی،مانیا ملکی

مشاور این شماره: ماندانا فرهادیان

مسئول اجرایی: الهام صادقی

صفحه‌آرا: الهام صادقی

- نسخهٔ الکترونیکی «فیزیک روز» از طریق وبگاه آن قابل دسترسی برای مشترکین و اعضای انجمن فیزیک ایران است.
- استفاده از مطالب «فیزیک روز»بدون کسب اجازه مجاز نیست. برای آگاهی از شرایط به وبگاه مجله مراجعه کنید.

www.psimag.ir

انجمن فیزیک ایران

تهران، میدان توحید، ابتدای خیابان نصرت غربی، شماره‌ی۱۴، طبقه‌ی چهار
وبگاه انجمن فیزیک ایران: www.psi.ir

بردگان پژوهشی

محمدرضا اجتهادی
دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

آنچه یک دانشگاه را از یک مرکز آموزشی پیشرفته، یک مرکز تربیت دبیر، یک آموزشگاه کار آموزی یا یک دبیرستان بزرگ متمایز می‌کند پژوهش است. آنچه دانشگاه‌های مختلف دنیا را از هم متمایز می‌کند نیز توان پژوهشی آن‌هاست. هرکدام در این زمینه موفق‌تر است، پر آوازه‌تر است.

در کشورمان مدت‌هاست ساختمان‌هایی به نام دانشگاه داریم ولی عمر پژوهش در آن‌ها بسیار کوتاه است. تقریباً شروع فعالیت‌های پژوهشی با آغاز دوره‌های تحصیلات تکمیلی و به خصوص دکتری در چند دانشگاه پیشرو در کشور همزمان است. این یک تصادف نیست. پژوهش به همکاری پژوهشگر و اجتماع علمی نیازمند است و این همکاری بدون دانشجو ناقص است. حال بعد از گذشت مدتی از شروع این دوره‌ها جای سؤال دارد که جایگاه دانشجویان دکتری در سیستم آموزش و دانشگاه‌های ما کجاست؟ آیا دوره‌های دکتری کیفیت مناسبی دارند؟ و آیا سیاست افتخار به افزایش آمار دانشجویان که به خصوص در دولت‌های نهم و دهم به شدت نمایان بود سیاست درستی است؟

برای ورود به این بحث باید در ابتدا بر سر جایگاه دانشگاه و یا تعریف آن اتفاق نظر داشت. اگر توصیفی که در ابتدای این نوشتار ارائه شد مورد توافق باشد و پژوهش یکی از وظایف مهم دانشگاه باشد، آن‌گاه دانشجوی دکتری در کنار دیگر ملازمات این امر مانند استاد و آزمایشگاه و کتابخانه باید برای حصول محصول به استخدام دانشگاه در بیاید. در این تصویر دانشگاه باید همان‌گونه که برای دیگر ملزومات هزینه می‌کند برای دانشجوی دکتری نیز هزینه بپردازد. این مدلی است که در بیشتر دانشگاه‌های معتبر دنیا به کار برده می‌شود. دانشجویان دکتری از حقوقی برخوردارند که نیازهای زندگی را به خوبی رفع می‌کند تا در مدت کوتاه زندگی دانشجویی، دغدغه‌ای به غیر از پژوهش نداشته باشند و تمام و کمال در خدمت اهداف پژوهشی دانشگاه باشند. حضور دانشجو دکتری در چنین فضایی چندین فایده در کنار هم دارد. به گروه علمی خودیاری می‌رساند تا پژوهشی همگام با خط مقدم علم جهانی انجام دهد. محصولی که تولید می‌کند دانشی است که بر دانش بشری افزوده می‌شود که اگر مرغوب باشد و ارزشمند، سریع دیده خواهد شد و مورد توجه قرار خواهد گرفت. اگر کاربردی باشد مشتری می‌یابد و اگر بنیادی، قدمی در ساختن آینده برداشته شده است، و اعتباری برای کشور، دانشگاه، استاد و دانشجو به‌دست می‌آید. البته این فرایند فایده‌ای دیگر نیز دارد. در حقیقت محصول جانبی این فرایند کسانی هستند که قرار است که نه تنها از دانشی که کسب کرده‌اند، بلکه از آموخته‌های خود در چگونگی مواجه با مشکلات و مسائلی که کس دیگری پاسخی برای آن‌ها ندارد، قدم در حل مشکلات آینده بگذارند.

اندیشمندانی که می‌توانند در تربیت نسل بعدی پژوهشگران، یاور باشند و چرخهٔ پژوهش و پژوهشگر را پا برجا نگه دارند.ولی اگر دانشگاه را تنها یک مرکز آموزشی بدانیم دید ما نسبت به دانشجوی دکتری کاملاً متفاوت خواهد بود. در این دید ما او را مانند ماده اولیه و خامی می‌بینیم که نقطهٔ آغازین خط تولیدی است که محصول نهاییش«دکتر» است. اکنون این دکترهای آینده نه محصول جانبی، که تولید اصلی و توجیه وجودی دوره‌های دکتری در دانشگاه هستند. با این نگاه بدیهی است که دانشگاه می‌تواند برای خدمات آموزشی خود برای تولید این محصول پول مطالبه کند و منتفع گردد.[1] شاید این نوع نگاه بر دانشگاه و فلسفهٔ وجودی آن درمقاطع پایین‌تر تحصیلی نگاهی درست و قابل دفاع باشد. بالأخره یکی از مهمترین وظایف دانشگاه تربیت نیروی کار متخصص‌است. مهندس، تکنسین، کاردان، مدیر، سیاست مدار و معلم. ولی اگر این نگاه تربیتی به دورهٔ دکتری تعمیم داده شود با این سؤال مواجه می‌شویم که تربیت «دکتر»برای چه؟ آیا فقط به این منظور که آن‌ها نیز برایمان «دکتر» تربیت کنند و فرایند تولید «دکتر» در یک واکنش زنجیره‌ای به انفجار منجر شود؟ متأسفانه این نگاه دوم در سال‌های اخیر در آموزش عالی غالب بوده است و درنتیجه باعث شده که دانشگاه‌ها برای بالا بردن آمار تولید تلاش کنند و از کیفیت تولید خود غفلت کنند.در شرایطی که داشتن دانشجوی دکتری برای دانشگاه نه تنها هزینه ای ندارد بلکه به جذب بودجه بیشتر کمک می‌کند نگرانی بر کیفیت و بازده قابل اغماض است. در کمال تأسف نمودارهای آمار تولید و جذب دانشجویان دکتری نشان از آغاز این واکنش زنجیره ای دارد و اگر چاره ای برای کنترل آن اندیشه نشود به زودی شاهد آثار انفجاری آن خواهیم بود.

شاید بهترین راه برای کنترل این فرایند، آن باشد که در هدف گذاری دوره‌های دکتری به نگاه پژوهش‌محور بازگردیم. دانشگاه باید دانشجو را برای پژوهشی جذب کند که ارزشش را داشته باشد و برای اثبات این امر دانشگاه‌هایمان‌را موظف کنیم که به دانشجویان دکتری حداقل معادل کمینهٔ حقوق مصوب وزارت کار حقوق بپردازند. دانشجوی دکتری بودن را به عنوان یک شغل غیر دائمی و چند ساله نگاه کنیم. برایش بیمه و سنوات در نظر بگیریم و به این جوانان فعال و توانا حداقل به چشم کارگران پژوهشی دانشگاه‌ها نگاه کنیم تا این باعث شود که دانشگاه‌ها نسبت به جذب متعادل دانشجوی دکتری دقت بیشتری کنند. شاید به اینگونه احترام و کرامت انسانی این دستیاران پژوهشی امروز و پژوهشگران و اساتید آینده نیز حفظ شود. فراموش نکنیم که ایشان همکاران فردای ما هستند و نه بردگان پژوهش.

بانوی ایرانی برندهٔ معتبرترین جایزهٔ جهانی ریاضیات

مریم میرزاخانی ریاضی‌پیشهٔ ایرانی و استاد دانشگاه استنفورد، برندهٔ «مدال فیلدز» (Fields Medal)، معتبرترین جایزهٔ ریاضیات در جهان شده است. مدال فیلدز که به نوبل ریاضی معروف است، هر چهار سال یک بار در کنگرهٔ بین المللی ریاضیات به ۲ تا ۴ ریاضی‌پیشهٔ زیر ۴۰ سال داده می شود؛ خانم میرزاخانی، نخستین زن و اولین ایرانی است که توانسته این جایزه را دریافت کند. وی که ۳۷ سال دارد، دانش‌آموختهٔ دانشگاه صنعتی شریف تهران و دانشگاه هاروارد آمریکا و از برندگان دو دورهٔ المپیاد جهانی ریاضی بوده است.کنگرهٔ جهانی ریاضیات امسال در سئول پایتخت کرهٔ جنوبی برگزار شد. مریم میرزاخانی به خاطر تحقیقاتش در زمینهٔ دینامیک و هندسهٔ رویه‌های ریمانی و فضاهای پیمانه‌ای آن‌ها این جایزه را دریافت کرده است. او پیش از این هم جوایز متعددی در رشتهٔ ریاضیات دریافت کرده بود. در سال ۲۰۰۶ مجله «پاپیولار ساینس» او را به عنوان یکی از ۱۰ نابغهٔ آمریکای شمالی معرفی کرد. سه ریاضی‌پیشهٔ دیگر، «آرتور آویلا» از برزیل،«منجول بارگاوا» نظریه‌دان اعداد در دانشگاه پرینستون و «مارتین هایرر» از دانشگاه وارویک در بریتانیا برندگان دیگر امسال هستند.

منبع: ایرنا

رامین گلستانیان برندهٔ جایزهٔ هول‌وک ۲۰۱۴

دکتر رامین گلستانیان، فیزیک پیشهٔ ایرانی و استاد دانشگاه آکسفورد برندهٔ مدال هول‌وک (Holweck) در سال ۲۰۱۴ شد. این جایزه ۷ اوت طی مراسمی در گردهمایی مادهٔ چگال در پاریس به خاطر «نقش پیشروی ایشان در زمینهٔ مواد نرم فعال و بخصوص شناگران میکروسکوپی و ذرات کولوییدی فعال» به ایشان اهدا خواهد شد.

دکتر گلستانیان تحصیل کردهٔ ایران است. کارشناسی فیزیک را در دانشگاه صنعتی شریف خوانده و کارشناسی ارشد و دکتری را در دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان به پایان رسانده است. جایزهٔ هول‌وک جایزه‌ای است که از سال ۱۹۴۵ به صورت مشترک توسط انجمن‌های فیزیک فرانسه و انگلستان به فیزیک‌پیشگانی که طی ده سال قبل از دریافت جایزه کاری برجسته در زمینهٔ فیزیک انجام داده باشند اهدا می‌شود. این جایزه به یادبود «فرناند هول‌وک»، مدیر آزمایشگاه کوری که در زمان اشغال فرانسه توسط نازی‌ها در جنگ جهانی دوم شکنجه و کشته شد به اسم او نامگذاری شده است.

هفتمین دورهٔ جشنواره و نمایشگاه سالانهٔ فناوری نانو

هفتمین دورهٔ جشنواره و نمایشگاه سالانهٔ فناوری نانو به عنوان بزرگ‌ترین رویداد فناوری و تجاری ایران از تاریخ ۱۴ تا ۱۸ مهرماه ۹۳ با حضور جمع کثیری از نهادهای داخلی و خارجی در محل دائمی نمایشگاه‌های بین المللی تهران –سالن‌خلیج فارس– برگزار خواهد شد. نمایشگاه فناوری نانو که به صورت سالیانه توسط ستاد توسعهٔ فناوری نانو برگزار می‌شود، بزرگ‌ترین و معتبرترین نمایشگاه داخلی در حوزهٔ فناوری نانو و دومین نمایشگاه فناوری نانوی آسیا به شمار می‌رود.

پنجمین همایش بین المللی علوم و فناوری نانو

همراه با روند رو به رشد نانوفناوری در دنیا که از آن به عنوان «انقلاب صنعتی آینده» نام می برند، و با توجه به برگزاری موفق چهار دوره همایش بین‌المللی علوم و فناوری نانو که طی سال‌های ۱۳۸۵،۱۳۸۷، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱ با استقبال چشم‌گیر اندیشمندان و صاحب‌نظران داخلی و خارجی به ترتیب در دانشگاه‌های تهران، تبریز، شیراز و کاشان برگزار شد، انجمن نانوفناوری ایران در نظر دارد پنجمین همایش خود موسوم به ICNN2014 را در روزهای ۳۰ مهر الی ۲ آبان ماه سال ۹۳ با همکاری مراکز علمی، پژوهشی و صنعتی کشور در دانشگاه تربیت مدرس برگزار کند. محورهای این همایش عبارتند از: نانوشیمی، نانومواد، نانوبهداشت، نانوبیوتکنولوژی، نانوفیزیک و نانوالکترونیک و NEMS، نانومحاسبات و مدلینگ و تجارت. اطلاعات تکمیلی در خصوص این همایش از طریق وبگاه

http://www.nanosociety-ir.com/?se=۱

و همچنین سایت انجمن نانوفناوری ایران www.nanosociety-ir.com در دسترس است.

کنفرانس بین‌المللی اطلاعات کوانتومی در اصفهان

برای پنجمین بار در ایران کنفرانس بین‌المللی اطلاعات کوانتومی با حضور فیزیک‌پیشگان ۱۰ کشور جهان برگزار می‌شود. این کنفرانس به همت دانشگاه صنعتی شریف و با همکاری مؤسسهٔ علوم و فنون کوانتوم دانشگاه کالگری کانادا پانزدهم تا نوزدهم شهریورماه در دانشگاه صنعتی اصفهان برگزار می‌شود. رایانش کوانتومی از مهم‌ترین موضوعات مورد بحث پژوهشگران در این کنفرانس خواهد

بود و دکتر «ولاتکو ودرال» از دانشگاه آکسفورد، کلاوس مالمر از دانشگاه آرهوس دانمارک و کیم میانگشیک از کالج سلطنتی انگلستان سخنرانی‌های جامع خود را ارائه می‌کنند. برگزاری یک کارگاه آموزشی نیز بخشی از برنامهٔ کنفرانس است. طی پنج روز برگزاری کنفرانس، ۱۷ سخنرانی و بیش از ۵۰ مقاله در محورهای رایانش کوانتومی، شبیه‌سازی کوانتومی، کانال‌های کوانتومی، درهم تنیدگی و مدل‌های رایانش ارائه می‌شود. دکتر وحید کریمی‌پور، دبیر ایرانی کنفرانس بین‌المللی اطلاعات کوانتومی در این‌باره گفت: توسعه دانش اطلاعات کوانتومی ما را به جایی می‌رساند که بتوانیم روی یک اتم اطلاعات را ذخیره کنیم. چنین دستاوردی می‌تواند به ساخت رایانه‌هایی با سرعت‌های حیرت‌انگیز بینجامد. کریمی‌پور افزود در کشور ما نیز با وجود تمام کمبودها، فعالیت‌های گروه پژوهشی اطلاعات کوانتومی دانشکدهٔ فیزیک دانشگاه صنعتی شریف طی ۱۳ سال موجب شده ایران در میان کشورهای منطقه پیشتاز باشد. وی ادامه داد: چنین دستاوردی در حالی صورت پذیرفته که کل بودجه قطب علمی سامانه‌های پیچیده و مادهٔ چگال که اطلاعات کوانتومی یکی از شاخه‌های آن است، در سال گذشته پنج میلیون تومان بوده است. جالب است ذکر شود، دانشگاه کالگری که در حال حاضر برای برگزاری کنفرانس اطلاعات کوانتومی با دانشگاه شریف همکاری می‌کند تنها برای اجرای یک طرح در این زمینه هفت میلیون دلار بودجه در نظر گرفته است. همین عدم سرمایه‌گذاری حداقلی برای توسعهٔ این دانش موجب شده ما هنوز در بخش نظری باقی بمانیم.

اعزام تیم المپیاد نجوم به رومانی

هشتمین المپیاد جهانی نجوم و اخترفیزیک از دهم تا نوزدهم مردادماه در شهر سوشیه‌وا رومانی برگزار شد. تیم ملی المپیاد نجوم و اخترفیزیک ایران نیز در این المپیاد شرکت کرد.

پژوهشگران کوچک‌ترین نیرویی را که تاکنون اندازه‌گیری شده آشکارسازی می‌کنند.

پژوهشگرانِ آزمایشگاه ملی برکلی و دانشگاه کالیفرنیا توانستند آنچه را که گمان می‌رود کوچکترین مقدار نیرویی باشد که تاکنون اندازه‌گیری شده، ثبت کنند. پژوهشگران با استفاده از ترکیبی از چند لیزر و یک سیستمِ تله‌اندازی نوریِ خاص که ابری از اتم‌های فراسرد به دست می‌دهد، نیرویی درحدود ۴۲ یوکتونیوتون را اندازه گرفتند. هر 10^{24} یوکتونیوتون یک نیوتون است.

دن استمپر ـ کورن، فیزیک‌پیشه‌ای که جلسات ارتباطیِ بخشِ علوم موادِ آزمایشگاه برکلی و گروه فیزیک دانشگاه کالیفرنیا را برگزار می‌کند، گفته است: «در یک کاواک اپتیکی خیلی ظریف، یک نیرویِ خارجی به حرکتِ مرکزجرمِ ابری از اتم‌های فراسرد وارد کردیم و حرکتِ منتجه را با یک ابزار اپتیکی اندازه گرفتیم. وقتی که نیروی اعمال شده بسامد نوسان ابر را تشدید می‌کند، به حساسیتی دست می‌یابیم که با پیش‌بینی‌های نظری سازگار است و فقط ۴ برابر بزرگ‌تر از حد کوانتومی استاندارد است، یعنی حساس‌ترین اندازه‌گیری‌ای که امکان‌پذیر است.»

استمپر ـ کورن نویسندهٔ مسئول مقاله‌ای در مجلهٔ ساینس است که این نتایج را توصیف می‌کند. عنوان مقاله «اندازه‌گیری اپتیکی نیرو در نزدیکی حد استاندارد کوانتومی» است. سیدنی شرپلر، نیکولاس استپمان، نیتن برامس، تیری بوتر و ماری رز باریوس نویسندگان دیگر مقاله هستند.

اگر بخواهید وجود امواج گرانشی و نوسانات فضا ـ زمان را که نظریهٔ نسبیت عام آلبرت آینشتاین پیش‌بینی می‌کند، تأیید کنید؛ یا بخواهید مشخص کنید که قانون گرانش سر آیزاک نیوتن در مقیاس میکروسکوپی تا کجا صادق است، به آشکارسازی و اندازه‌گیری نیروها و حرکت‌هایی نیاز خواهید داشت که فوق‌العاده کوچک هستند. به عنوان مثال، در رصدخانه تداخل‌سنجی لیزری امواج گرانشی (LIGO) ، دانشمندان در تلاش‌اند تا جابه‌جایی‌هایی به کوچکی یک هزارم قطر پروتون را اندازه‌گیری کنند.

نوسانگرهای مکانیکی شالودهٔ اصلی آشکارسازهای فراحساس نیرو هستند، یعنی سامانه‌هایی که نیروی اعمال‌شده را به حرکت مکانیکی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کنند. اما وقتی اندازه‌گیری نیرو و حرکت به دقتی در حد مقادیر کوانتومی می‌رسد، به مانعی برخورد می‌کند که ریشه در اصل عدم قطعیت هایزنبرگ دارد. به این معنی که خودِ عملِ اندازه‌گیری حرکت نوسانگر را مختل می‌کند: پدیده‌ای که به «کنش معکوس کوانتومی» موسوم است. این مانع «حد کوانتومی استاندارد» (SQL[1]) خوانده می‌شود. در چند دههٔ گذشته روش‌های بسیاری به کار گرفته شده‌اند که کنش معکوس کوانتومی را کمینه کنند و تا جای ممکن به حد استاندارد کوانتومی نزدیک شوند، اما بهترین این روش‌ها هم شش تا هشت مرتبه بزرگی از این حد دور بوده‌اند.

سیدنی شرپلر یکی دیگر از اعضای گروه پژوهشی و نویسندهٔ اول مقالهٔ ساینس می‌گوید: «ما نیرو را با دقتی اندازه گرفتیم که تاکنون نزدیک‌ترین مقدار به حد استاندارد کوانتومی بوده است. ما به این دلیل توانستیم به چنین حساسیتی دست یابیم که نوسانگر مکانیکی‌مان فقط ۱۲۰۰ اتم داشت.»

نوسانگر مکانیکی‌ای که شرپلر، استامبر

ـ کورن و همکاران در آزمایش‌شان به کار برده‌اند گازی از اتم‌های روبیدیوم است که در یک تلهٔ نوری در دمای بسیار نزدیک به صفر کلوین به دام افتاده است. تلهٔ نوری از دو میدان نوریِ موج ایستا با طول‌موج‌های ۸۶۰ و ۸۴۰ نانومتر تشکیل شده است که نیروهای محوری برابر و در جهت‌های مخالف به اتم‌ها وارد می‌کنند. حرکتِ مرکزجرم از طریق تغییر دامنهٔ میدانِ نوریِ ۸۴۰ نانومتری در گاز ایجاد می‌شود. پاسخ سامانه با استفاده از یک پرتوِ آشکارگر با طول‌موج ۷۸۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود.

شرپلر می‌گوید: «وقتی یک نیروی خارجی به نوسانگرمان وارد می‌کنیم، مثل این است که با چوبی به آونگی ضربه‌ای بزنیم و سپس واکنش آن را اندازه بگیریم. یک نکتهٔ کلیدی در حساسیت آزمایش و نزدیک شدن به حد کوانتومی استاندارد این است که توانسته‌ایم اتم‌های روبیدیوم را از محیط اطراف جدا کنیم و دمای نزدیک به صفر مطلق آن‌ها را حفظ کنیم. نور لیزری که برای تله‌اندازی اتم‌ها به کار برده‌ایم آن‌ها را از نوفهٔ محیطِ اطراف جدا می‌کند، ولی گرمشان نمی‌کند. به این ترتیب آن‌ها در دمای پایین و حالت تقریباً ایستایی باقی می‌مانند که موقع اعمال نیرو به ما امکان می‌دهد به حدود چنین حساسیتی دست یابیم.»

شرپلر اضافه می‌کند که با استفاده از ترکیبی از اتم‌های سردتر و بهبود بازدهٔ آشکارساز اپتیکی این امکان وجود دارد که حتی بیشتر از این به حد کوانتومی استاندارد نزدیک شد. او همچنین می‌گوید که روش‌هایی برای پرهیز از کنش معکوس نیز وجود دارند که می‌توان با آن‌ها اندازه‌گیری‌های غیرمتعارفی با حساسیت بیشتر انجام داد. در حال حاضر روشِ تجربی‌ای که در این پژوهش ارائه شده است؛ می‌تواند راهی پیش روی دانشمندانی بگذارد که به دنبال آشکارسازی امواج گرانشی هستند تا بتوانند حدود توانایی‌های آشکارسازی‌هایشان را با دامنه و بسامد امواج گرانشی پیش‌بینی شده مقایسه کنند. اکنون برای علاقمندانی که می‌خواهند معلوم کنند که آیا نظریهٔ گرانش نیوتون در ابعاد اتمی نیز صادق است، راهی برای آزمایش گشوده شده است. حساسیت بسیار زیاد به نیرو در این آزمایش همچنین می‌تواند به بهبود روش‌های میکروسکوپی نیروی اتمی کمک کند.

به گفتهٔ شرپلر «مقاله‌ای در سال ۱۹۸۰ پیش‌بینی کرده بود که ظرف ۵ سال به حد کوانتومی دقت اندازه‌گیری دست می‌یابیم. اما ۳۰ سال از زمان آن پیش‌بینی گذشت تا توانستیم آزمایشی طراحی کنیم که به حد کوانتومی بسیار نزدیک شود و همچنین راه‌هایی پیشنهاد کنیم که نوفه را در اندازه‌گیری‌های کوانتومی کم اثر کنیم.»

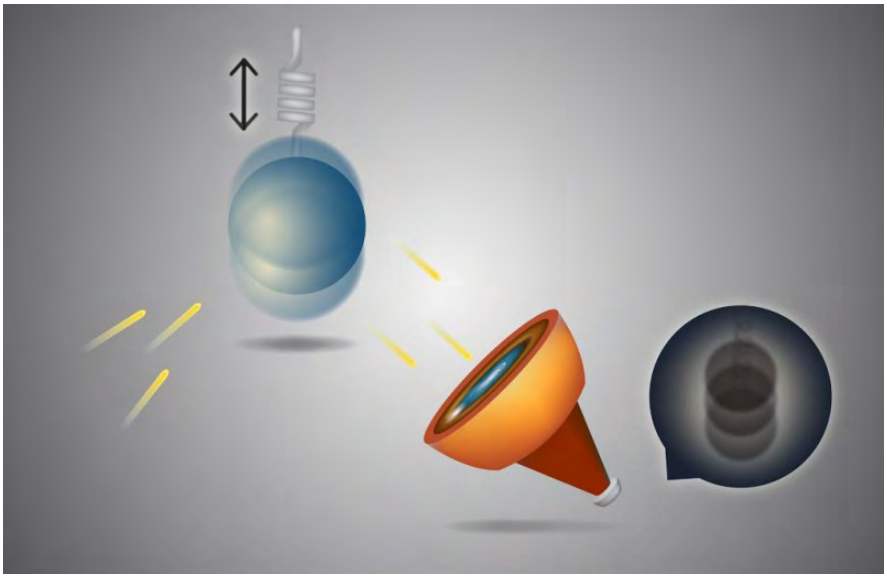
«دفتر نیروی هوایی بنیاد علوم و پژوهش ملی ایالات متحده» از این پژوهش حمایت کرده است.

1 the Standard Quantum Limit

منبع:

ht tp://www.sciencedaily.com/releases/2014/06/140626150924.htm

مترجم: علیرضا ولی‌زاده



نوسانگرهای مکانیکی یک نیروی اعمال شده را به حرکت مکانیکی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کنند. حد استاندارد کوانتوم با استفاده از اصل عدم قطعیت هایزنبرگ تحمیل می‌شود، خودِ عملِ اندازه‌گیری حرکت نوسانگر را مختل می‌کند، پدیده‌ای که به «کنش معکوس کوانتومی» موسوم است.

نوترینوی سترون نامزد مادهٔ تاریک

نوترینویی فرضی که از طریق نیروهای ضعیف برهم‌کنش نمی‌کند، می‌تواند منبعِ یک خط نشریِ پرتوی ایکس باشد که اخیراً کشف شده است و از خوشه‌های کهکشانی می‌آید. اما، مدل‌های قبلی که از نوترینوی به اصطلاح «سترون[1]» به مثابه شکلی از مادهٔ تاریک استفاده می‌کردند، قادر نبودند قیدهای رصدهای کیهانی را برآورده سازند. اکنون، کِوُرک آبازاجیان، از دانشگاه کالیفرنیا در اِروین، در مقاله‌ای در فیزیکال ریویو لترز نشان داده است که نوترینوی سترونی با جرم۷ کیلوالکترون‌ولت می‌تواند نامزدی برای مادهٔ تاریک باشد که هم داده‌های جدید پرتو ایکس را توضیح می‌دهد و هم مشکلات دیرین در شکل‌گیری ساختار کهکشانی را حل می‌کند.

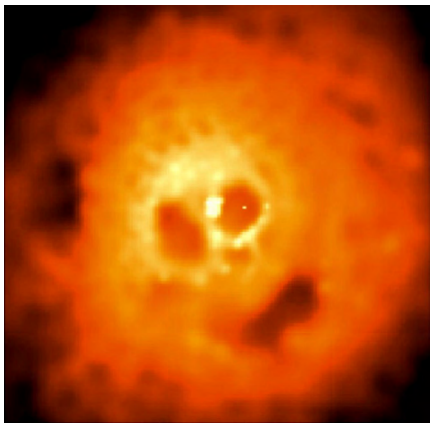
کیهان‌شناسان مدت‌هاست که نوترینوها را ذراتِ احتمالی مادهٔ تاریک می‌دانند. اما چون نوترینوهای معمولی جرمشان خیلی کم است (کمتر از۱ الکترون‌ولت)، برای ایجاد ساختارهای مادهٔ تاریکِ چگال که برای کنار هم نگه داشتن خوشه‌های کهکشانی و کهکشان‌ها لازم است، بیش از حد سریع یا «داغ» هستند. برخلاف آن، نوترینوهای سترون که از نظریه‌های نوترینوی معینی به دست می‌آیند، می‌توانند جرم‌های بزرگ‌تری داشته باشند و به طور طبیعی در انفجار بزرگ از اختلاط طعم نوترینوها به وجود آمده باشند.

مشکل این بود که نوترینوهای سترون واپاشی می‌کنند و سیگنال پرتو ایکسی تولید می‌کنند که کسی مشاهده‌اش نکرده است ـ دست‌کم شاید تا حالا. اوایل سال ۲۰۱۴ تحلیلی از داده‌های خوشهٔ کهکشانی، خط نشری پرتو ایکسی را آشکار کرد که با واپاشی نوترینوی سترونِ ۷ کیلوالکترون‌ولتی سازگار بود. معمولاً مادهٔ تاریکی با این جرم «گرم»تر از آن است که با داده‌های کهکشانی مطابقت داشته باشد. اما آبازاجیان نشان داده است که اگر نوترینوهای سترون از طریق اختلاط طعم نوترینوی تشدیدی تقویت‌شده تولید شده باشند (اثر WSM)، می‌توانند توزیع تکانه‌ای سردتری داشته باشند. وقتی که آبازاجیان این نوترینوها را در یک مدل کیهان‌شناسی قرار داد، فهمید که هم می‌تواند کم بودن تعداد کهکشان‌های اقماری راه شیری را توضیح دهد و هم چگالی‌های مرکزی آنها را، یعنی موضوعاتی که مدل‌های پرطرفدار کنونیِ مادهٔ تاریک سرد قادر به توضیحشان نیستند.

1 Sterile

منبع: Phys. Rev. Lett.112.161303(2014).

مترجم: مریم اشرفی



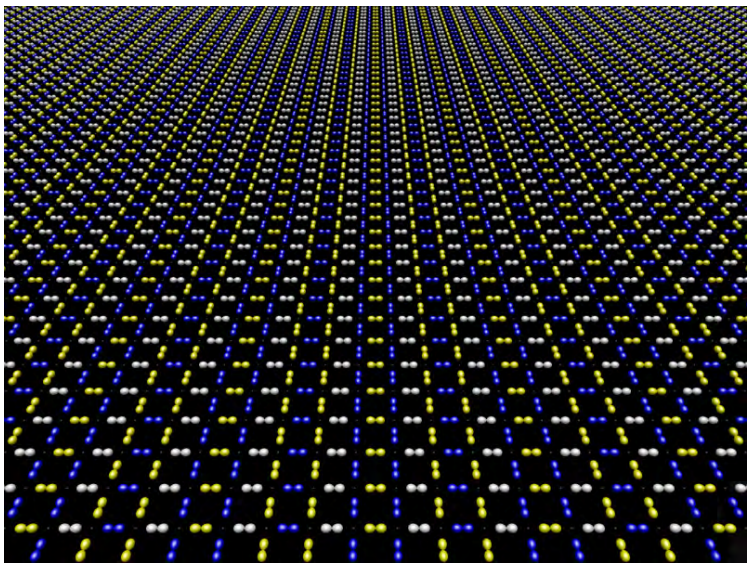
نوترینوی سترون با جرم۷ کیلوالکترون ولت نامزدی برای مادهٔ تاریک

خبر تکمیلی:

در مقالهٔ دیگری که پس از این مقاله در مجلهٔ فیزیکال ریویو لترز چاپ شده، بوریس لایستت و همکارانش دلیل تطابقِ گزارش شده در مقالهٔ فوق بین مشاهدات امواج ریزموج زمینهٔ کیهانی، ساختار بزرگ ـ مقیاس عالم و اندازه‌گیری‌های موضعی ثابت هابل را استفاده از مجموعه داده‌های نادرست یا دارای «تنش» عنوان کرده‌اند. این گروه نشان داده‌اند که این تنش در مدل کیهان‌شناسی تعمیم‌یافتهٔ اخیر که بنابر نتایج BICEP2 پیشنهاد شده هم باقی می‌ماند. با استفاده از مجموعه داده‌های درست، این گروه نتیجه گرفته‌اند که مدل مادهٔ تاریک سرد با ثابت کیهان‌شناسی به مدل فوق برتری دارد و یک حد بالای جرم در حدود ۰/۳ الکترون ولت برای نوترینوهای فعال و نوترینوهای سترون به دست آورده‌اند.

منبع: Phys. Rev. Lett.113.041301(2014).

مطالعهٔ تازه‌ای که به کشف راز ابررسانایی دمای بالا کمک کرده است.



یکی از فیزیک‌پیشگان دانشگاه بینگهامتون و همکارانش می‌گویند که از یکی از رازهای کلیدی پیرامون ابررسانایی دمای بالا پرده برداشته‌اند. پژوهش‌های آن‌ها که در مقاله‌نامهٔ آکادمی ملی علوم آمریکا چاپ شده است، پدیدهٔ جالبِ توجهی را در ابررساناهای اکسید مس (کوپرات‌ها) نشان می‌دهد. مایکل لاولر، استادیار فیزیک بینگهامتون، یکی از اعضای تیم بین‌المللیِ فیزیک‌پیشگان است که به فاز مرموز شبهِ گاف علاقه‌مند هستند. این فاز در نمودار فاز کوپرات‌ها بین فازهای نارسانا و ابررسانا قرار دارد.

این فیزیک‌پیشه در مقالهٔ جدیدش چنین نوشته است: «شواهد دال بر این که این فاز حالتِ موجِ چگالی عجیبی را حفظ می‌کند، که احتمالاً برای وجود خود فاز نقشی کلیدی دارد، روز به روز بیشتر می‌شود.». موجِ چگالی در صورتی در فلز تشکیل می‌شود که الکترون‌های سیال خودشان به حالت بلوری در بیایند.

تیم پژوهشگران با استفاده از یک میکروسکوپ تونلی روبشی برای تجسمِ ساختار الکترونیِ جایگاه‌های اکسیژن در داخل ابررسانا، یک موج چگالی با ساختار اُربیتالی نوع d یافته‌اند. (چگالی الکترونی در نزدیکی هر اتم مس کمی شبیه یک گل داوودی با الگوی متبلور است). این یافته از این جهت تعجب‌برانگیز است که بیشتر امواج چگالی ساختار اُربیتال s دارند؛ و چگالی الکترونی آن‌ها همسان‌گرد است. لاولر می‌گوید: «این الگو چیزی نیست که شما انتظارش را داشته باشید».

در این پژوهش لاولر و همکارانش روی یک نوع ابررسانای کوپرات خاص موسوم به اکسید مس کلسیم استرانسیوم بیسموت (BSCCO) کار کردند. لاولر فیزیک‌پیشهٔ نظری است و با استفادهٔ ماهرانه و هوشمندانه از تبدیل فوریه (یک تحلیل ریاضی مفید برای بررسی دامنهٔ الگوها در امواج) در این پژوهش سهم داشته است. او می‌گوید: «ما اکنون بر این باوریم که این امواج چگالی در همه کوپرات‌ها وجود دارند».

ابررساناها موادی هستند که جریان الکتریکی را در کمتر از یک دمای معین بدون مقاومت هدایت می‌کنند. تا چند دهه، تصور می‌شد که ابررسانایی فقط در دماهای بسیار کمتر از دمای انجماد روی می‌دهد. اما از سال ۱۹۸۷ میلادی دانشمندان ترکیب‌های گوناگونی کشف کرده‌اند که در دماهایی بسیار بالاتر ابررسانا می‌شوند.

با توسعهٔ فن‌آوری ابررساناهای دمای بالا، برق تقریباً بدون اتلاف به خانه‌ها و اماکن تجاری رسانده می‌شود، و همچنین به به‌سازی دکل‌های مخابراتی دریافت امواج تلفن همراه و حتی قطارهای سریع‌السیر منجر می‌شود.

منبع:

http://www.sciencedaily.com/releases/2014/06/140630163923.htm

مترجم: علی قربانزاده

شکل‌دهی هوشمندانه‌تر پالس‌ها در فیبر نوری

مهندسان برای افزایش ظرفیت فیبرهای نوری ـ یعنی همان سیم‌های شیشه‌ای که اطلاعات دیجیتالی را برای بیش از دو میلیارد کاربر اینترنت جابه‌جا می‌کنند ـ اطلاعات را روی تعداد بی‌شماری طول‌موج به رمز در می‌آورند. اما سرعت ارسال سیگنال در این فن‌آوری، که هم‌تافتنِ (تسهیم‌سازی) تقسیمِ طول‌موجی[1] نامیده می‌شود، به دلیل تداخل بین سیگنال‌ها با محدودیت‌هایی همراه است. در مقاله‌ای که در مجلهٔ فیزیکال ری‌ویو لترز به چاپ رسیده است، محققان راهی مطرح کرده‌اند تا این تداخلِ ناخواسته برداشته شود و میزان انتقالِ داده در فیبرهای نوری به طور بالقوه افزایش یابد.

ره‌یافت جدید از عهدهٔ مشکل غیرخطی بودن فیبرهای نوری برآمده است، که به خاطر آن پالس نوری پر شدت ضریب شکست فیبر را تغییر می‌دهد. به دلیل این خاصیتِ غیرخطی، برهم‌کنش بین پالس‌هایی که در طول‌موج‌های مختلف حمل می‌شوند، سیگنال تغییر شکل می‌دهد که در نهایت منجر به خطا می‌شود. از آنجایی که این پدیده از منظر ریاضی بسیار پیچیده است، تصحیح پالس‌ها پس از رسیدن به مقصد کار بسیار سختی است، و گرچه فیبرهای نوری

فقط مقدار کمی غیرخطی هستند، ولی این اثر می‌تواند موقع انتقال اطلاعات در مسافت‌های چند صد کیلومتری و یا به میزانی بیشتر از ۱۰ گیگابایت‌برثانیه، قابل ملاحظه باشد.

یاروسلاو پریلِپسکی و همکارانش در دانشگاه آستون در انگلستان با استفاده از معادلهٔ غیرخطی شرودینگر مُدلی برای عبور نور از یک فیبر نوری ارائه کرده‌اند و مجموعه‌ای از سیگنال‌های موجی‌شکل را یافته‌اند که، مطابق با این معادله، مانند امواج سینوسی در فیبر نوری بدون اثرات غیرخطی رفتار می‌کنند. هر سیگنال نوری را می‌توان به طور بالقوه با جمع این پالس‌های خاص تولید کرد. برای اثبات این مدعا، نویسندگان این مقاله، انتقال و ارسال دنباله‌ای از سیگنال‌ها را در طول دو هزار کیلومتر فیبر نوری شبیه‌سازی کرده‌اند و نشان داده‌اند که با این ره‌یافت جدید سیگنال‌ها بدون هیچ‌گونه تحریف و اعوجاجی به مقصد می‌رسند.

1 wavelength division multiplexing

منبع: Phys. Rev. Lett. 113.013901(2014).
مترجم: محمد اولین چهارسوقی

دافعه به فشرده‌سازی DNA در ویروس کمک می‌کند.

ویروس در فرآیند سرهم شدن، از یک موتور مولکولی استفاده می‌کند تا رشتهٔ بلندِ دی‌ان‌ای را که سلول میزبان تولید کرده است به داخل پوستهٔ خارجیِ تازه‌ساخته‌اش بکشد. دی‌ان‌ای، به دلیلِ داشتن بار منفی، خوددافعه دارد، و وقتی در داخل جمع می‌شود، موتور فشرده‌ساز برای مخالفت با فشار فزایندهٔ رو به بیرون باید فشار اعمال کند. اما در کمال شگفتی آزمایش‌های گزارش شده در فیزیکال ریویو لترز نشان می‌دهند که تبدیلِ خودبرهم‌کنشِ دی‌ان‌ای از دافعه به جاذبهٔ کمکی به موتور نمی‌کند. موتور وقتی دافعه تا حدی وجود داشته باشد سریع‌تر کار می‌کند، شاید به این دلیل که دافعه می‌تواند مانع از درهم‌تنیده شدنِ این پلیمرزیستی شود، درست مثل نوار چسب بلندی که به خودش می‌چسبد.

داگلاس اسمیت، از دانشگاه سن دیه‌گو، کالیفرنیا، و همکارانش از انبرک نوری برای ردیابی حرکت یک رشتهٔ دی‌ان‌ای در موقعی استفاده کردند که یک ویروسِ در حال سرهم‌شدن آن را به درون خودش «قرقره» می‌کند. آن‌ها کارایی موتور را در یک محلول استاندارد با یکی از این دو حالت مقایسه کردند: محلول رقیق یا غلیظی از مولکول اسپرمیدین که دارای بار مثبت است. در غلظت پایین‌تر، اسپرمیدین سطح دی‌ان‌ای را که بار منفی دارد می‌پوشاند و خوددافعهٔ آن را کم می‌کند، ولی کاملاً از بین نمی‌برد. در غلظت بالاتر اسپرمیدین، دی‌ان‌ای خودجاذبه پیدا می‌کند.

مطابق انتظار، خوددافعهٔ کاهش‌یافتهٔ دی‌ان‌ای در محلول رقیق اسپرمیدین، فشرده‌سازی را نسبت به محلول استاندارد سریع‌تر کرد. ولی اعضای گروه از این تعجب کردند که غلظت بالای اسپرمیدین (دی‌ان‌ای در حالت خودجاذبه) فرآیند فشرده‌سازی را تسریع نکرد. در عوض باعث شد که موتور به دفعات متوقف شود یا کندتر عمل کند. این گروه پیشنهاد کرده‌اند که حدی از دافعه برای منظم نگه داشتن دی‌ان‌ای در طی فرآیند فشرده‌سازی لازم است.

منبع: Phys. Rev. Lett.112.248101(2014).
مترجم: مانیا ملکی

رابطه‌ای جهان‌شمول برای تهی‌جاهای کیهانی

مادهٔ تاریک سهم عمده‌ای از مادهٔ موجود در کیهان را به خود اختصاص داده است و کیهان‌شناسان به دنبال دریافت درک بهتری از توزیع و تحول آن هستند. اخیراً گروهی که نتایج کارشان را در مجلهٔ PRL به چاپ رسانده‌اند، موفق به شبیه‌سازی تهی‌جاهای بزرگ-مقیاس حباب‌گونه شده‌اند که ساختارهایی متشکل از مادهٔ تاریک هستند. آن‌ها دریافته‌اند که توزیع یکنواخت این تهی‌جاها که در تحقیقات قبلی مشاهده شده بود، به خوبی تا نواحی بیرونی‌تر نیز گسترش یافته است. رابطهٔ جهان‌شمولی که این تیم تحقیقاتی برای توزیع مادهٔ تاریک در تهی‌جاها به دست آورده‌اند، می‌تواند برای درک ماهیت مادهٔ تاریک، فیزیک نوترینوهای سنگین و حتی برای محک نظریهٔ گرانشی آینشتاین به کار رود.

شبیه‌سازی‌های قبلی نشان داده بودند که مادهٔ تاریکِ یکنواخت، همچون یک گاز در اثر گرانش خود می‌رمبد و ساختارهایی شبکه‌ای شکل از رشته‌ها و دیواره‌ها و تهی‌جاها را به وجود می‌آورد. بر اساس این شبیه‌سازی‌ها حجم عمده کیهان توسط تهی‌جاها اشغال شده و دیواره‌هایی از مادهٔ تاریک آن‌ها را از هم جدا می‌کند. میدان گرانشی این ساختارهای تاریک، بذر اولیه برای تشکیل و رشد ساختارهای روشن عالم یعنی کهکشان‌ها را فراهم می‌کند.

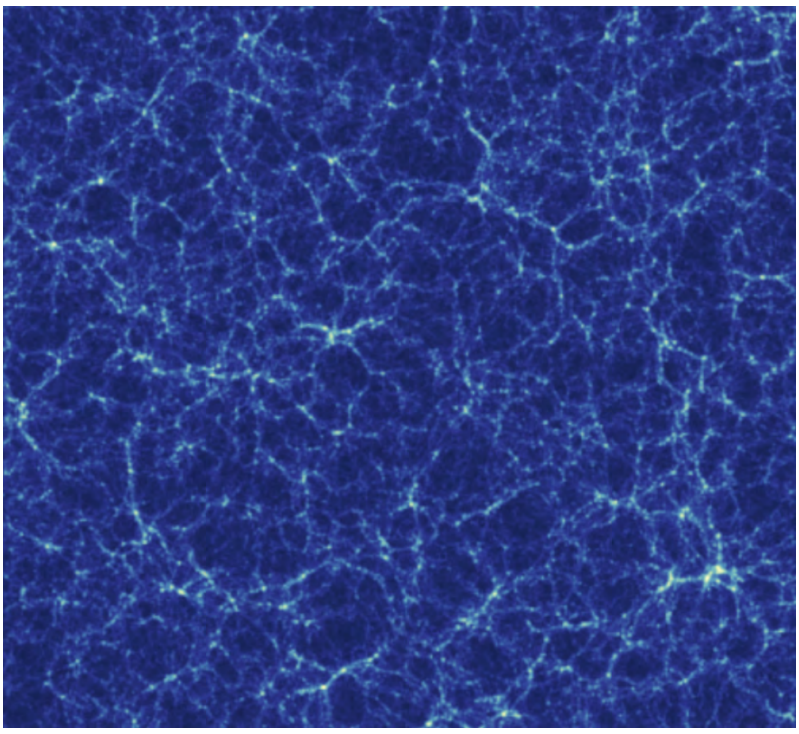
نیکو هاموس و همکارانش از پژوهشگاه نجوم پاریس اخیراً با استفاده از شبیه‌سازی، توزیع چگالی تهی‌جاهای مادهٔ تاریک را با دقت بیشتری به دست آورده‌اند. آن‌ها دریافتند که همهٔ تهی‌جاها مستقل از اندازه‌شان توزیع چگالی مشابه و جهانشمولی دارند که فرم تابعی آن بسیار ساده و شامل فقط دو پارامتر آزاد است. از سوی دیگر نشان داده‌اند که شبیه‌سازی توزیع کهکشان‌ها نیز پروفایل مشابهی را برای تهی‌جاها نتیجه می‌دهد. به این ترتیب در آینده داده‌های رصدی دقیق از توزیع کهکشان‌ها در کیهان و مقایسهٔ آن با توزیع حاصل از این شبیه‌سازی‌ها می‌تواند به عنوان محکی بسیار قوی برای نظریه‌های کیهان‌شناسی مبتنی بر مادهٔ تاریک و انرژی تاریک و یا حتی گرانش‌های تصحیح یافته مطرح شود.

به عنوان مثال، در این شبیه‌سازی‌ها مادهٔ تاریک به صورت سرد فرض شده است و به عبارت دیگر سرعت ذرات مادهٔ تاریک در مقایسه با سرعت نور بسیار اندک است. اما اگر مادهٔ تاریک گرم باشد، یعنی انرژی بیشتری داشته باشد، آن‌گاه پروفایلِ چگالی و دیگر ویژگی‌های تهی‌جاها کاملاً متفاوت می‌شوند. به عبارت دیگر نوترینوهای سنگین که به عنوان کاندیدایی برای مادهٔ تاریک گرم مطرح هستند، می‌توانند اثرات قابل اندازه‌گیری بر ساختار تهی‌جاها داشته باشند.

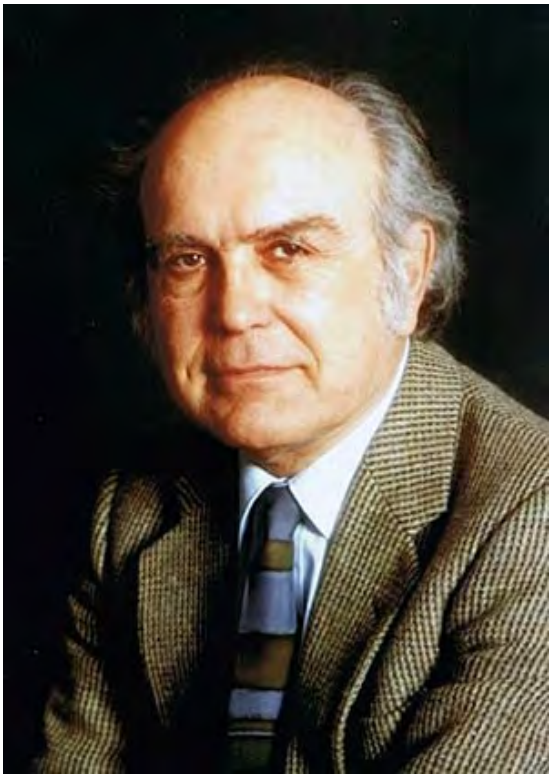
در حالی که نظریهٔ گرانش آینشتاین در مقیاس‌های بزرگ و در نواحی فراچگال به خوبی قادر به توصیف کیهان است، آیا در نواحی فروچگال (تهی‌جاها) نیز به همان خوبی کار می‌کند؟ یا اینکه نیاز به یک نظریهٔ گرانش تصحیح‌شده است؟ تهی‌جاها برای پاسخ به این سوال مناسب‌اند زیرا اختلاف نظریهٔ گرانش با نظریه‌های تصحیح‌شدهٔ گرانشی در آن‌ها اثرات قابل اندازه‌گیری دارد.

منبع: physics7, 69(2014).

مترجم: اکرم حسنی زنوزی



برونو زومینو درگذشت.



برونو زومینو فیزیک‌پیشهٔ ایتالیایی، استاد بازنشستهٔ دانشگاه کالیفرنیا، برکلی، و یکی از پیشگامان نظریهٔ ابرتقارن، در نیمه‌شبِ ۳۱ تیر (۲۱ ژوئن)، در ۹۱ سالگی درگذشت. زومینو ۸ آوریل سال ۱۹۲۳ متولد شد، در سال ۱۹۴۵ از دانشگاه رم دکتری علوم دریافت کرد، در سال ۱۹۵۱ به دانشگاه نیویورک رفت و تا سال ۱۹۶۸ در آن‌جا ماند. سپس به عنوان محقق ارشد به سرن رفت. در سال ۱۹۸۱ به خاطر موقعیت شغلی همسرش (مری گیلارد[1]) در برکلی، به آن‌جا رفت. از میان افتخارات زومینو می‌توان از جایزهٔ دیراک (۱۹۸۷)، جایزهٔ فیزیک‌ریاضی هاینمن (۱۹۸۸)، مدال ماکس پلانک (۱۹۸۹)، مدال ویگنر (۱۹۹۲)، و جایزهٔ انریکو فرمی انجمن فیزیک ایتالیا (۲۰۰۵) نام برد.

از کارهای شاخص زومینو می‌توان به سهم او در ارائهٔ اثباتی برای قضیهٔ سی.پی.تی، بررسی ساختاری لاگرانژی نظریه‌های مؤثر دستیده اشاره کرد. همچنین او در بررسی نابهنجاری در نظریهٔ میدان کوانتومی (مدل وس ـ زومینو ـ ویتن یا وس ـ زومینو ـ نوویکوف ـ ویتن) سهم داشته است. از همه مهم‌تر نقشی بود که در ارائه و مطالعهٔ اولین مدل برای نظریهٔ میدان ابرمتقارن در چهار بُعد (دست‌کم آن‌طور که در خارج از اتحاد جماهیر شوروی سابق می‌توان در نظر گرفت) ایفا کرد. در ادامه، اهمیت مورد آخر قدری توضیح داده می‌شود.

از اواسط دههٔ ۶۰ میلادی توجه فیزیک‌پیشگان به تدریج به اهمیت تقارن در نظریه‌های فیزیکی و قوانین بنیادی طبیعت جلب شد. هر وقت از تقارن در چیزی حرف می‌زنیم به نوعی از یکسانی در مقابل تغییر حرف می‌زنیم. مثلاً وقتی می‌گوییم «دایره متقارن است» ناخودآگاه از یکسان بودنِ شکل دایره تحت دوران یا تعویض مکان مشاهده حرف می‌زنیم. از ساده‌ترین تقارن‌ها که از دهه‌های قبل شناخته شده بود، تقارن پیمانه‌ای نظریهٔ الکترومغناطیس ماکسول است، که می‌گوید با عوض کردن پتانسیل‌های برداری و اسکالر، میدان‌های الکترومغناطیسی می‌توانند عوض نشوند. یک مثال دیگر تقارن لورنتس است، که بر اساس نظریهٔ نسبیت خاص به ما یاد می‌دهد که چارچوب‌های مختلف لخت در یافتن و به کار بردن قوانین طبیعت یکسان‌اند. از دیگر مواردی که در فیزیک ذرات بنیادی هادرون‌ها شناخته شده بود، مربوط به یکسانی وجوهی از نیروهای هسته‌ای قوی تحت جایگزینی نقش ذرات است. این نوع تقارن،که چون روی مختصات فضا-زمان تأثیر نمی‌گذارد اصطلاحاً داخلی نامیده می‌شود، اوج قدرت خود را در دههٔ ۶۰ میلادی در نظریهٔ کوارکی برای توصیف هادرون‌ها نشان داد. از ساده‌ترین مثال‌های مربوط به این تقارن می‌توان به یکسانیِ برهم‌کنش هسته‌ای قوی در تعویض پروتون و نوترون در هسته، که با دوران با اعضای گروه SU(2) انجام می‌شود، اشاره کرد.

با کشف اهمیت تقارن‌ها، طبیعتاً سؤالِ مطرح‌شده این بود که به خدمت گرفتنِ تقارن‌ها در ساختن نظریه‌های جدید چه حد و مرزی دارد. یکی از مهم‌ترین قضیه‌ها در این چارچوب مربوط به کولمن و مندولا است، که تحت شرایطی نسبتاً معمولی ثابت می‌کند که گسترده‌ترین تقارن‌های نظریه‌های نسبیتی فیزیکی می‌تواند شامل تقارن لورنتس (شامل خیز سرعت و دوران)، تقارن تحت انتقال در فضا ـ زمان، و تعداد دلخواهی از تقارن‌های

داخلی باشد. با این قضیه انتظار می‌رفت که مدل‌های جدیدتر فقط در انتخاب تقارن‌های داخلی متفاوت به وجود آیند. اما این‌طور نشد!

از اواخر دهۀ ۶۰ و در لابه‌لای مطالعۀ نظریۀ ریسمان دیده شده بود که با اضافه‌کردن درجات آزادی فرمیونی، می‌توان تبدیلاتی را معرفی کرد که درجات آزادی بوزونی و فرمیونی را روی جهان‌رویۀ ریسمان به هم تبدیل می‌کند. چند سال بعد و در سال ۱۹۷۴ وِس و زومینو، در تلاش برای گسترش تبدیلات شناخته‌شده در جهان‌رویۀ ریسمان‌ها به فضای چهار بعدی، اولین مدل‌های نظریۀ میدان‌های کوانتومی را که در آن‌ها با جایگزینی درجات آزادی بوزونی و فرمیونی تغییری حاصل نمی‌شود، معرفی کردند. در این نظریه‌ها درجات آزادی بوزونی و فرمیونی برابرند، و تبدیلاتی وجود دارد که آن‌ها را به هم تبدیل می‌کند. به عنوان نمونه‌ای از مدلی برای واقعیت، برای الکترون به عنوان یک فرمیون، همزاد بوزونی وجود دارد که هم‌جرم آن است و سلکترون[2] نامیده می‌شود. یا برای فوتون، به عنوان یک بوزون، ذرۀ فرمیونی وجود دارد که فوتینو[3] نامیده می‌شود.

ادامۀ پژوهش در این زمینه جهشی و پربار بود. به زودی مدل‌هایی که این تقارن جدید بین تعویض بوزون‌ها و فرمیون‌ها را دارند، (و ابرتقارن نامیده می‌شد) ساخته، مطالعه، و دسته‌بندی شدند.

سؤالی که طبیعتاً مطرح می‌شود این است که، پس ایراد قضیۀ کولمن ـ مندولا چه بود؟ جواب زود، و با مطالعۀ جبر مولدهای ابرتقارن پیدا شد، و این بود که قضیه ایرادی نداشت، اما فقط جابه‌جاگر بین مولدها را در نظر گرفته بود (مانند جابه‌جاگر بین عملگرهای مکان و تکانه در مکانیک کوانتومی). اما در ابرتقارن معلوم شد که باید پادجابه‌جاگر عملگرها را در نظر گرفت (که کاملاً شبیه جابه‌جاگر است، اما با علامت مثبت بین کمیت‌ها).

در طول سال‌ها مدل‌های ابرمتقارن، نه فقط از نظر ساختار غنی ریاضی، بلکه به لحاظ اتفاقاتی که انتظار می‌رود در آزمایشگاه‌ها دیده شوند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در واقع به باور بسیاری از فیزیکدان‌های ذرات اولین کشف‌های مهم بعدی در شتاب‌دهندۀ بزرگ سرن، پس از کشف ذرۀ هیگز، مربوط به پدیده‌های ابرتقارنی است. وجوهی از مدل‌های ابرمتقارن که آن‌ها را مورد توجه قرار می‌دهند، مربوط به حذف بعضی از مقادیر ناخواسته در آن‌هاست. دلیل این حذف، یا دست‌کم کاهش، به این واقعیت ساده برمی‌گردد که در این مدل‌ها کمیت مورد نظر هم از درجات بوزونی سهم می‌گیرد و هم از درجات فرمیونی، و غالباً با علامت متفاوت. بر این اساس با کشف شواهد ابرتقارن در آزمایشگاه‌ها مسئلۀ (کوچکی) ثابت کیهان‌شناختی یک حل طبیعی پیدا می‌کند. یا مثلاً مسئلۀ سلسله‌مراتب در وحدت نیروهای سه‌گانه به طور دل‌پذیری توضیح داده می‌شود. از همه مهم‌تر، در مدل‌های ابرمتقارن دارای گرانش، معروف به ابرگرانش، می‌توان نمونه‌هایی را یافت که نظریۀ گرانش بدون مشکل مربوط به بی‌نهایت‌های غیرقابل کنترل کوانتومی می‌شود.

1 Mary k. Gaillard
2 Selectron
3 photino

منابع:
1-http//:en.wikipedia.org/wiki/Bruno_Zumino
2-http//:newscenter.berkeley.edu/۲۴/۰۶/۲۰۱۴/bruno-zumino-an-architect-of-supersymmetry-dies-at/۹۱-
3-http//:physics.berkeley.edu/research/faculty/Zumino.html
4-J.M. Figueroa-O'Farrill, Busstepp Lectures on Supersymmetry, arX-iv:hep-th/0109172

تهیه کننده: امیرحسین فتح‌اللهی

فرصتی برای صاحبان مشاغل، مدیران شرکت‌ها،
سازمان‌های معتبر و نیز دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های کشور
فیزیک روز آگهی‌های جذب دانش‌آموختگان فیزیک (در هر مقطعی)
برای فرصت‌های شغلی مرتبط با فیزیک را با کمال میل و تا اطلاع ثانوی
به صورت رایگان در مجله منتشر می‌کند. برای اطلاعات بیشتر با دفتر
مجله به شماره ۶۶۴۲۵۸۷۲ یا آدرس ایمیل info@psimag.ir
تماس بگیرید.
انجمن فیزیک ایران
تهران، میدان توحید، ابتدای خیابان نصرت غربی، شماره ۱۴، طبقه‌ی چهار
وبگاه انجمن فیزیک ایران www.psi.ir

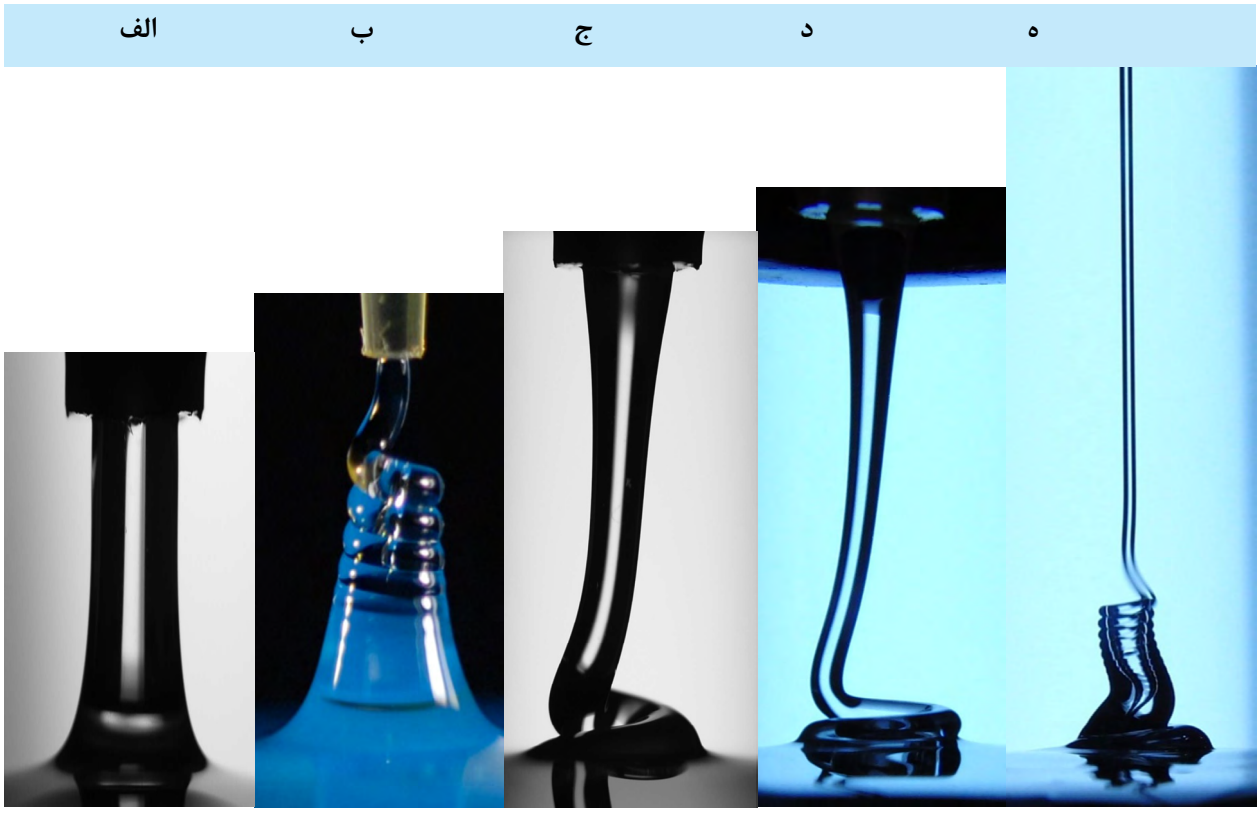
مارپیچش رشتهٔ باریک عسل:
ناپایداری ریسمان شاره

مهدی حبیبی
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایهٔ زنجان

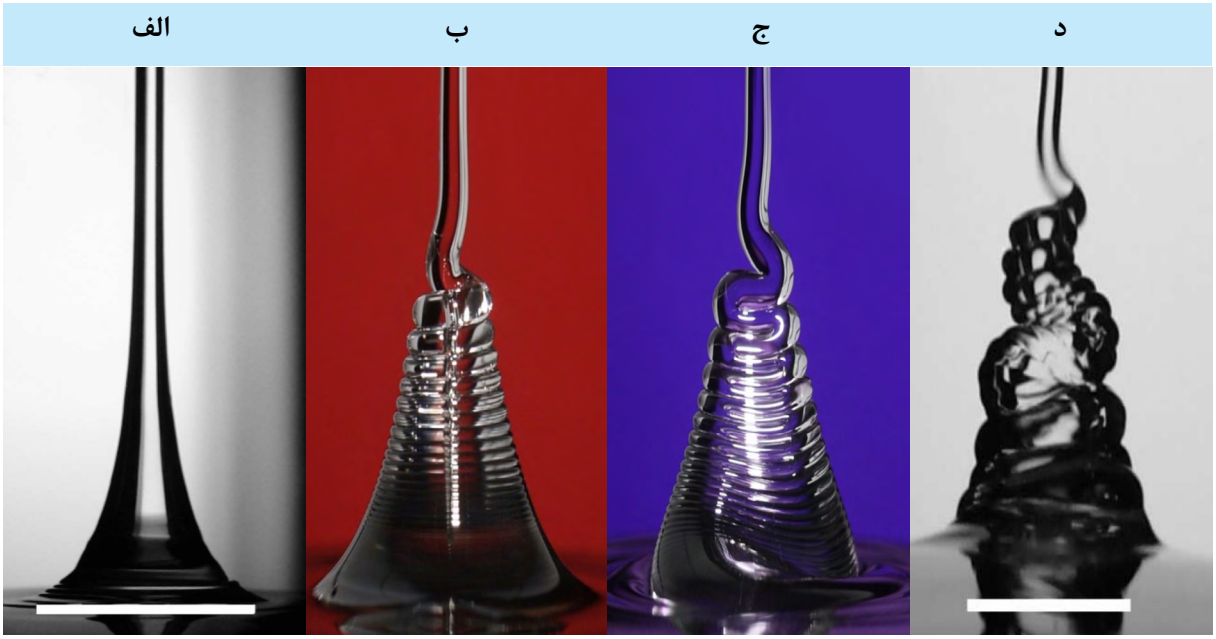
چکیده: وقتی رشتهٔ باریکی از یک شارهٔ وشکسان، مانند عسل، روی سطحی ریخته می‌شود مارپیچ‌های منظمی شکل می‌گیرند. این پدیدهٔ روزمره هرچند برای ما آشناست، ولی فیزیکدان‌ها به تازگی پرده از پیچیدگی‌های آن برداشته‌اند. در این مقالهٔ فیزیک، مسئلهٔ مارپیچش شاره به زبانی ساده توضیح داده و نشان داده می‌شود که چگونه با تغییر کمیت‌های متفاوت، چهار رژیم متفاوت این مسأله (رژیم‌های وشکسان، گرانشی، لختی و لختی ـ گرانشی) نمایان می‌شوند. در ادامه به معرفی پدیده‌هایی جالب، ولی نه چندان آشنا، مانند پیدایش ساختارهای حلزونی از حباب‌های منظم هوا در اثر مارپیچش شاره یا تاشدنِ چرخشی و ابرمارپیچش ریسمان شاره می‌پردازیم. در انتها برای مشاهدهٔ برخی از این پدیده‌ها آزمایشی ساده که در آشپزخانه نیز قابل انجام است به خوانندگان پیشنهاد می‌شود.

سر سفرهٔ صبحانه با ریختن عسل روی نان یکی از ساده‌ترین و در عین حال زیباترین آزمایش‌های فیزیک شاره را می‌توان انجام داد: کافی است قاشق را در داخل ظرف عسل فرو بریم و بیرون بیاوریم و در چند سانتی‌متری سطح نان بگیریم. در این صورت رشتهٔ باریکی از عسل پایین می‌ریزد و روی سطح نان حلقه‌های منظمی ایجاد می‌کند که با بسامد خاصی تکرار می‌شوند و با بالا بردن قاشق سرعت ایجاد حلقه‌ها افزایش می‌یابد. بارنس و وودکاک اولین بار در سال ۱۹۵۰ این پدیدهٔ را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند و آن را «مارپیچش ریسمان شاره» نامیدند. از آن پس مطالعات گسترده‌ای روی جنبه‌های مختلف این پدیده صورت گرفته است[۱]. همان‌گونه که از تجربیات روزمرهٔ خود در آشپزخانه می‌دانیم، شاره‌ای مانند آب که بسیار روان است پدیدهٔ مارپیچش را نشان نمی‌دهد. برای مثال با باز کردن شیر آب ستونی از آب به کف ظرف‌شویی برخورد می‌کند و بدون ایجاد هیچ حلقه‌ای به صورت شعاعی و یکنواخت در کف ظرف‌شویی پخش می‌شود. روان‌رَوی شاره‌ها با معیاری موسوم به وشکسانی اندازه‌گیری می‌شود که معیاری از مقاومت شاره در برابر شارش و تغییر شکل است. برای مشاهدهٔ پدیدهٔ مارپیچش، وشکسانی شاره باید از یک حد آستانه بیشتر باشد. یکی از واحدهای اندازه‌گیری وشکسانیِ جنبشی شاره‌ها سانتی‌استوکس است. برای مثال وشکسانی آب برابر با ۱ سانتی‌استوکس و وشکسانی عسل در حدود ۱۰،۰۰۰ سانتی‌استوکس است و وشکسانی آستانه برای مشاهدهٔ پدیدهٔ مارپیچش در حدود ۵۰۰ سانتی‌استوکس است. باریکی رشتهٔ شاره کمیت دیگری است که در پدیدهٔ مارپیچ نقش تعیین‌کننده دارد. برای مثال هنگام خالی کردن ظرف عسل اگر فاصلهٔ ظرف تا سطح زیرینش اندک باشد عسل به صورت یکنواخت و بدون مارپیچش یا تا شدن روی سطح جاری می‌شود (شکل ۱ الف). ولی اگر ارتفاع ریختن بیشتر شود، یا به عبارت دیگر ستون شاره باریک شود، تاشدن و حرکت رفت و برگشتی شروع می‌شود که مقدمهٔ مارپیچش است. بنابراین برای شروع پدیدهٔ مارپیچ نسبت ارتفاع به قطر ستونِ شاره باید از حد مشخصی بیشتر باشد. به طور کلی دو نیروی مهم در مسئلهٔ مارپیچش مؤثرند. یکی نیروی وشکسان که مقاومت در برابر شارش و تغییر شکل است و دیگری نیروی وزنِ شاره که باعث کشیده شدن و شارش ستون شاره می‌شود.

اگر مارپیچش شاره با بسامد بالایی صورت گیرد سهم نیروی جانب مرکز (لختی) نیز در کنار دو نیروی فوق قابل ملاحظه می‌شود. به طور کلی با مقایسهٔ بزرگی سه کمیت اخیر در ارتفاع‌های سقوط مختلف می‌توان چهار رژیم برای پدیدهٔ مارپیچش تعریف کرد. رژیم اول که به رژیم وشکسان موسوم است در وشکسانی‌های بسیار زیاد و ارتفاع سقوط کم (کمتر از ۱ سانتی‌متر) اتفاق می‌افتد (شکل ۱ب). در این رژیم بسامد نوسانات کم و شعاع حلقه با ارتفاع سقوط متناسب است. این رژیم مانند حالتی است که خمیر دندان را با فشار از داخل تیوپ خارج می‌کنیم که خمیردندان روی سطح مسواک حلقه‌ای ایجاد می‌کند. با افزایش ارتفاع ریخته شدن شاره، (بین ۱ تا حدود ۷ سانتی‌متر) ستونِ شاره در اثر گرانش اندکی کشیده شده و باریک می‌شود. در این حالت نیروی گرانش و نیروی مقاومتِ وشکسان با هم به تعادل می‌رسند و بسامد مارپیچش از تعادل این دو نیرو به‌دست می‌آید. این رژیم به رژیم گرانشی موسوم است که در آن با افزایش ارتفاع بسامد مارپیچش به صورت پیوسته افزایش می‌یابد (شکل ۱ج). در ارتفاع‌های بالاتر (بیش از ۱۵ سانتی‌متر) رشتهٔ شاره بسیار باریک شده و با سرعت زیادی سقوط می‌کند و موقع رسیدن به سطح، مارپیچ‌هایی با بسامد بسیار بالا (چند ده تا چند هزارهرتز) ایجاد می‌کند. نیروی جانب‌مرکز در حلقه‌ها، به علت بسامد بالای مارپیچش، بسیار بزرگ شده به طوری که می‌شود از نیروی وزن در برابر آن صرف نظر کرد. در این رژیم، که به رژیم لختی موسوم است، جملهٔ لختی و مقاومتِ وشکسان با هم به تعادل می‌رسند. این تعادل نیرو مقدار بسامد و شعاع حلقه‌ها را تعیین می‌کند (شکل ۱ه). در ارتفاع‌های میانیِ بین رژیم گرانشی و لختی سهم هر دو جملهٔ لختی و گرانش قابل ملاحظه است بنابراین این رژیم، رژیم لختی ـ گرانشی نامیده می‌شود. در این رژیم رشتهٔ باریکِ شاره مانند یک آونگ روی یک حلقه نوسان می‌کند. این رشتهٔ آویزان دارای بسامدهای طبیعی



شکل ۱: نیم‌رخ رشتهٔ باریک روغن سیلیکون بعد از خروج از روزنه در ارتفاع‌های سقوط مختلف. الف) هرگاه نسبت ارتفاع به قطر ستون از حد آستانه کم‌تر باشد، مستقل از مقدار وشکسانی سیال، پدیدهٔ مارپیچش صورت نمی‌گیرد و شاره به صورت شعاعی روی سطح پخش می‌شود. ب) نمایی از رژیم وشکسان. این رژیم در وشکسانی‌های بسیار بالا و ارتفاع‌های کم روی می‌دهد. ج) نمایی از رژیم گرانشی. با افزایش ارتفاع رشته کشیده می‌شود و مارپیچش در رژیم گرانشی روی می‌دهد. د) نمایی از رژیم لختی ـ گرانشی. در این رژیم، بسامد و شعاع مارپیچش به صورت گسسته تغییر می‌کند. ه) نمایی از رژیم لختی. در ارتفاع‌های سقوط بالا رشتهٔ شاره باریک شده و با سرعت زیاد روی سطح سقوط می‌کند و بسته به ارتفاع سقوط، مارپیچ‌هایی با بسامد چند ده تا چند هزار هرتز ایجاد می‌کند.
عکس از سید حسین حسینی [۷].



شکل ۲: الف ـ ج) در وشکسانی‌هایی کمی بیشتر از وشکسانی آستانه برای شروع مارپیچش، گذار بین سه حالت در ارتفاع ثابت اتفاق می‌افتد که این سه حالت عبارت‌اند از (الف) پخش شعاعی، (ب) مارپیچش لختی، و (ج) تاشدن چرخشی. (د) نیم‌رخی از پدیدهٔ ابرمارپیچش: ابتدا ستون باریکی از حلقه‌ها با بسامد بالا مانند آنچه در رژیم لختی وجود داشت ایجاد می‌شود. سپس این ستون تحت وزن خودش دچار خمش و سپس مارپیچش می‌شود و حلقهٔ ثانویه‌ای ایجاد می‌کند که مارپیچ ثانویه نامیده می‌شود. این حرکت چرخشی نیز با بسامد پایین‌تری نسبت به مارپیچش اولیه تدوام می‌یابد.
عکس از سید حسین حسینی [۷].

گسسته است. در قیاس، بسامد مارپیچ در رژیمِ گرانشی با افزایش ارتفاع به طور پیوسته زیاد می‌شود. برابر شدن بسامد طبیعی رشتهٔ آویزان و بسامد مارپیچش حلقه باعث ایجاد تشدید می‌شود. در این حالت مارپیچ ترجیح می‌دهد بسامدهایی را انتخاب کند که برابر با بسامدهای طبیعی رشتهٔ آویزان هستند؛ بنابراین در این رژیم بسامدهای مارپیچش به صورت گسسته تغییر می‌کنند و تغییر در بسامد منجر به تغییر گسسته شعاع حلقه‌ها می‌شود.

فراتر از مارپیچش ساده

چهار رژیمی که در بالا ذکرشان رفت، چهار حالت کلی پدیدهٔ مارپیچش هستند که در همهٔ وشکسانی‌های بالاتر از حد آستانه روی می‌دهند. اگر وشکسانی شاره اندکی بیشتر از وشکسانی آستانهٔ شروع مارپیچش باشد پدیده‌های جالب دیگری نیز دیده می‌شوند که در اینجا شرح مختصری از آن‌ها ذکر می‌شود. در این حالت، در یک ارتفاع ثابت، می‌توان گذار بین سه حالت کاملاً متفاوت را مشاهده کرد[۲]. حالت اول پخش شعاعی شاره است مانند آنچه در مورد ستون آب در کف ظرف‌شویی مشاهده می‌شود (شکل ۲ الف). با اختلال کوچکی در این حالت، پخش شعاعی به مارپیچشی با بسامد بسیار بالا، مشابه رژیم لختی، گذار می‌کند (شکل ۲ب). با اختلال دوباره در سیستم می‌توان حالتی را مشاهده کرد که به تا شدن چرخشی موسوم است. در این حالت به جای ایجاد حلقه، رشتهٔ شاره روی خودش تا می‌شود و صفحه‌ای از تاها را ایجاد می‌کند که این صفحه نیز با بسامد خاصی دور محور عمودی خود می‌چرخد (شکل ۲ ج). حالت زیبای دیگری که در بازهٔ کوچکی از فضای پارامتری دیده می‌شود اَبَرمارپیچش نامیده می‌شود[۳]. در ابرمارپیچش شاره، ابتدا ستون باریکی از حلقه‌ها با بسامد بالا، مانند آنچه در رژیم لختی وجود داشت، ایجاد می‌شود. سپس این ستون تحت وزن خودش دچار خمش و سپس مارپیچش می‌شود و حلقهٔ ثانویه‌ای ایجاد می‌کند که مارپیچِ ثانویه نامیده می‌شود. این حرکت چرخشی نیز با بسامد پایین‌تریِ نسبت به مارپیچش اولیه تدوام می‌یابد (شکل ۲د).

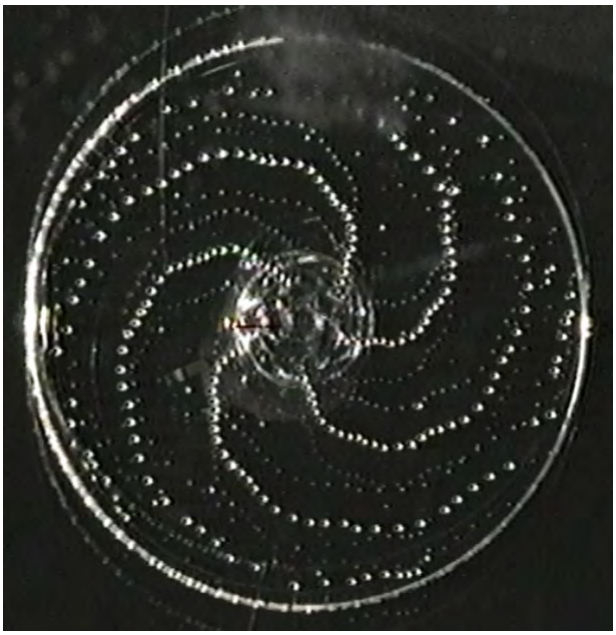
از الگوهای حلزون شکل تا کاربرد در فن‌آوری نانو

گاهی به ازای وشکسانی‌های خاصی در رژیم گرانشی می‌توان الگوهای بسیار زیبایی از حباب‌های هوا را به صورت رشته‌های منظمی در شاره ایجاد کرد[۴]. در واقع در طی فرایند مارپیچش، حباب‌های کوچکِ هوا در بین ریسمان‌های خمیدهٔ شاره به دام می‌افتند که در ادامهٔ شارشِ شاره روی سطح به صورت شعاعی بیرون می‌آیند. این الگوهای جذاب که به اشکال کهکشانی بی‌شباهت نیستند به این دلیل ایجاد می‌شوند که مرکز حلقهٔ

شاره دقیقاً روی مرکز حلقهٔ قبلی ایجاد نمی‌شود و اندکی جابه‌جا می‌شود و در نتیجهٔ این جابه‌جایی حباب‌های هوا بین حلقه‌های متوالی به دام می‌افتند و الگوهای پنج شاخهٔ منظمی را ایجاد می‌کنند که نمونه‌ای از آن در شکل ۳ دیده می‌شود.

همان‌گونه که دیدیم ریختن شاره وشکسانی بر روی سطح جامد منجر به پدیده‌های بسیار زیبا و هیجان‌انگیزی می‌شود که بررسی پیچیدگی‌های فیزیک آن‌ها قابل توجه است. البته هنوز تمامی جنبه‌های این پدیده به طور کامل فهمیده نشده است و از طرفی آزمایش‌های اخیر زوایای جدیدی از پیچیدگی‌های این پدیده را به نمایش گذاشته‌اند. به نظر می‌رسد هنوز راهی طولانی برای شناخت کامل این مسأله باقی است.

در کنار زیبایی‌های شگفت‌انگیز پدیدهٔ مارپیچش شاره، به تازگی از آن برای ایجاد ساختارها و الگوها در مقیاس میکرو و نانو نیز استفاده شده است[۶،۵]. در این کاربردها معمولاً یک شارهٔ پلیمری وشکسان را روی یک سطح ساکن یا متحرک می‌ریزند و از این طریق الگوهای متناوب و منظمی ایجاد می‌کنند که پس از تبخیر حلال ساختارهایی به صورت جامد روی سطح باقی می‌ماند. با تنظیم پارامترهای مسأله می‌توان شکل و اندازهٔ این ساختارها را تغییر کرد. بنابراین مطالعهٔ فیزیک پدیدهٔ مارپیچش ریسمان شاره نه فقط از منظر شناخت زیبایی‌های طبیعت مورد توجه است، بلکه در عرصهٔ فن‌آوری نیز دارای کاربردهایی هست.



شکل ۳: نمایی از پایین. ایجاد حباب‌های منظم ۵ شاخه در شارهٔ وشکسان. این حباب‌ها به علت مارپیچش رشتهٔ شاره در بالای سطح شیشه در شارهٔ وشکسان به دام می‌افتند و همراه با حرکت شاره روی سطح شیشه به صورت شعاعی به بیرون حرکت می‌کند و الگوهای کهکشان-مانندی ایجاد می‌کنند.

آزمایش مارپیچش شاره در آشپزخانه

در صورتی که تمایل دارید این آزمایش ساده و هیجان‌انگیز را در آشپزخانهٔ خود انجام دهید، می‌توانید با استفاده از یک ظرف عسل یا مایع ظرفشویی بسیاری از پدیده‌های ذکر شده در این مقاله را از نزدیک مشاهده کنید. برای این کار کافی است روزنه‌ای به قطر تقریبی ۲ تا ۳ میلی‌متر در انتهای یک ظرف پلاستیکی ایجاد کنید و سپس شارهٔ وشکسان را در داخل آن بریزید. با تغییر ارتفاع روزنه از سطح زیرین، رژیم‌های مختلف این پدیده را می‌توانید مشاهده کنید. برای مطالعه و اندازه‌گیری پارامترهای مسأله کافی است به وسیله یک گوشی موبایل از این پدیده فیلم تهیه کنید و سپس با تحلیل تصاویر کمیت‌هایی مانند بسامد مارپیچش، قطر مارپیچ و .... را اندازه‌گیری کنید.

منابع:

1- N. Ribe, M. Habibi & D. Bonn,"Liquid Rope Coiling", Annual Review of Fluid Mechanics, 44, 249, (2012).
2- M. Habibi, Y. Rahmani, D. Bonn & N. Ribe, "Buckling of Liquid Columns", Phys. Rev. Lett. 104, 074301 (2010).
3- M. Habibi, S. H. Hosseini, M. H. Khatami, N. M. Ribe, "Liquid Supercoiling". Phys. Fluids 26, 024101 (2014).
4- M. Habibi, P. Moller, N. Ribe & D. Bonn ,Spontaneous generation of spiral waves by a hydrodynamic instability, Euro. Phys. Lett. 81, 38004 (2008).
5- H. Y. Kim, M. Lee, K. J. Park, S. Kim, and L. Mahadevan, Nanopottery: Coiling of Electrospun Polymer Nanofibers, Nano Lett. 10, 2138–2140, (2010).
6- S. P. Shariatpanahi, I. Abdollahzadeh, R. Shirsavar, D. Bonn, R. Ejtehadi, Micro helical polymeric structures produced by variable voltage directelectrospinning, Soft Matter, 7, 10548-10551., (2011).

۷- پایان نامهٔ کارشناسی ارشد ، سید حسین حسینی ، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایهٔ زنجان، ۰۹۳۱ مرداد.

فیزیک خورشید

رضا رضایی
مؤسسهٔ فیزیک خورشید کیپن هویر، فرایبورگ

چکیده: فیزیک مدرن درک ما از پدیده‌های خورشید را متحول کرده است. با این حال مسائل بسیاری حل نشده باقی مانده‌اند. رصدهای با توان تفکیک فضایی بالا از یک سو ما را به قلمرویی ناشناخته برده‌اند و از سوی دیگر صحت یا ناکارآمدی بعضی از نظریه‌ها را نشان داده‌اند. به عبارت دیگر بیش از آن‌که به پرسش‌های قدیمی پاسخ داده باشیم، با پرسش‌های جدید مواجه شده‌ایم. در این مقاله چند نمونه از دستاوردها و چالش‌های فیزیک خورشید بررسی می‌شود.

مقدمه

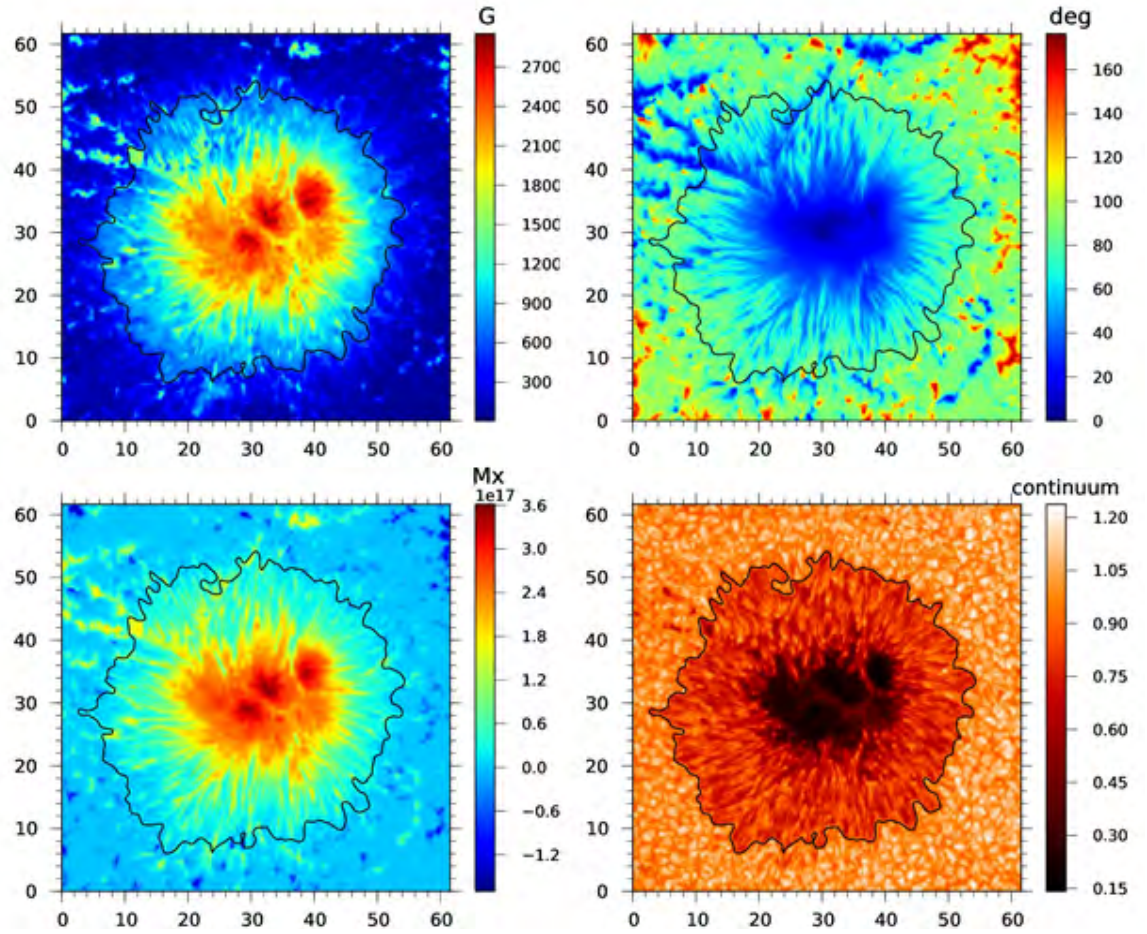
رصد خورشید از دیرپاترین شاخه‌های نجوم است. مدارکی وجود دارد که نشان می‌دهد لکه‌ها و گرفت‌های خورشید در هزار سال پیش از میلاد مسیح هم رصد می‌شدند[۱]. این مشاهدات از چهارصد سال پیش که تلسکوپ اختراع شد شکل دقیق‌تری یافتند. شاید مهم‌ترین کشف پس از درک دورهٔ تناوب لکه‌ها، اثبات وجود میدان مغناطیسی در آن‌ها و همچنین فهم واکنش‌های هسته‌ای به عنوان چشمهٔ انرژی خورشید باشد. کمیت‌های فیزیکیِ جو خورشید را نمی‌توان « اندازه‌گیری» کرد. در واقع این جمله را می‌شود به تمام شاخه‌های اخترفیزیک اطلاق کرد. با استفادهٔ نادرست از واژه‌ها عبارت اندازه‌گیری را هم برای اندازه‌گیری واقعی یک کمیت، مثل تابندگی خورشید در یک طول‌موج خاص، به کار می‌بریم و هم برای تخمین پارامترهای فیزیکی خورشید با روش‌های غیر مستقیم. ما نمی‌توانیم دما، میدان مغناطیسی و ... را در سطح خورشید اندازه‌گیری کنیم، چون ابزار لازم برای سنجشِ مستقیم این کمیت‌ها را نداریم. فقط یک ابزار وجود دارد و آن معادلهٔ انتقال تابش[۱] است. آنچه که به واقع اندازه‌گیری می‌کنیم، چهار پارامتر استوکس[۲] برحسب طول‌موج است (قاب را ببینید). با استفاده از این معادله، به‌طور ضمنی فرض‌ها و ساده‌سازی‌هایی را می‌پذیریم که به ما امکان می‌دهد کمیت‌های فیزیکی جو خورشید را با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده تخمین بزنیم. معادلهٔ انتقال تابش برای نور قطبیده و در حضور میدان مغناطیسی نخستین بار در سال ۱۹۵۵ حل شد [۴]. چند سال بعد، اثر نوری ـ مغناطیسی[۳] نیز در حل معادله در نظر گرفته شد [۵]. این اثر ناشی از برهم‌کنش متقابل ضریب جذب و ضریب شکست محیط است (معادلهٔ پاشندگی).

لرزه‌شناسی و مسألهٔ نوترینوی خورشید

طی سه دههٔ گذشته، دانش ما از شرایط فیزیکی درون خورشید افزایش چشم‌گیری یافته است. بررسی نوسانات کمیت‌های فیزیکی در سطح خورشید لرزه‌شناسی خورشیدی[۴] نام دارد. همان‌گونه که زمین‌شناسان از امواج زمین‌لرزه‌ها برای پی بردن به ساختار درون زمین استفاده می‌کنند، خورشیدشناسان هم از مطالعهٔ افت و خیزِ کمیت‌های سطح خورشید برای شناخت ساختار آن بهره می‌برند. اولین مشاهدهٔ نوسان سرعت شعاعی از طریق اثر دوپلر نشان دهندهٔ نوساناتی با دورهٔ تناوب ۵ دقیقه و طول عمری برابر چند نوسان بود[۶]. ساختار مدهای این نوسانات در نمودار عدد موج ـ بسامد دیده می‌شود [۷]. با رصدهای مداوم و بلندمدتِ فضا همراه با روش‌های پیشرفتهٔ تحلیل داده‌ها توانسته‌ایم دورانِ و ساختار بزرگ‌مقیاس درون خورشید را با دقت بالایی اندازه‌گیری کنیم.

همچنین اطلاعاتی در زمینهٔ ساختار زیرسطحیِ پیچیدهٔ لکه‌ها و دینامیک آن‌ها به‌دست آورده‌ایم که از جمله مهم‌ترین شاخص‌های فعالیت مغناطیسی خورشید هستند. این نتایج امکان آزمودن مدل‌های ساختاری، تحول ستارگان، و خواص ماده در چنین شرایط فیزیکی‌ای را فراهم می‌کنند[۸]. به این ترتیب اساس مدل استانداردِ ساختار ستارگان که در سایر بخش‌های علم به کار گرفته می‌شود، محکم‌تر شده است. مشاهدهٔ نوترینوهای خورشیدی و بررسی ویژگی‌های آن‌ها یکی از نمونه‌های مهم آن است.

مسأله نوترینوی خورشیدی از مثال‌های معروف کتاب‌های درسی اخترفیزیک در دو دههٔ پایانی قرن بیستم است [۹]. شرح مختصر مسأله از این قرار است: خورشید از طریق تبدیل چهار اتم هیدروژن به یک اتم هلیوم انرژی تولید می‌کند. در این فرآیند به ازای تولید یک ذرهٔ آلفا (هستهٔ اتم هلیوم)، ۲۵ مگاالکترون ولت انرژی به همراه دو نوترینو آزاد می‌شود. با توجه به تابندگی خورشید ($۳٫۸ \times ۱۰^{۲۶}$ وات) و فاصلهٔ آن از زمین (یک واحد نجومی)، انتظار داریم در سطح زمین شار نوترینویی برابر با $۶٫۵ \times ۱۰^{۱۴}$ نوترینو بر مترمربع بر ثانیه مشاهده کنیم. نوترینوها ذرات بنیادی هستند و فقط در برهم‌کنش‌های ضعیف شرکت می‌کنند و سطح‌مقطع برخورد بسیار کوچکی دارند. برای نمونه، سطح‌مقطع برخورد اتم‌های کلر و گالیم با نوترینوها، که نسبت به سایر اتم‌ها بزرگ‌تر است، در حدود $۱۰^{-۴۰}$ است. ریموند دیویس در سال ۱۹۶۸ در یک معدن طلای قدیمی در امریکا اولین آزمایش اندازه‌گیری شار نوترینوی خورشید را انجام داد [۱۰]. برای این کار ۶۱۵ تن مایع شویندهٔ حاوی کلر استفاده شد [۱۱]. از بین سه نوع نوترینو (الکترون، میون، تاو)، این آزمایش فقط به نوترینوهای پرانرژیِ از نوع الکترون حساسیت نشان داد. نتیجهٔ آزمایش دور از انتظار بود: شار نوترینوی اندازه‌گیری شده به طرز محسوسی کمتر از مقدار چشم‌داشتی بود. آزمایش‌های بعدی با این ابزار و سایر دستگاه‌هایی نظیر آزمایش گالِکس[۵] [۱۲] و یا پراکندگی نوترینو ـ الکترون در آشکارسازهای چرنکوف [۱۳] نتایج دیویس را تأیید



شکل ۱: بالا چپ: شدت میدان مغناطیسی، بالا راست: زاویهٔ بین بردار میدان مغناطیسی و خط دید. پایین چپ: شار میدان مغناطیسی. پایین راست: تصویر لکه در طول‌موج پیوستار قرمز (۶۳۰ نانومتر). کانتورها حدود تقریبی نیم‌سایه را نشان می‌دهند. این لکه در ۵ ژانویه سال ۲۰۰۷ با تلسکوپ مداری هینوده رصد شد. بجز تصویر پیوستار که به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود، بقیهٔ کمیت‌ها با استفاده از کد وارونی سِر محاسبه شده‌اند [۴۳]. محورهای افقی و عمودی در هر شکل فواصل فضایی را برحسب مگامتر نشان می‌دهند.

کردند. به عبارت دیگر هیچ یک از این آزمایش‌ها شار مورد انتظار از مدل استاندارد خورشید را تأیید نکردند.

حل این مسأله دو راه داشت. اگر مدل استاندارد ساختار خورشید را برای حل مسألهٔ نوترینو تغییر می‌دادند (یعنی مقادیر چگالی و دما در درون خورشید را عوض می‌کردند) مشکل دیگری به‌وجود می‌آمد: مشاهدات لرزه‌نگاری خورشیدی با این تغییرات در تضاد بودند. راه دیگر تجدیدنظر در فیزیک نوترینوها بود. اگر نوترینوها جرم می‌داشتند، می‌توانستند نوسان کنند و از گونه‌ای به گونهٔ دیگری تبدیل شوند. به این ترتیب مسألهٔ نوترینوی خورشید حل می‌شد. جرمِ غیرصفر و نوسان نوترینوها جزیی از مدل استاندارد ذرات بنیادیِ نبود و با هیچ‌یک از اصول فیزیک هم تضادی نداشت. سرانجام با اثبات تجربی نوسان نوترینوها در سال ۲۰۰۱، مسأله نوترینوی خورشید حل شد [۱۴].

میدان مغناطیسی خورشید

میدان مغناطیسی عامل بنیادی مجموعه‌ای از پدیده‌هاست که فعالیت خورشیدی نام دارند. خطوط میدان مغناطیسی از لایه‌های عمیقِ ناحیهٔ همرفتی خورشید، که میدان در آن‌جا توسط دینامویِ خورشید تولید می‌شود[۱۶]، تا سطح خورشید و فضای میان‌سیاره‌ای در منظومه شمسی گسترش می‌یابند. به جز دانه‌ها[۶] که سطح خورشید را پوشانده‌اند و نشانهٔ همرفت هستند، سایر پدیده‌ها در جو خورشید منشأ مغناطیسی دارند (ساختارهای روشنی که بیرون از لکه در تصویر پیوستار شکل ۱ دیده می‌شوند، دانه‌ها هستند).

همان‌گونه که زمین‌شناسان از امواج زمین‌لرزه‌ها برای پی بردن به ساختار درون زمین استفاده می‌کنند، خورشیدشناسان هم از مطالعهٔ افت و خیزِ کمیت‌های سطح خورشید برای شناخت ساختار آن بهره می‌برند.

عمدهٔ دانش ما از جو خورشید به نورسپهر آن مربوط می‌شود، جایی که بخش اعظم تابش الکترومغناطیس از خورشید رها می‌شود. از پرسش‌های بنیادی یکی هم، اندازه و راستای میدان مغناطیسی در نواحی آرام[۷] است. برای مثال اندازه‌گیری میدان مغناطیسی از روش زیمان شدت میدانی در حدود ۱۱ گاوس به‌دست می‌دهد در حالی که با استفاده از روش هنله[۸] (قطبش پراکندگی) شدت میدانی پنج برابر بزرگ‌تر به‌دست می‌آید[۱۷]. برای مقایسه، شدت میدان در لکه‌ها (شکل ۱) به بیش از ۲۵۰۰ گاوس می‌رسد. ضخامت لایهٔ نورسپهر حدود ۵۰۰ کیلومتر است. بالاتر از نورسپهر، فام‌سپهر و تاج قرار دارند. به علت کاهش شدید چگالی پلاسما با ارتفاع از سطح خورشید (ارتفاع مقیاس در حدود ۱۰۰ کیلومتر) آهنگ برخورد ذرات در لایه‌های بالاتر به طرز محسوسی کاهش می‌یابد. در نتیجه، تخمین تعادل گرمایی موضعی[۹] که در نورسپهر صدق می‌کند، در این نواحی کاربرد ندارد. توجه کنید که با اتکا به این فرض است که می‌توانیم معادلهٔ انتقال تابش را در نورسپهر حل کنیم. به همین علت تخمین دقیقی از بردار میدان مغناطیسی فام‌سپهر و تاج خورشید وجود ندارد [۱۸].

میدان مغناطیسی در نورسپهر در نواحی فعال[۱۰] و شبکه‌ها[۱۱] متمرکز شده است. یک ناحیهٔ فعال از یک یا چند لکه به همراه اجزایی ناپیوسته که در مجموع پلاژ[۱۲] نامیده می‌شوند، تشکیل شده است. اجزای شار در نواحی آرام خورشید میدان شبکه‌ای را تشکیل می‌دهند که در مرزهای سلول‌های ابردانه‌ها[۱۳] جمع می‌شوند. ابعاد این اَبَردانه‌ها از مرتبهٔ ۲۰ تا ۴۰ مگامتر است. شدت میدان در محیط این ابردانه‌ها (شبکه) از مرتبهٔ یک کیلوگاوس است. میدان در درون شبکه نوع دیگری از میدان در نواحی آرام خورشید است. شدت میدان در این المان‌های شار به بیش از چند صد گاوس نمی‌رسد.

به‌طور کلی نقاطِ روشنِ[۱۴] روی سطح خورشید یکی از نشانه‌های تمرکز خطوط میدان مغناطیسیِ بیرون از لکه‌ها هستند. این ساختارها در تمام طول‌موج‌هایِ نور مرئی روشن‌تر از نواحی اطرافشان هستند، ولی در برخی از طول‌موج‌ها درخشندگی بیشتری دارند. لکه‌ها میدان مغناطیسی قوی‌ای دارند و انتقال انرژی از طریق همرفت را تا حدی مختل می‌کنند. در نتیجه نسبت به نواحیِ اطراف سردتر و تاریک‌تر هستند. علت روشنی نقاط روشن کاملاً متفاوت است. این نقاط در فضای بین دانه‌ها واقع‌اند. در این فضا، مادهٔ سردتر و تاریک‌تر به درون خورشید سرازیر می‌شود. پس علت روشنی چشم‌گیر این نقاط چیست؟

ابعاد این ساختارهای روشن از مرتبهٔ ۲۰۰-۱۰۰ کیلومتر یا کوچک‌تر است. به دلیل تراکم خطوط میدان در نزدیکی محور این نقاط روشن، چگالی انرژی میدان مغناطیسی به میزان قابل توجهی بیش از نواحی اطراف است. از آن‌جا که مجموع فشار گاز و فشار مغناطیسی در درون و بیرون نقاط روشن برابر است (تعادل هیدرواستاتیک)، چگالی انرژی گاز در درون نقاط روشن کاهش می‌یابد که این نیز باعث کاهش چگالی ماده می‌شود. به‌طور خلاصه، میدان باعث ایجاد یک خلأ نسبی می‌شود و کدری[۱۵] محیط کاهش می‌یابد. در نتیجه اگر راستای خط دید با محور این ساختارهای نسبتاً متقارن در یک امتداد باشد، می‌توانیم تا عمق بیشتری از جو خورشید را ببینیم. از آن‌جایی که نواحی عمیق‌تر خورشید داغ‌تر هستند، این نقاط روشن‌تر از اطرافشان دیده می‌شوند [۱۹].

درک نظری نیم‌سایهٔ لکه‌ها

نظریه‌های نیم‌سایهٔ لکه‌ها از نمونه‌های تازه‌ای است که تغییری بنیادی در درک ما از فیزیکِ خورشید ایجاد کرده است. در این نواحی شدت تابش الکترومغناطیس بیشتر از سایه و کمتر از نواحی آرام خورشید است، و شدت میدان مغناطیسی کمتر از سایه است و خطوط میدان زاویه انحراف بیشتری نسبت به بردار عمود بر

سطح دارند. از دیگر شاخص‌های این نواحی، وجود شار مادهٔ مغناطیسی (شار اورشد[۱۶]) در جهت شعاعی است [۲۰]. مدل‌های نظری نیم‌سایه بر فرض‌هایی در مورد پیکربندی میدان مغناطیسی و شار ماده استوارند. با این وجود هیچ یک از این مدل‌ها به‌طور کامل همهٔ جنبه‌های رصدی را توجیه نمی‌کند. مدل لوله‌های شار مغناطیسی دینامیکی نازک[۱۷] در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. برطبق این مدل، لوله‌های شار که در فصل مشترک نیم‌سایه و نواحی آرام قرار دارند، بر اثر گرم شدن منبسط می‌شوند. در نتیجه تحت تأثیر نیروی شناوری قرار می‌گیرند و از نواحی زیر سطح به لایهٔ عمقِ نوری واحد می‌رسند: در این حالت رشته‌های درازی را مشاهده می‌کنیم که همان لوله‌های شار هستند[۲۱، ۲۲، ۲۳ و۲۴]. این لوله‌های شار در مرز سایه-نیم‌سایه نسبتاً عمودی هستند، در حالی که در مرز نیم‌سایه نواحی آرام تقریباً افقی‌اند. این مدلِ دو بعدیِ شار اورشد، حرکت نقاط روشن فیلامان‌های رشته‌های نیم‌سایه و طرح پروفایل‌های رصد شده را توجیه می‌کند. مدل پمپاژ شار[۱۸] در سال ۲۰۰۲ ارائه شد و در سال‌های بعد تکمیل شد. در این مدل پمپاژ تلاطمی مغناطیسی موجب برساختن نیم‌سایه می‌شود[۲۵، ۲۶ و۲۷]. موفقیت اصلی این مدل در توجیه خطوط میدانی است که در درون مرزهای نیم‌سایه به سطح نورسپهر باز می‌گردند. این نظریه مدل لوله‌های شار دینامیکی را زیر سؤال برده است[۲۸]. به تازگی در مدل متفاوتی، شارمر[۱۹] و همکاران پیشنهاد کردند که نیم‌سایهٔ لکه‌ها اصولاً نوعی همرفت غیرمغناطیسی شبیه به همرفت در دانه‌های خورشید است، با این تفاوت که به علت میدان مغناطیسی مد همرفت تغییر کرده و به جای سلول‌های همرفتی عمود بر سطح سلول‌های همرفتی نسبتاً افقی ایجاد شده است[۲۹، ۳۰ و۳۱]. از دیدگاه این مدل، در نیم‌سایهٔ خورشید نواحی غیرمغناطیسی‌ای در بین خطوط مغناطیسی وجود دارند که همرفت در آن‌ها برقرار است. در این نوع از همرفت که همرفت غلطکی[۲۰] نام دارد، مواد داغ در امتداد محور رشته‌های روشن به بالا می‌آیند و در دو طرفِ حاشیه پایین می‌روند. این نوع همرفت فقط یک بار رصد شده است[۳۲]. نویسندگان مقاله برای مشاهدهٔ این جابه‌جایی دوپلر در رشته‌ها تقریباً نیمی از نور هر پیکسل را به عنوان نور پراکنده[۲۱] کم کردند. بدون این تصحیح، همرفت غلطکی در داده‌ها مشاهده نمی‌شد. این کار برای هیچ یک از رصدهای پیشین این گروه انجام نشده بود. به علاوه میزان بالای نور پراکنده تردیدهایی در مورد درستی این مشاهده ایجاد کرده است[۳۳، ۳۴ و۳۵]. این مدل انتقال انرژی در نیم‌سایه را به خوبی توجیه می‌کند در حالی که (در حال حاضر) توضیحی برای شار اورشد ندارد. در واقع در این مدل شار مادهٔ شعاعی وجود دارد، ولی شار ماده‌ای که قطبیده نیست. این با همهٔ رصدها و نیز یافته‌های شبیه‌سازی‌ها در تضاد است[۳۶]. به این ترتیب در حال حاضر مدل استانداردی برای نیم‌سایه خورشید وجود ندارد.

شبیه‌سازی‌های خورشید

ره‌یافت‌ها و چالش‌ها

همانند بسیاری از شاخه‌های دیگر علوم و مهندسی، شبیه‌سازی نقش مهمی در درک بهترِ ساختار و دینامیک پدیده‌های خورشید ایفا می‌کند. به دلیل پیچیدگی‌های موجود، قادر نیستیم خورشید را با در نظر گرفتنِ تمام فرآیندهای فیزیکی‌اش به طور کامل شبیه‌سازی کنیم. از یک طرف تنوع پدیده‌های فیزیکی ـ از تولید انرژی هسته‌ای در نواحی مرکزی گرفته تا دوران دیفرانسیلی، همرفت، تابش، موج‌های شوک و غیره ـ امکان شبیه‌سازی همهٔ فیزیک موجود در خورشید را نمی‌دهد، و از طرف دیگر، به علت تغییر چشمگیر مقدار پارامترهای فیزیکیِ بین نواحی مرکزی و تاج خورشید (مثلاً ۱۸ مرتبهٔ بزرگی برای چگالی ماده) حل عددی مسأله نیازمند تقریب‌های مختلفی است که در برخی مواقع دقت

نظریه‌های نیم‌سایهٔ لکه‌ها از نمونه‌های تازه‌ای است که تغییری بنیادی در درک ما از فیزیکِ خورشید ایجاد کرده است. در این نواحی شدت تابشِ الکترومغناطیس بیش‌تر از سایه و کم‌تر از نواحی آرام خورشید است،

لازم را ندارند. در نتیجه برای هر رژیم از پدیده‌ها شبیه‌سازی‌های جداگانه‌ای انجام می‌شود. برای نمونه بعضی فقط جو خورشید را شبیه‌سازی می‌کنند، در حالی که عده‌ای دیگر همرفت را در درون خورشید بررسی می‌کنند. شرایط مرزی مسأله برای گروه اول همرفت و انتقال انرژی است و برای گروه دوم جو خورشید. در عمل شرایط از این هم دشوارتر است: نمی‌توان تمام جو خورشید را شبیه‌سازی کرد، چون مقیاس‌های زمانی و فضایی بین نورسپهر و تاج بسیار متفاوت‌اند. با استفاده از تقریب هیدرودینامیک مغناطیسی[۲۲]می‌توانیم با دقت بالایی نواحی آرام نورسپهر، مثلاً دانه‌ها، را در سه بعد و با دقت زمانی کافی شبیه‌سازی کنیم. از پیشرفته‌ترین شبیه‌سازی‌های موجود می‌توان به نخستین شبیه‌سازی یک لکه خورشیدی اشاره کرد [۳۷].

روش‌های رصدی

تلسکوپ‌های خورشیدی، مشابه تلسکوپ‌های شب، با تجهیز به سیستم اپتیک سازگار[۲۳] که در دههٔ ۱۹۹۰ ابداع شد، به توان تفکیک فضایی بهتری نسبت به دهه‌های گذشته دست یافته‌اند. به طور خلاصه این سیستم‌ها اختلالات جبههٔ موج را که در جو زمین ایجاد می‌شوند اندازه‌گیری می‌کنند، تصحیحِ لازم را محاسبه می‌کنند، و آن را با تأخیر زمانی کوتاهی، مثلاً ۱۰ میلی‌ثانیه، از طریق یک قطعهٔ نوری فعال مثل یک آینهٔ قابل انعطاف[۲۴] به جبههٔ موج اعمال می‌کنند. سیستم‌های اپتیک سازگار خورشیدی نسبت به سیستم‌های مشابه در شب پیچیده‌ترند، چون ماتریس همبستگی یا همان هدفی که تلسکوپ باید روی آن قفل شود، یک تصویر دو بعدی است نه یک چشمهٔ نقطه‌ای مثل یک ستاره

[۳۸ و۳۹]. در نتیجهٔ استفاده از این سیستم‌ها، که امروزه در همهٔ تلسکوپ‌ها وجود دارد، و همچنین روش‌های جدید پردازش تصویر، بهترین توان تفکیک فضایی در دههٔ پایانی قرن بیستم به یک دهم ثانیه کمانی، معادل ۷۰ کیلومتر در سطح خورشید، رسیده است. این در حد توان تفکیک نظری آینهٔ تلسکوپ مورد بحث است. بنابراین برای دست یافتن به توان تفکیک بهتر به آینه‌های بزرگ‌تری نیاز داریم. در حال حاضر برنامه‌هایی برای ساخت دو تلسکوپ خورشیدی چهار متری در اروپا و آمریکا وجود دارد. این پروژه‌ها با چالش‌های مهندسی فراوانی مواجه‌اند. برای نمونه به نور متمرکز شده در نقطهٔ کانون تلسکوپ توجه کنید: توانی در حدود ۱۵ کیلووات در نقطه‌ای به ابعاد یک تا دو سانتی‌متر جمع می‌شود. این مقدار گرما بسیاری از ابزارهای متداول فعلی را ذوب می‌کند.

رصد از فضا راه دیگری است برای بهبود توان تفکیک. در چند دههٔ اخیر، رصدخانه‌های مداری موفقی نظیر سوهو[۲۵] [۴۰] و هینوده[۲۶][۴۱]، خورشید را با دقتِ بی‌نظیری رصد کرده‌اند. از محصولات جانبی، ولی مهم، این رصدخانه‌های مداری، پیش‌بینی شرایط جوی در محدودهٔ مدار زمین است. هرچند از آغاز قرن بیست‌ویکم فعالیت‌های خورشید به نحو کم‌سابقه‌ای کاهش یافته، ولی میزان فعالیت‌ها در قرن بیستم از تمام هشت هزار سال گذشته بی‌سابقه بوده است[۴۲]. از این رو بررسی تغییرات بلندمدت خورشید شایان توجه است.

برای هر رژیم از پدیده‌ها شبیه‌سازی‌های جداگانه‌ای انجام می‌شود. برای نمونه بعضی فقط جو خورشید را شبیه‌سازی می‌کنند، در حالی که عده‌ای دیگر همرفت را در درون خورشید بررسی می‌کنند. شرایط مرزی مسأله برای گروه اول همرفت و انتقال انرژی است و برای گروه دوم جو خورشید.

چشم انداز

مطالعهٔ فیزیک خورشید به طور پیوسته از بررسی ریخت‌شناسانه به مدل‌سازی فرآیندهای فیزیکی تحول یافته است. در دو دههٔ گذشته توان محاسباتی رایانه‌ها بسیار بیش از ابعاد تلسکوپ‌ها افزایش یافته است. با این وجود، هنوز پدیده‌های بسیاری وجود دارند که درک درستی از آن‌ها نداریم، نمی‌توانیم آن‌ها را شبیه‌سازی کنیم، و توانایی تفسیر رصدهای موجود را هم نداریم. برای نمونه چهارصد سال پس از رصد تلسکوپی لکه‌ها، تازه در آستانهٔ درک نحوهٔ شکل‌گیری آن‌ها هستیم[۴۳]. به این ترتیب به روش‌های جدیدی نیاز داریم تا بتوانیم بیشترین بهره را از طیف‌سنجی نور قطبیده در طول‌موج‌های مختلف و با توان تفکیک فضایی، زمانی، و طیفی بالا ببریم. این داده‌ها که توسط تلسکوپ‌های جدید گردآوری می‌شوند با شبیه‌سازی‌هایی که همواره فیزیک بیشتری را بازسازی می‌کنند، مقایسه می‌شوند. این راه‌کار ما برای حل مسائل فیزیک خورشید در قرن بیست‌ویکم است.

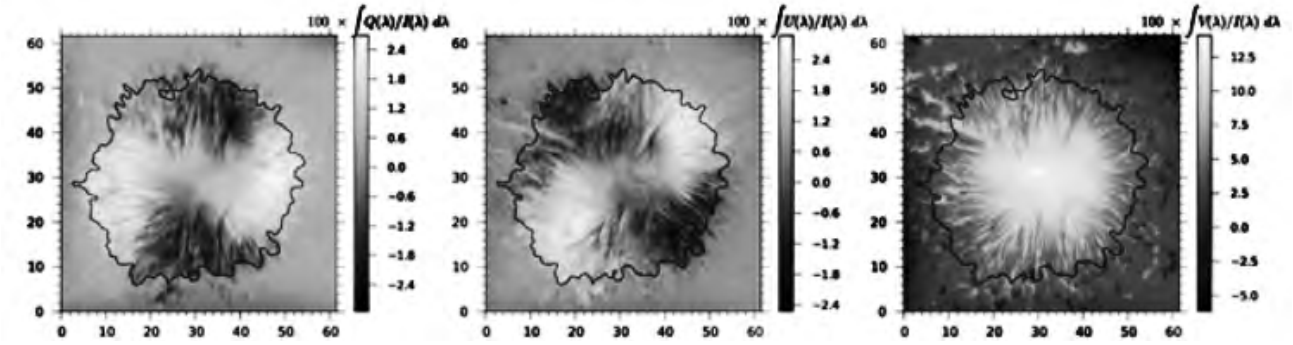
قطبش و پارامترهای استوکس

قطبش یکی از ویژگی‌های ذاتی امواج الکترومغناطیس و به طور کلی تمام امواج عرضی است. نمونه‌های زیادی از قطبش در طبیعت وجود دارد: از شکست و بازتاب نور در فصل مشترک بین دو دی‌الکتریک گرفته تا موارد مختلفی در تابش و پراکندگی. ساده‌ترین نمونه، قطبش نور آبیِ آسمان در اثر پراکندگی نور خورشید در برخورد با مولکول‌های هوا (پراکندگی ریلی) است [۴۴]. با این که می‌توان از نمایش جونز و مولر برای بررسی نور قطبیده استفاده کرد، اما این کار به دلیل موهومی بودن برخی از کمیت‌ها در عمل دشوار است. چاندراسکار پس از آن که چهار پارامتر استوکس را ارائه داد، این سیستم در نجوم استاندارد شد [۴۵ و۴۶]. از مزایای این نوع نمایش نور قطبیده آن است که ما با چهار کمیت حقیقی‌ای سر و کار داریم که به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری هستند و ابعاد فیزیکی یکسانی دارند. چاندراسکار برای این کار از تعریف استوکس استفاده کرد و به همین دلیل این پارامترها را پارامترهای استوکس می‌نامند. صفحهٔ عمود بر راستای انتشار نور را در نظر بگیرید. فرض کنید که در این صفحه، به طور قراردادی جهتی را محور ایکس بنامیم. در این صورت شش کمیت حقیقی قابل اندازه‌گیری داریم: متوسط دامنهٔ نوسان‌ها در جهت‌های صفر، ۴۵، ۹۰، و ۱۳۵ درجه، به همراه دوران دایره‌ای چپ‌گرد و راست‌گرد. اختلاف دامنه بین دو راستای ۹۰ و صفر را Q و بین ۴۵ و ۱۳۵ را U می‌نامیم. به همین ترتیب اختلاف دامنهٔ بین قطبش چپ‌گرد و راست‌گرد، پارامتر استوکس V نام دارد. پارامتر استوکس I یا همان شدت نور از مجموعِ هر یک از این دو جفت پارامتر به‌دست می‌آید. برای نور کاملاً قطبیده می‌توان یک دستگاه مختصات دکارتی سه بعدی تصور کرد که هر یک از این سه پارامتر روی یکی از محورها نشان داده می‌شوند. در این صورت فاصله یک نقطه از مرکز مختصات، که همان شدت نور است، برابر است با

$$I^2 = Q^2 + U^2 + V^2$$

قطبش در خط‌های طیفی و پیوستار (بخش‌هایی از طیف که هیچ خط طیفی در آن وجود ندارد) ناشی از برهم‌کنش‌های فیزیکی متفاوتی‌ست. برای نمونه تابش سینکروترون[۲۷] در ابرهای مولکولی در طول‌موج‌های رادیویی موجب قطبش پیوستار در طول‌موج‌های سانتی‌متر و میلی‌متر می‌شود[۴۷]. در مقابل، در جو ستاره‌ها، وجود میدان مغناطیسی در لایه‌ای از جو که خط‌های طیفی نورسپهر در آن شکل می‌گیرند موجب قطبش نور در فرآیند جذب و تابش در خطوط طیفی می‌شود (اثر زیمان)، ولی پیوستار را در طول‌موج‌های مرئی قطبیده نمی‌کند[۱۹]. در نتیجه وقتی از پارامترهای استوکس در یک خط طیفی صحبت می‌کنیم، منظور چهار کمیت با ابعاد شدت نور و تابعی از طول‌موج است. تعبیر فیزیکیِ این پارامترها به این شرح است: اگر بردار میدان مغناطیسی در راستای خط دید باشد، استوکس V داریم و اگر

عمود بر آن باشد استوکس Q و U. این موضوع به سادگی در شکل ۲ قابل مشاهده است. میدان در مرکز لکهٔ خورشید عمود بر سطح و در نتیجه در راستای خط دید است. در نتیجه پارامتر استوکس V در بخش مرکزی لکه قوی‌تر از لبه‌هاست. به عکس برای Q و U، در ناحیه مرکزی سیگنال ضعیفی داریم و در نیم‌سایه سیگنال Q و U قوی‌تر هستند. به این ترتیب طرح کلی خطوط میدان در یک لکهٔ خورشیدی شبیه به پیکربندی خطوط میدان در نزدیکی یک قطبِ یک آهن‌ربای دو قطبی فرضی است که در زیر سطح خورشید قرار دارد. این مطلب در تصویر بالا راست شکل ۱، که زاویهٔ میدان با خط دید[۲۸] را نشان می‌دهد، به وضوح دیده می‌شود.



شکل ۲: پارامترهای استوکس لکهٔ خورشیدی شکل یک: از چپ به راست: Q، U و V. کانتورها همانند شکل یک است. پارامتر استوکس شدت نور در شکل یک نمایش داده شده است. طرح پارامترهای Q و U با یک دوران ۴۵ درجه به یکدیگر شباهت پیدا می‌کنند. به دلیل آن که پارامترهای استوکس Q و U با دو برابر زاویه سمتی[۲۹] بردار میدان مغناطیسی رابطه دارند، این پارامترها در طی ۳۶۰ درجه دوبار تغییر علامت می‌دهند.

1 Radiative Transfer Equation (RTE)
2 G. G. Stokes
3 Magneto-optical effect. It is also called Faraday rotation in radio wavelengths.
4 Helioseismology
5 GALLEX
6 Granules
7 Quiet Sun
8 Hanle
9 Local thermal equilibrium
10 Active regions
11 Networks
12 Plage
13 Super granules
14 Bright points
15 Opacity
16 Evershed flow
17 Dynamic thin magnetic flux tube
18 Flux pumping
19 Scharmer
20 Roll convection
21 Stray light
22 Magnetohydrodynamics
23 Adaptive optics
24 Deformable mirror
25 SOHO (SOlar and Heliospheric Observatory)
26 Hinode
27 Synchrotron
28 Inclination
29 Azimuth

منابع:

1- J. B. Zirker, “Total Eclipses Of The Sun”, Princeton University Press, (1995).
2- G. E. Hale, ApJ 28, 318, (1908).
3- P. Zeeman, Phil. Mag. 43, 226, (1897).
4- W. Unno, Pub. Ast. Soc. Jap. 8, 108, (1956).
5- Rachkovsky, D. N. , Izv. Krymsk. Astrofiz. Obs. 28, 259, (1962).
6- R. B. Leighton, R. W. Noyes, and G. W. Simon, ApJ 135, 474, (1962).
7- F. L. Deubner, A&A 34, 371, (1975).
8- J. Christensen-Dalsgaard, Rev Mod Phys 74, 1073, (2002).
9- F. H. Shu, “The Physical Universe: An Introduction to

Astronomy", University Science Books, (1981).
10- R. Jr. Davis, D. S. Harmer, and K. C. Hoffman, Phys Rev Lett 20, 1205, (1968).
11- J.N. Bahcall and R.Jr. Davis, Science 191, 264, (1967).
12- W. Hampel, J. Handt, G. Heusser, Phys Lett B 447, 127, (1999).
13- Y. Ashie, J. Hosaka, K. Ishihara et al, Phys Rev Lett 93, 101801, (2004).
14- Q.R. Ahmad, R.C. Allen, T.C. Andersen et al, Phys Rev Lett 87, 071301, (2001).
15- R. Jr. Davis, Rev Mod Phys 75, 985, (2003).
16- E. N. Parker, "Cosmical Magnetic Fields: Their Origin and Their Activity", Oxford University Press, (1979).
17- M. Stix , "The Sun : An Introduction", Spriner, (2004).
18- J. Trujillo Bueno, N. Shchukina, A. Asensio Ramos, Nature 430, Issue 6997, 326, (2004).
19- S. K. Solanki, B. Inhester, and M. Schüssler, Rep Prog Phys 69, 563, (2006).
20- M. Rempel and R. Schlichenmaier, Liv Rev Sol Phys 8, no. 3, (2011).
21- R. Schlichenmaier, K. Jahn, H. U. Schmidt, ApJ 493, L121, (1998a).
22- R. Schlichenmaier, K. Jahn, H.U. Schmidt, A&A 337, 897, (1998b).
23- R. Schlichenmaier, Astronomische Nachrichten 323, no. 3/4, 303, (2002).
24- R. Schlichenmaier, S. K. Solanki, A&A 411, 257, (2003).
25- J. H. Thomas, N.O. Weiss, S.M. Tobias, N.H. Brummell, Astronomische Nachrichten 323, no. 3/4,383, (2002).
26- J. H. Thomas, N.O. Weiss, Ann Rev A&A 42, 517, (2004).
27- N. H. Brummell, S. M. Tobias, J. H. Thomas, N.O. Weiss, ApJ 686, 145, (2008).
28- J. H. Thomas, A&A 440, L29, (2005).
29- H.C. Spruit, G.B. Scharmer, A&A 447, 343, (2007).
30- G.B. Scharmer, SSRv 144, 229S, (2009).
31- H.C. Spruit, G.B. Scharmer, M.G. Löfdahl, A&A 521, 72, (2010).
32- G. B. Scharmer, V. M. J. Henriques, D. Kiselman, J. de la Cruz Rodríguez, Science 333, Issue 6040, 316, (2011).
33- J. Joshi, A. Pietarila, J. Hirzberger, S.K. Solanki, C.R. Aznar, L. Merenda, ApJ 740, L55, (2011).
34- G.B. Scharmer, V.M. Henriques, A&A 540, 19, (2012).
35- C. Beck, R. Rezaei, D. Fabbian, A&A 535, 129, (2011).
36- M. Rempel, ApJ 750, 62, (2012).
37- M. Rempel, M. Schüssler, R.H. Cameron, and M. Knölker, Science 325, 171, (2009).
38- O. von der Lühe, A&A 150, 229, (1985).
39- M.G. Löfdhal and G. B. Scharmer, A&A Suppl. 119, 85, (1994).
40- P. H. Scherrer, R. S. Bogart, R. I. Bush, et al, Sol Phys 162, 129, (1995).
41- S. Tsuneta, K. Ichimoto, Y. Katsukawa , Sol Phys 249, 167, (2008).
42- I. G. Usoskin, S. K. Solanki, M. Schüssler, K. Mursula, and K. Alanko, Phys Rev Lett 91, 211101, (2003).
43- R. Rezaei, N. Bello Gonzales, and R. Schlichenmaier , A&A 537, A19, (2012).
44- E. Landi degl'Innocenti, in Canary Icelands Summer School: Astrophysical Polarization, ed. S. L. Keil and S. V. Avakyan, 1–53, (1999).
45- S. Chandrasekhar, ApJ 105, 424, (1947).
46- S. Chandrasekhar, "Radiative Transfer", Oxford, (1950).
47- R. Beck, A. Brandenburg, D. Moss, A. Shukurov, and D. Sokoloff, Ann. Rev. A&A 34, 155, (1996).

«فیزیک روز» آمادهٔ دریافت خبرهای جامعهٔ فیزیک از سراسر کشور است.
خبرهای مؤسسه یا دانشگاه خود را به دفتر مجله بفرستید و با «فیزیک روز» در تهیهٔ خبر همکاری کنید.

آشنایی با اثر کازیمیر

جلال سرآبادانی
دانشکدهٔ فیزیک کاربردی، دانشگاه آلتو، اِسپو، فنلاند

چکیده

با قرار گرفتن دو صفحهٔ رسانای تخت بدون بار الکتریکی، به طور موازی در فاصلهٔ H از یکدیگر در خلأ و در دمای صفر کلوین، طیف میدان الکترومغناطیسی کوانتمی‌تغییر کرده، منجر به نیروی جاذبه بین دو رسانا در جهت عمود بر آن‌ها می‌شود که نیروی کازیمیر نامیده می‌شود. این نیرو با $\hbar c$ متناسب است که نشانگر ماهیت کوانتومی و نسبیتی آن است. رفتار نیرو با فاصلهٔ بین دو صفحه به صورت $\frac{1}{H^4}$ تغییر می‌کند، در نتیجه در فواصل بسیار کوچک (کوچک‌تر از میکرومتر) مقدار آن قابل توجه، و در نتیجه در طراحی نانوماشین‌ها حائز اهمیت خواهد بود. بررسی برهم‌کنش کازیمیر در دمای محدود نشان می‌دهد که در فواصل بزرگ (حدود هشت میکرومتر در دمای اتاق) و یا در دماهای بالا، رفتار نیروی جاذبه عوض شده، متناسب با $\frac{k_B T}{H^3}$ خواهد شد، که افت و خیزهای گرمایی در آن سهم عمده را دارند. برهم‌کنش کازیمیر بین دی‌الکتریک‌ها نیز وجود دارد، که برهم‌کنش لیفشیتز نامیده می‌شود، و تابعی از دمای محیط، تابع دی‌الکتریک و هندسهٔ دی‌الکتریک‌ها، و فاصلهٔ آن‌هاست.

مقدمه

در این مقاله به طور مختصر به بررسی اثر کازیمیر، در حد آشنا شدن با آن، می‌پردازیم. در سال ۱۳۲۷ هجری خورشیدی، هنری کازیمیر به صورت نظری نشان داد که هرگاه دو صفحهٔ رسانای ایده‌آل($\varepsilon \to \infty$) بدون بار خالص الکتریکی به صورت موازی در خلأ میدان الکترومغناطیسی کوانتومی، در دمای صفر کلوین قرار گیرند، یکدیگر را با نیروی

$$F_C = -\frac{\hbar c \pi^2 A}{240}\frac{1}{H^4} \qquad (1)$$

جذب می‌کنند، که در اینجا $\hbar$ ثابت پلانک تقسیم بر 2π، c سرعت نور، H فاصلهٔ بین دو صفحه و A مساحت صفحه‌ها است[۱]. صفحه‌ها به این دلیل یکدیگر را جذب می‌کنند که به خاطر شرایط مرزی جدیدی که در اثر حضور صفحه‌ها بر روی میدان الکترومغناطیسی اعمال می‌شود (مؤلفهٔ مماسی میدان الکتریکی بر روی صفحه‌های رسانای ایده‌آل صفر است)، طیف میدان تغییر می‌کند؛ در نتیجه در ناحیهٔ بین دو صفحه فقط مدهایی از میدان حضور خواهند داشت که بسامد آن‌ها

$$\omega_{lmn} = k_{lmn} c = \pi c \left[\frac{l^2}{L^2} + \frac{m^2}{L^2} + \frac{n^2}{H^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

باشد، که در آن $k_z = \frac{n\pi}{H}, k_y = \frac{m\pi}{L}, k_x = \frac{l\pi}{L}$ مؤلفه‌های بردار موج k_{lmn} هستند. L ابعاد صفحه‌ها، و l، m و n اعداد صحیح هستند. در حالی‌که در ناحیهٔ بیرون دو صفحه تمامی مدها می‌توانند حضور داشته باشند. در نتیجه هرگاه فشار اعمال شده توسط مدهای نقطهٔ صفر میدان الکترومغناطیسی کوانتومی را از طرف بیرون و از طرف داخل بر روی صفحه‌ها محاسبه کرده، از یکدیگر کم کنیم، نیروی جاذبهٔ کازیمیر، رابطهٔ (۱)، به دست خواهد آمد[۲].

برای داشتن شهود بیشتر نسبت به برهم‌کنش کازیمیر، در این‌جا مرتبهٔ بزرگی آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم. با توجه به این‌که ماهیت این برهم‌کنش کوانتومی است، مقدار آن در فاصله‌های بزرگ، بسیار کوچک است. اما همان‌طور که از رابطهٔ (۱) آشکار است، اندازهٔ این نیرو در فواصل کمتر از میکرومتر، بزرگ و حائز اهمیت خواهد بود. به عنوان مثال، دوصفحهٔ رسانای ایده‌آل به

ابعاد $1cm\times1cm$ که در فاصلهٔ $1\mu m$ از یکدیگر قرار گرفته‌اند، با نیروی $F\sim10^{-7}N$ همدیگر را جذب می‌کنند، که معادل وزن یک قطره آب به شعاع $0.25mm$ است. مقدار نیروی کازیمیر در فواصل کوچک‌تر، بزرگ‌تر می‌شود. مثلاً اگر فاصلهٔ بین دو صفحه $H\sim10nm$ باشد، که صد برابر اندازهٔ یک اتم نوعی است، آن‌گاه مقدار نیروی جاذبهٔ کازیمیر $10N$ خواهد شد که فشار $10^{5}pa$ بر صفحه‌ها وارد می‌کند[۳]. در نتیجه با توجه به این‌که مقدار این نیرو در فواصل کمتر از میکرومتر قابل توجه می‌شود، در طراحی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی وجود این برهم‌کنش باید مد نظر قرار گیرد [۴].

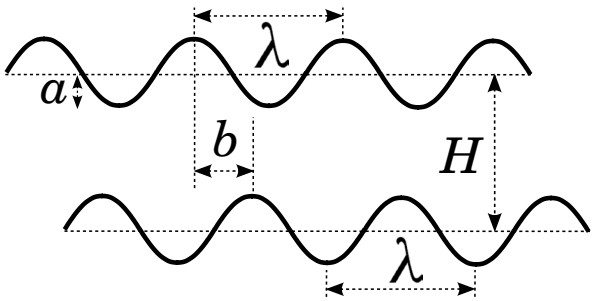
به طور کلی هرگاه در یک محیط، میدانی با افت و خیزهای بلندبُرد وجود داشته باشد، و سپس در آن محیط دو یا چند جسم خارجی قرار داده شوند، آن اجسام به دلیل القا کردن شرایط مرزی جدید بر روی میدان، طیف آن را تغییر می‌دهند، که تغییر طیف میدان منجر به برهم‌کنش بین اجسام خارجی بدون داشتن تماس مستقیم خواهد شد. به این دسته از برهم‌کنش‌ها، برهم‌کنش افت و خیز-القایی گفته می‌شود[۵، ۶، ۷]. در برهم‌کنش کازیمیر بین دو صفحهٔ رسانا، میدان الکترومغناطیسی دارای افت و خیزهای کوانتومی است، زیرا مقدار چشم‌داشتی‌های عملگرهای میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی صفر هستند، در حالی‌که تفاوت مقدار چشم‌داشتی مربع هر یک با مقدار کلاسیک آن، غیرصفر و از مرتبهٔ $\hbar$ است. در نتیجه انرژی و نیروی افت و خیز-القایی مربوطه نیز از مرتبهٔ $\hbar$ خواهند بود[۸].

از آن‌جا که شرایط مرزی اعمال شده بر روی میدان افت و خیز کننده به شدت وابسته به هندسهٔ اجسام، دمای محیط، و همچنین محیطی است که در آن میدان در حال افت و خیز است، در قسمت‌های بعدی به طور مختصر هر یک را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

هندسهٔ اجسام

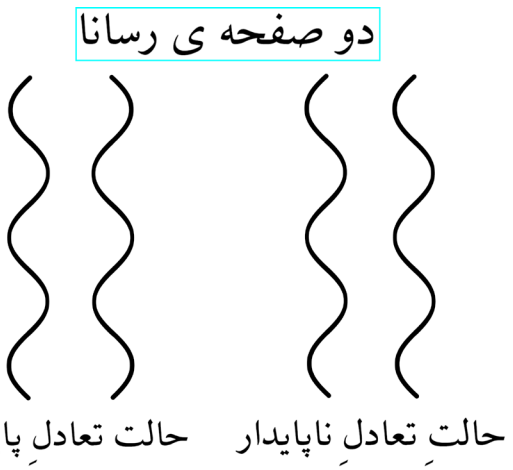
نیروی کازیمیر تنها در جهت عمود بر صفحات فلزی تخت اثر می‌کند. اما اگر صفحه‌ها دارای ناهمواری باشند، از آن‌جا که تقارن انتقالی شکسته می‌شود، علاوه بر نیروی عمودی، مؤلفهٔ دیگری از نیرو به صورت جانبی بر صفحه‌ها اثر خواهد کرد، که شاهد تجربی آن، آزمایشی است که چن و همکارانش در سال ۱۳۸۱ با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی انجام دادند، و در آن نیروی جانبی بین یک صفحه و یک کره را که هر دو از جنس طلا و دارای ناهمواری سینوسی بودند اندازه‌گیری کردند و نشان دادند که آن‌ها به یکدیگر نیروی جانبی‌ای وارد می‌کنند که تابعی است از سینوس اختلاف فاز بین دو ناهمواری، $\frac{2\pi b}{l}$ ، طول‌موج ناهمواری‌ها، (λ)، دامنهٔ آن‌ها، (a)، و فاصلهٔ میانگین بین سطوح خارجی نزدیک به هم در این اجسام، H (رجوع شود به شکل ۱) [۹].

یک سال بعد امیگ و همکارانش به صورت نظری و با استفاده از ره‌یافت انتگرال مسیر نشان دادند که دو صفحه که دارای ناهمواری تک محوری سینوسی هستند، به شرطی که محورهای



شکل ۱: هرگاه فاصلهٔ بین کره و صفحهٔ ناهموار بسیار کم‌تر از شعاع کره باشد، می‌توان از انحنای کره صرف‌نظر کرد و آن‌ها را با دو صفحهٔ ناهموار جایگزین کرد. در این شکل، سطح مقطع دو صفحهٔ رسانای ناهموار، که دارای ناهمواری تک‌محوری سینوسی، با دامنهٔ ناهمواری a و طول‌موج λ هستند و در فاصلهٔ میانگین H از یکدیگر قرار گرفته‌اند، نمایش داده شده است.

ناهمواری‌هایشان موازی هم باشند (رجوع شود به شکل ۱)، علاوه بر نیروی عمودی که تابعی است از فاصلهٔ میانگین، طول‌موج و دامنهٔ ناهمواری‌ها، با یکدیگر برهم‌کنش جانبی نیز خواهند داشت. نیروی جانبی در جهت موازی دو صفحه و عمود بر محور ناهمواری‌ها بر صفحه‌ها اثر می‌کند [۱۰] که می‌توان از آن به‌عنوان نیروی محرک یک نانوماشین، متشکل از یک چرخ‌دنده و یک یا دو صفحهٔ دندانه‌دار بدون تماس با یکدیگر، استفاده کرد و انرژی خلأ را به انرژی مکانیکی و کار مفید تبدیل کرد[۱۱]. تعادل پایدار سیستم در برهم‌کنش جانبی بین دو صفحهٔ رسانا که دارای ناهمواری سینوسی هستند، موقعی اتفاق می‌افتد که یک قله در مقابل یک دره قرار گیرد (شکل ۲، سمت چپ)، در حالی که وقتی قله‌ها مقابل هم قرار گیرند، سیستم دارای تعادل ناپایدار خواهد بود (شکل ۲، سمت راست).



شکل ۲: سمت چپ: حالت تعادل مکانیکی پایدار در برهم‌کنش جانبی بین دو صفحهٔ رسانا که دارای ناهمواری سینوسی هستند. سمت راست: حالت تعادل مکانیکی ناپایدار در برهم‌کنش جانبی بین دو صفحهٔ ناهموار رسانا.

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، از آن‌جا که مقدار نیروی برهم‌کنش کازیمیر در فواصل کوچک‌تر از میکرومتر قابل توجه می‌شود، در نتیجه در طراحی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی حائز اهمیت است، و از آن‌جا که اجزای مختلف مورد استفاده در این نوع ماشین‌ها اغلب دارای شکل‌هایی از قبیل استوانه، کره و مخروط هستند، در نتیجه برهم‌کنش کازیمیر بین این نوع اجسام با استفاده از مخلوطی از رهیافت انتگرال مسیر و پراکندگی به طور گسترده‌ای مطالعه شده است [۱۲].

اثر کازیمیر در دمای محدود

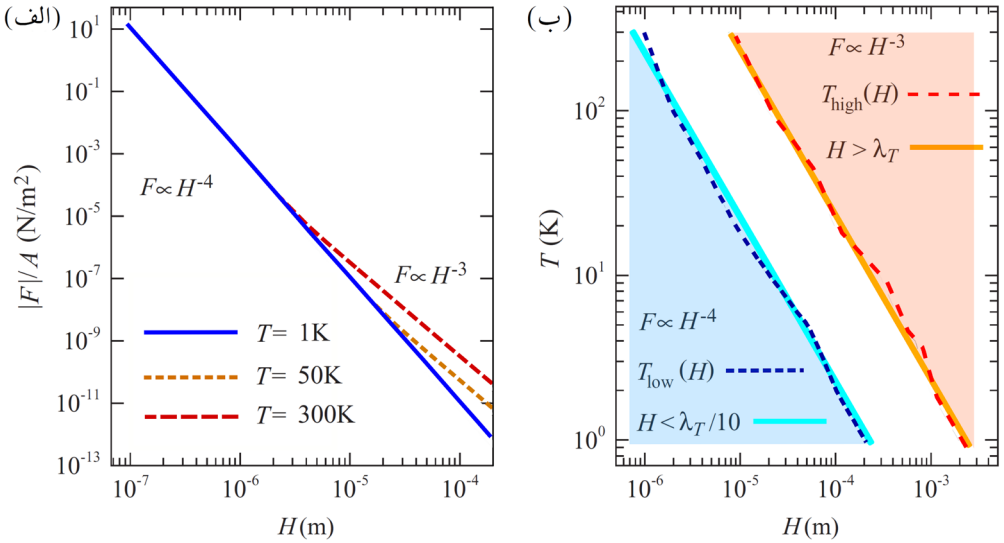
در بخش مقدمه به طور مختصر برهم‌کنش کازیمیر بین دو رسانای ایده‌آل را در دمای صفر کلوین مطالعه کردیم. اکنون می‌خواهیم اثر دما بر این برهم‌کنش را بررسی کنیم. هنگامی‌که دو صفحهٔ تخت رسانا در خلأ میدان الکترومغناطیسی کوانتومی در دمای غیرصفر قرار می‌گیرند، علاوه بر افت و خیزهای کوانتومی میدان، افت و خیزهای گرمایی هم در برهم‌کنش کازیمیر نقش خواهند داشت. با استفاده از فرمول‌بندی ماتسوبارا می‌توان تابع پارش سیستم، و سپس انرژی آزاد سیستم را یافت [۱۳،۱۴]. با مشتق‌گیری از انرژی آزاد سیستم نسبت به فاصلهٔ بین دو صفحه، نیروی کازیمیر که بر هر صفحه اثر می‌کند به صورت

$$F(T,H)=\frac{-A}{\beta}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{d^{2}P}{(2\pi)^{2}}\frac{2\sqrt{|P|^{2}+(\omega_{n}/c)^{2}}}{\exp(2H\sqrt{|P|^{2}+(\omega_{n}/c)^{2}})-1} \qquad (2)$$

نوشته می‌شود، که در آن T دما، A مساحت صفحه‌ها، $\beta=\frac{1}{k_{B}T}$ و k_{B} ثابت بولتزمان، $w_{n}=\frac{2\pi nk_{B}T}{h}$ بسامدهای ماتسوبارا، H فاصلهٔ بین دو صفحه و c سرعت نور هستند، $P=(P_{x},P_{y})$ بردار دو بعدی در فضای فوریه، و منظوراز $|P|$ اندازهٔ بردار P است.

به‌راحتی می‌توان نشان داد که در حد دمای صفر، با تبدیل جمع به انتگرال در رابطهٔ (۲)، نیروی کازیمیر، همان شکل نیرو در رابطهٔ (۱) را دارا است. برای روشن‌تر شدن نقش دما در نیروی کازیمیر، در شکل ۳ (الف) این نیرو بر حسبِ فاصلهٔ بین دو صفحه، برای دماهای مختلف ۱، ۵۰ و ۳۰۰ (دمای اتاق) کلوین نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود در دمای بسیار کم، به عنوان مثال یک کلوین، رفتار نیرو در تمامی فواصل نمایش داده شده، کوانتومی است و نیرو متناسب با $\frac{hc}{H^{4}}$ است. زیرا در فواصل کوچک (در حدود کمتر از میکرومتر)، یا دماهای کم، افت و خیزهای کوانتومی در برهم‌کنش نقش اصلی را ایفا می‌کنند، اما در فواصل بزرگ (بزرگ‌تر از هشت میکرومتر در دمای اتاق) یا در دماهای بالا، افت و خیزهای گرمایی در برهم‌کنش سهم غالب را دارند و نیرو با $\frac{k_{B}T}{H^{3}}$ متناسب است. در فواصل میانی هر دو نوع افت و خیز در برهم‌کنش نقش دارند. برای داشتن درک بهتر از سه ناحیهٔ یاد شده، یعنی نواحی فواصل کوچک، متوسط و بزرگ، و یا دماهای کم، میانی و بالا، در شکل ۳ (ب) نمودار فاز سیستم برای پارامترهای دما و فاصلهٔ بین دو صفحه، رسم شده است. در فاصله‌های کمتر از $\lambda_{T}/10$ نیرو ماهیت کوانتومی دارد، زیرا طول‌موج‌های گرمایی از فاصلهٔ بین دو رسانا بسیار بزرگ‌تر است، در حالی‌که در فواصل بزرگ‌تر از λ_{T} افت و خیزهای گرمایی در برهم‌کنش نقش عمده را دارند. ناحیهٔ فواصل میانی، یعنی، $\lambda_{T}/10<H<\lambda_{T}$ ناحیهٔ گذار از فاز کوانتومی به فاز کلاسیک می‌باشد. در اینجا منظور از $\lambda_{T}=\frac{hc}{k_{B}T}$ طول‌موج گرمایی است.

بنابراین می‌توان در آزمایشگاه یک پدیدهٔ کوانتومی را در دمای اتاق مشاهده کرد، به شرط این‌که فاصلهٔ بین دو صفحه کمتر از میکرومتر باشد.



شکل ۳ : الف: نیروی کازیمیر برحسب فاصلهٔ بین دو صفحهٔ رسانا، برای دماهای مختلف ۱، ۵۰ و ۳۰۰ (دمای اتاق) کلوین، ب: نمودار فاز نیروی کازیمیر برای دو پارامتر دما و فاصلهٔ بین دو رسانا. قسمت آبی کم‌رنگ، ناحیهٔ کوانتومی (یا دماهای کم) است، در حالی‌که قسمت قرمز کم‌رنگ ناحیهٔ کلاسیک (یا دماهای بالا) است.

شرایط مرزی مختلف و جنس اجسام

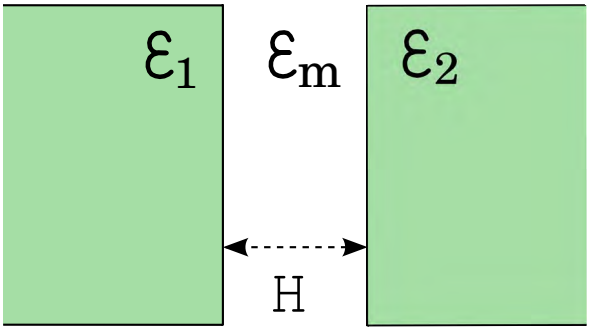
از آن‌جا که در آزمایشگاه تنها با رساناها سر و کار نداریم، لذا باید حالت‌های دیگر هم بررسی شوند. به‌عنوان مثال بررسی نیروی کازیمیر بین صفحه‌هایی با تراوایی نامحدود، یا بین یک صفحهٔ رسانا و یک صفحه با تراوایی نامحدود، یا بین دی‌الکتریک‌ها، و یا موادی که دارای خاصیت مغناطیسی قوی هستند، جالب خواهد بود.

به منظور بررسی برهم‌کنش کازیمیر بین دو صفحه با تراوایی نامحدود، یا بین یک صفحهٔ رسانا و یک صفحه با تراوایی نامحدود، سال‌ها بعد از منتشر شدن مقالهٔ کازیمیر، در سال ۱۳۵۳ بویر با استفاده از تقارن معادلات ماکسول تحت تبدیل میدان الکتریکی به میدان مغناطیسی و بالعکس ($E \to H, D \to B, H \to -E, B \to -D$) که E میدان الکتریکی، D بردار جابه‌جایی، B و H میدان‌های مغناطیسی هستند.) در عدم حضور بار و جریان، نشان داد که دو صفحهٔ تخت با تراوایی نامحدود ($\mu \to \infty$) یکدیگر را با نیرویی برابر با نیروی کازیمیر بین دو رسانای ایده‌آل، جذب می‌کنند [۱۵]. همچنین وی نشان داد که یک صفحهٔ رسانای ایده‌آل، یک صفحه با تراوایی نامحدود را با نیرویی معادل $F_B = -\frac{7}{8}F_C$ دفع می‌کند. در سال ۱۳۷۶ هاش واتر با محاسبهٔ فشار تابشی ناشی از خلأ میدان الکترومغناطیسی کوانتومی وارد بر صفحات، دقیقاً نتیجهٔ بویر را به دست آورد [۱۶]. در حضور یک صفحهٔ رسانا و یک صفحهٔ تراوا، مؤلفهٔ مماسی میدان الکتریکی بر روی صفحهٔ رسانا، و مؤلفهٔ مماسی میدان مغناطیسی بر روی صفحهٔ تراوا صفر می‌شوند. در نتیجه طیف میدان الکترومغناطیسی کوانتومی طوری تغییر می‌کند که نیروی کازیمیر بین صفحه‌های رسانا و تراوا دافعه می‌شود. شائو و همکارانش در سال ۱۳۸۵ به صورت نظری نشان دادند که هر گاه فروالکتریک $BaTiO_3$ به عنوان صفحهٔ دی الکتریک و YIG[1] به عنوان ورقهٔ تراوا در فاصلهٔ $1\mu m$ از هم قرار گیرند، یکدیگر را با نیروی کازیمیر در واحد سطحی در حدود $1.3\times10^{-4}\ N/m^2$ دفع می‌کنند [۱۸]. در نتیجه به نظر می‌رسد در مواردی که برهم‌کنش جاذبهٔ کازیمیر باعث چسبیده شدن اجزاء مختلف نانوماشین‌ها به یکدیگر و اخلال در کارکرد آن‌ها می‌شود [۴]، می‌توان از این دو ماده برای ساختن اجزای مختلف این نوع ماشین‌ها استفاده کرد.

بعدها در سال ۱۳۹۱ با استفاده از روش انتگرال مسیر، نیروی دافعه بین یک رسانای ایده‌آل تخت و یک صفحهٔ تخت با تراوایی نامحدود محاسبه شد، که با نتایج بویر و هاش واتر کاملاً سازگار بود [۱۷]. به علاوه از آن‌جا که در مرجع [۱۷] روش انتگرال مسیر به کار برده شده بود، در نتیجه، محاسبهٔ نیروی جانبی بین یک رسانای ایده‌آل و یک صفحه با تراوایی نامحدود که هر دو دارای ناهمواری سینوسی بودند، میسر شد. آن‌ها نشان دادند که در برهم‌کنش جانبی بین یک رسانای ایده‌آل و یک صفحه با تراوایی نامحدود، حالت تعادل پایدار و حالت تعادل ناپایدار سیستم، برعکس حالت تعادل پایدار و ناپایدار مربوط به برهم‌کنش جانبی بین دو صفحهٔ ناهموار رسانای ایده‌آل می‌باشند (به شکل ۲ رجوع شود).

مطالعات انجام شده که به تعدادی از آن‌ها در بالا اشاره شد، نشان می‌دهند که شرایط مرزی اعمال شده بر روی میدان افت و خیز کننده، در برهم‌کنش کازیمیر بسیار مهم و تأثیرگذار است. هنگامی‌که شرایط مرزی بر روی هر دو صفحه یکسان باشد، برهم‌کنش کازیمیر جاذبه است، در حالی‌که اگر شرایط مرزی موجود بر روی صفحه‌ها غیر یکسان باشد (بر روی یکی از صفحه‌ها مؤلفهٔ مماسی میدان الکتریکی، در حالی‌که بر روی صفحهٔ دیگر مؤلفهٔ مماسی میدان مغناطیسی صفر شود) برهم‌کنش کازیمیر دافعه خواهد بود.

مشخصهٔ دیگری که در برهم‌کنش کازیمیر بین اجسام به شدت تأثیرگذار می‌باشد، جنس اجسام است. زیرا شرایط مرزی اعمال شده بر روی میدان، وابسته به جنس اجسام برهم‌کنش کننده است.



شکل ۴: دو نیم‌فضای دی‌الکتریک با توابع دی‌الکتریک ε_1 و ε_2 که توسط یک برهٔ دی‌الکتریک با تابع دی‌الکتریک ε_m و ضخامت H از یکدیگر جدا شده‌اند.

به عنوان مثال، هرگاه به جای دو صفحهٔ رسانا که در خلأ میدان الکترومغناطیسی کوانتومی غوطه‌ور هستند، سیستمی در دمای محدود و متشکل از دو نیم‌فضای دی الکتریک را ($\varepsilon_2, \varepsilon_1$) که توسط یک برهٔ دی الکتریک (ε_m) از یکدیگر جدا شده‌اند، در نظر بگیریم (رجوع شود به شکل۴)، آن‌گاه دو نیم‌فضای دی‌الکتریک به سبب اعمال شرایط مرزی بر روی میدان افت و خیز کنندهٔ الکترومغناطیسی کوانتومی (در هنگام رفتن از یک محیط به محیط دیگر، مؤلفه‌های مماسی میدان الکتریکی، E، در مرزها پیوسته است در حالی‌که مؤلفهٔ عمودی بردار جابه‌جایی، D، پیوسته خواهد بود. در ضمن همین شرایط مرزی برای میدان‌های B و H برقرار است.) با یکدیگر برهم‌کنش افت و خیز-القایی خواهند داشت که این برهم‌کنش اولین بار توسط لیفشیتز در سال ۱۳۳۵ بطور نظری فرمولبندی شد [۱۹]. در نتیجه از آن به برهم‌کنش لیفشیتز یاد می‌شود. هرگاه دی‌الکتریک‌ها مغناطیسی نباشند، (یعنی برای آن‌ها داشته باشیم $\mu=1$)، و رابطهٔ بین ضریب دی‌الکتریک آن‌ها به صورت $\varepsilon_1, \varepsilon_2 < \varepsilon_m$ و یا $\varepsilon_1, \varepsilon_2 > \varepsilon_m$ باشد، برهم‌کنش لیفشیتز بین دو نیم‌فضای دی‌الکتریک جاذبه [۲۰]، و هرگاه به صورت $\varepsilon_1 < \varepsilon_m < \varepsilon_2$ و یا $\varepsilon_1 > \varepsilon_m > \varepsilon_2$ باشد، برهم‌کنش دافعه

خواهد بود [۲۱]. در حد $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \to \infty$ و $\varepsilon_m \to 1$ نیروی لیفشیتز منطبق بر نیروی موجود در رابطهٔ (۲) خواهد بود.

برهم‌کنش لیفشیتز در سیستم‌هایی با هندسهٔ پیچیده‌تر، به عنوان مثال سیستم‌های لایه‌ای که در زیست‌شناسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند، هم قابل مطالعه است [۲۲]. مثال کاربردی آن برهم‌کنش یک تک لایهٔ گرافین ناآلاییده که در نزدیکی یک لایهٔ ضخیم از دی‌الکتریک SiO_2 قرار گرفته است، می‌باشد. لایهٔ گرافین در خلأ غوطه‌ور است. انرژی جاذبهٔ برهم‌کنش افت و خیز-القایی بر واحد سطح در دمای اتاق، بین تک لایهٔ گرافین و نیم‌فضای SiO_2 وقتی در فاصلهٔ یک نانومتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند، -1.6×10^{-15} eV می‌باشد [۲۳]. هر چقدر فاصلهٔ بین لایهٔ گرافین و نیم‌فضای SiO_2 بیشتر باشد، اندازهٔ انرژی جاذبهٔ برهم‌کنشی کمتر خواهد شد، به طوری که در فاصله‌های ۱۰nm و ۱۰۰nm، اندازهٔ آن به ترتیب به 3.6×10^{11} eV/m^2 و 8.7×10^{7} eV/m^2 تنزل خواهد کرد.

بحث و نتیجه گیری

همان‌طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، قرار دادن دو یا چند جسم خارجی در محیطی که در آن میدانی افت و خیز کننده با همبستگی‌های بلند برد وجود دارد، موجب تغییر طیف آن میدان خواهد شد. در نهایت به سبب این تغییر در طیف، اجسام غوطه ور در این محیط بدون داشتن تماس مستقیم، با یکدیگر برهم‌کنش افت و خیز-القایی خواهند داشت. به عنوان مثال میدان افت و خیز کننده می‌تواند الکترومغناطیسی کوانتومی باشد که در محیط خلأ و یا دی الکتریک وجود دارد که نیروهای افت و خیز-القایی به ترتیب نیروی کازیمیر و نیروی لیفشیتز هستند. هرگاه میدان افت و خیز کننده، میدانی غیر از میدان الکترومغناطیس باشد، آن‌گاه نیروی افت و خیز-القایی مربوطه اصطلاحاً شبه کازیمیر نامیده می‌شود. مثال آن میدان‌های فشار، دما و چگالی ذرات در محیط گاز دانه‌ای هستند، که هرگاه دو یا چند جسم خارجی بزرگ در این محیط قرار دهیم، با یکدیگر برهم‌کنش شبه کازیمیر خواهند داشت که با توجه به مقادیر پارامترهای موجود در سیستم (به عنوان مثال فاصلهٔ ذرات بزرگ، چگالی متوسط گاز دانه‌ای، دما و ضریب جهندگی دو جسم در هنگام برخورد با یکدیگر) می‌تواند جاذبه و یا دافعه باشد[۵]. برهم‌کنش شبه کازیمیر در سیستمی حاوی مذاب پلیمری [۶] و یا متشکل از پلیمرهای نیمه انعطاف پذیر [۷] هم مورد مطالعه قرار گرفته است.

همان‌طور که قبلاً عنوان شد، نیروی کازیمیر جانبی بین صفحه‌های ناهموار رسانا می‌تواند به عنوان محرک نانوماشین‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۱۱]، در صورتی‌که در مواردی که نیروی کازیمیر موجب اخلال در کارکرد نانوماشین‌ها می‌شود[۴]، به نظر می‌رسد که برای حذف آن، می‌توان به جای استفاده از صفحه‌هایی فقط رسانا و یا صفحه‌هایی فقط تراوا، از صفحه‌هایی که دارای الگو هستند استفاده کرد. یعنی صفحه‌هایی که هر یک از آن‌ها دارای قسمت‌هایی رسانا و قسمت‌هایی تراوا هستند[۲۴].

1 Garnet Iron Yttriun

منابع:

1- H. B. G. Casimir, Proc. K. Ned. Akad. Wet. 51, 793 (1948).
2- P. W. Milonni, R. J. Cook and M. E. Goggin, Phys. Rev. A 38, 1621 (1988).
3- A. Lambrecht, Phys. World, September 2002, Page 29.
4- E. Buks and M. L. Roukes, Phys. Rev. B 63, 033402 (2001); Nature (London) 419, 119 (2002).
5- M. R. Shaebani, J. Sarabadani and D. E. Wolf, Phys. Rev. Lett. 108, 198001 (2012); Phys. Rev. E 88, 022202 (2013); C. Cattuto, R. Brito, U. M. B. Marconi, F. Nori and R. Soto, Phys. Rev. Lett. 96, 178001 (2006).
6- S. P. Obukhov and A. N. Semenov, Phys. Rev. Lett. 95, 038305 (2005).
7- D. Kachan, R. Bruinsma and A. J. Levine, Phys. Rev. E 87, 032719 (2013).
8- P. W. Milonni, The Quantum Vacuum (Academic, San Diego, 1994).
9- F. Chen, U. Mohideen, G. L. Klimchitskaya, and V. M. Mostepanenko, Phys. Rev. Lett. 88, 101801 (2002); Phys. Rev. A 66, 032113 (2002).
10- T. Emig, A. Hanke, R. Golestanian and M. Kardar, Phys. Rev. A 67, 022114 (2003).
11- A. Ashourvan, M.F. Miri and R. Golestanian, Phys. Rev. Lett. 98, 140801(2007); M.F. Miri and R. Golestanian, Appl. Phys. Lett. 92, 113103 (2008).
12- T. Emig, N. Graham, R. L. Jaffe and M. Kardar, Phys. Rev. Lett. 99, 170403 (2007); S. J. Rahi, T. Emig, N. Graham, R. L. Jaffe and M. Kardar, Phys. Rev. D 80, 085021 (2009); N. Graham, A. Shpunt, T. Emig, S. J. Rahi, R. L. Jaffe, and M. Kardar, Phys. Rev. D 81, 061701(R) (2010); S. J. Rahi, T. Emig, R. L. Jaffe and M. Kardar, Phys. Rev. A 78, 012104 (2008); P. Rodriguez-Lopez and T. Emig, Phys. Rev. A 85, 032510 (2012).
13- J. I. Kapusta, Finite-Temperature Field Theory (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1989).
14- J. Sarabadani and M.F. Miri, Phys. Rev. A 84, 032503 (2011).
15- T. H. Boyer, Phys. Rev. A 9, 2078 (1974).
16- V. Hushwater, Am. J. Phys. 65, 381 (1997).
17- B. Kiani and J. Sarabadani, Phys. Rev. A 86, 022516 (2012).
18- C. G. Shao, D. L. Zheng and J. Luo, Phys. Rev. A 74, 012103 (2006).
19- E. M. Lifshitz, Sov. Phys. JETP 2, 73 (1956).
20- S. A. Safran, Statistical Thermodynamics of Surfaces, Interfaces, and Membranes (Addison-Wesely, New York, 1994).
21- J. N. Munday, F. Capasso and V. A. Parsegian, Nature 457, 170 (2009).
22- R. Podgornik, P. L. Hansen and V. A. Parsegian, J. Chem. Phys. 119, 1070 (2003).
23- J. Sarabadani, A. Naji, R. Asgari and R. Podgornik, Phys. Rev. B 84, 155407 (2011).
24- J. Sarabadani, Casimir interaction between patterned plates, in preparation.

مصاحبه با کامران وفا

مصاحبه و تنظیم: امین صالحی، مهدی ترابیان

کامران وفا استاد دانشگاه هاروارد آمریکا است. او سهم عمده‌ای در فرمول‌بندی و پیش‌برد نظریهٔ ریسمان داشته است. خردادماه امسال ایشان سفری به ایران داشت. «فیزیک روز» از این فرصت استفاده کرده و مصاحبه‌ای را با ایشان ترتیب داده است که در زیر می‌خوانید.

از اینکه ما را مفتخر کرده و برای این مصاحبه به ما وقت دادید سپاسگزارم. در چند جمله بفرمایید که نظریهٔ ریسمان چیست و چرا شما ریسمان‌کار شدید؟

ریسمان نظریه‌ای است که نیروی گرانش را با مکانیک کوانتومی در یک چارچوب واحد جای داده است و علّت وجودش درواقع همین است البته به این دلیل به‌وجود نیامد اما این استفاده‌ای است که از آن می‌شود.

چرا ریسمان‌کار شدید و انگیزه‌تان ازورود به این رشته چه بود؟

من به سؤالات اساسی در مورد فیزیک و این‌که جهان چطور کار می‌کند علاقه‌مند بودم و نظریهٔ ریسمان درواقع تنها نظریه‌ای است که می‌تواند اساس دنیا و قوانین طبیعت را توضیح دهد.

جذاب‌ترین چیز در مورد نظریهٔ ریسمان و کار شما چیست؟

به نظر من، ما در نظریهٔ ریسمان به ساختار خیلی زیبا و غنی ریاضی دست پیدا کردیم و این نظریه فیزیک را به صورت زیبایی به ریاضیات وصل کرده است. ریسمان تقارن‌های جدیدی به ما یاد داده که انتظارش را نداشتیم، تقارن‌هایی که دو زمینهٔ کاملاً مجزا از هم را به‌هم پیوند داده و یکسان کرده است. تقارن‌های دوگان که در دهه‌های اخیر در این نظریه کشف شده نگاه ما به فیزیک را زیر و رو کرده و معنای علم فیزیک را تغییر داده است.

دقیقاً کدام قسمت جذابیت اصلی برای شما بوده است؟

این‌که از طریق هندسی می‌توانیم به حقایق فیزیک دست پیدا کنیم.

انگیزهٔ اصلی مطالعهٔ نظریهٔ ریسمان ارائهٔ یک نظریهٔ گرانش کوانتومی است. بعد از حدود ۲۵ سال فعالیت در این رشته آیا جامعهٔ علمی به یک فهم جامع، یک اجماع از نظر گرانش کوانتومی رسیده است؟ آیا یک رقیب جدی برای این نظریه وجود دارد؟

خیر به یک نظریهٔ جامع نرسیده‌ایم و ریسمان هیچ رقیب جدی‌ای هم ندارد.

مهمترین کار علمی شما چه بوده است؟

کاری که بیشتر شناخته شده است کاری است که در مورد سیاه‌چاله‌ها با اندرو استرامینجر[1] انجام دادم و یا کاری که بیشتر به آن رجوع می‌شود کاری است که در مورد نظریهٔ اف[1] انجام دادم ولی کاری که دلخواه خودم است همین ارتباط با هندسه و تعبیر فیزیکی هندسه است.

کمی بیشتر توضیح می‌دهید؟

در واقع شما می‌توانید خواص هندسی که در ابعاد دیگر در نظریهٔ ریسمان وجود دارد را به نتایج فیزیکی در چارچوب بُعدی که در آن زندگی می‌کنید تبدیل کنید و این بستگی دارد به این‌که شما در این فضای فشرده چه کاری انجام دهید و چه خواص فیزیکی را در چهار بعد ماکروسکوپیک به ما بدهید و این برای من بسیار زیبا و جذاب است.

چه کسی یا کسانی بیشترین تأثیر را بر زندگی حرفه‌ای شما داشته‌اند، آیا شخص خاصی باعث شد شما به نظریهٔ ریسمان کشیده شوید؟

رفتن من به نظریهٔ ریسمان به خاطر کارهایی بوده که در این نظریه شده ولی شخصی که مسلماً در کار علمی من نقش داشته استاد راهنمای من ادوارد ویتن[2] بوده است. گذشته از آن همکاری‌هایی که با بسیاری از فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان در دهه‌های اخیر کرده ام روی کار من تأثیر داشته است. تک تک نمی‌توانم اسم ببرم ولی تعداد خیلی زیادی هستند.

به‌جای آن‌که از تأثیر خاص دیگران روی خودم حرف بزنم، جواب دیگری بدهم. این‌که انسان‌ها بتوانند روی هم تأثیر بگذارند، به‌هم کمک کنند و الهام‌بخش هم باشند خیلی مهم است. یکی از دوستان من استاد فیزیکی بود به نام حسین سرمدی که نمی‌دانم

با ایشان آشنا هستید یا نه، ایشان یکی از جوانان فوق‌العاده فعال در نظریه‌های انرژی بالا مخصوصاً در نظریهٔ ریسمان بودند، مقالات خیلی خوبی هم نوشتند، البته من اطلاع نداشتم تا الان که متأسفانه متوجه شدم چندین سال پیش به‌خاطر یک ناراحتی در جوانی فوت کرده‌اند. ایشان یک شاگرد ونزوئلایی به نام فِردی کاچازو[۳] داشت که بعداً در هاروارد شاگرد من شد و کارهای خوبی هم انجام داد و اخیراً در آمریکا یک جایزهٔ صدهزار دلاری[۴] به او دادند، در جشنی که بسیاری بزرگان مثل مارک زاکربرگ[۵] فیس بوک در آن حضور داشتند. ایشان اولین حرفی که زد این بود که من این جایزه را به حسین سرمدی اهدا می‌کنم چون ایشان در ایتالیا الهام‌بخش من برای گرفتن دکتری در این رشته بود. این تأثیرها بسیار مهم است و باید از آن قدردانی شود و ایشان به‌عنوان یک ونزوئلایی در جامعه‌ای که هیچ کس حسین سرمدی را نمی‌شناخت و با اینکه ایشان فوت کرده بود این‌طور به ایشان ارج می‌گذاشت و من این را مخصوصاً می‌گویم تا دوستان ایرانی و بخصوص خانوادهٔ ایشان بدانند که در این زمینه چقدر مورد علاقه بودند.

آیا هیچ‌وقت آرزو کرده‌اید که وقت خود را به جای کار بر ریسمان روی شاخهٔ دیگری می‌گذاشتید یا حتی خارج از فیزیک کار می‌کردید؟

خیر

به دانشجویان کارشناسی توصیه می‌کنید که نظریهٔ ریسمان را ادامه دهند؟

صد در صد، ولی واقعاً باید دلشان بخواهد و به قول معروف تنشان برای این کار بخارد، اگر کسی شک کند و مطمئن نباشد باید بگوییم نه زحمت نکش! چون از این نظر که نتیجه ندهد یا نتیجهٔ قابل توجهی ندهد ریسک زیادی دارد، در نتیجه باید واقعا بگوید هیچ کار دیگری جز این ندارم و آن‌وقت می‌گوییم خب، اگر چارهٔ دیگری ندارید بنشینید همین کار را انجام دهید! در این صورت است که می‌گویم صد در صد!

شما در دوره‌ای به پدیده شناسی ذرات بنیادی علاقه‌مند شدید، البته رویکردی با نگاه ریسمانی، می‌توانید چند جمله در مورد این علاقه‌مندی و آخرین پیشرفت‌ها در این زمینه توضیح دهید.

من پیش از نظریهٔ ریسمان‌ها کارم را با نظریهٔ ذرات شروع کردم و چهار، پنج مقالهٔ اولی که نوشتم در مورد نظریهٔ ذرات بود این قبل از این بود که نظریهٔ ریسمان برای بار دوم در دنیای فیزیک مطرح شود و بعد از سال ۱۹۸۴ دوباره کار روی آن را شروع کنم، گرچه کاری که نظریهٔ ریسمان در ذرات و وحدت نیروها انجام خواهد داد همیشه زمینهٔ فکری من بوده است. با شروع شدن آزمایش LHC در سرن، علاقهٔ من و احتمال یافتن نتایج مرتبط با ریسمان در LHC، مرا به این سو جلب کرد که ببینم آیا با استفاده از نظریهٔ ریسمان‌ها و داده‌های اخیری که کشف شده‌اند از جمله تقارن‌های دوگان، می‌توان نتایج احتمالی سرن را پیش‌بینی کرد. فکر می‌کنم

عکس از امین صفدری

حدود بیست مقاله در مورد نتایج کاربردی ریسمان در نظریهٔ ذرات نوشتم که البته هنوز در سرن مشاهده نشده و نمی‌دانیم هم مشاهده بشود یا خیر ولی به هر حال کار لذت‌بخشی بود که ببینیم آیا می‌توان از جهاتی ریسمان‌ها را به نتایج آزمایشگاهی سرن نزدیک کنیم. البته ممکن هم هست نتایج مشاهده بشود چون هنوز انرژی به حد کافی بالا نرفته و شدت[۶] این باریکه[۷] به حد کافی نیست. در دنیای فیزیک مقدار زیادی کار روی فکرهایی انجام می‌شود که لزوماً به نتیجه نمی‌رسد ولی نباید دلسرد شد و صرف دید علمی صرف نظر از نتیجه خودش لذت‌بخش است.

جدل و بحثی طولانی بین برخی فیزیک‌دانان ذرات بنیادی و ریسمان‌ها وجود دارد، اساس اصلی حملهٔ این فیزیک‌دانان به نظریهٔ ریسمان چیست؟

باید از آن‌ها بپرسید. اگر من بگویم شاید به نظرشان بچه‌گانه بیاید و شاید بهتر است این دید و اختلاف را من توضیح ندهم و فقط حدس بزنم. البته حرفی که بینشان است از جهاتی هم منطقی است. مثلاً آقای گلشو[۷] که یکی از سردمداران نظریهٔ ذرات است عقیده‌اش این است که ما همهٔ فیزیک را بر اساس آزمایش بنا کرده‌ایم و مغز بشر هیچ‌گاه قادر نیست از صفر شروع کند و بدون نتیجهٔ آزمایشی به جایی برسد و درواقع نظرش این است که مغز بشر چون اینقدر ضعیف است نباید انتظار داشت به نتایج درخشانی مثل آنچه نظریهٔ ریسمان‌ها پیش‌بینی می‌کند برسد. چه بسا نظر ایشان درست باشد چون کارهایی که ریسمان می‌کند واقعاً دشوار است ولی این‌که بنشینیم و دست روی دست بگذاریم و شاهد ناهنجاری مکانیک کوانتومی و نیروی گرانش باشیم کم‌لطفی است. لذا ما سعی‌مان را می‌کنیم چه به نتیجه برسیم یا نه. مغز بشر کنجکاو است و برای این کنجکاوی نمی‌توان سد و دیوار کشید.

امیدوار بودم که از آقای گلشو یاد کنید، فکر می‌کنم با اختلاف یکی دو سال با هم هم‌دانشگاهی بودید؟

عکس از امین صفدری

ایشان در هاروارد پیش از این‌که من استاد شوم سالیان سال استاد بودند، فکر می‌کنم بیست سالی با هم اختلاف سنی داریم.

ایشان شما را انسانی باهوش و متعصب[۹] نام برده است.

من دیگر با ایشان حرف نمی‌زنم (با خنده). شما می‌گویید یا ایشان گفته‌اند؟ کجا گفته‌اند؟

در مقاله‌ای که دانشگاه کلمبیا چاپ کرده است،

ایشان آدم خوبی است، شاید کمی گمراهشان کرده‌اند. ایشان آدم بامزه‌ای است و راستش را بخواهید شوخی می‌کند. زمانی، حدود سال‌های ۱۹۸۹- ۱۹۸۸ من در هاروارد تازه دانش‌یارشده بودم و ایشان استاد سینیور بودند، جایزهٔ نوبل برده بودند و غیره و غیره. ایشان با شبکهٔ BBC در مورد نظریهٔ ریسمان مصاحبه‌ای کردند، وقتی نظرش را در مورد نظریهٔ ریسمان پرسیده بودند همان چیزهایی که فکر می‌کنید، جواب داده بود و بعد گفته بود که من سعی نهاییم را کردم که نظریهٔ ریسمان را از هاروارد دور نگه دارم و در این راه موفق شدم. وقتی به ایشان گله کردم که شما با این حرف باعث می‌شوید دانشجویان از خواندن نظریهٔ ریسمان در هاروارد دفع شوند و در نتیجه اینجا دیگر جای من نباشد، ایشان گفتند نگران نباش این‌ها فقط برای مصاحبه بود! بعدها وقتی مصاحبهٔ ایشان به صورت نوشتاری انتشار یافت، نوشته با آنچه صحبت کرده بود فرق داشت و در نوشته این‌طور بود که: من سعی نهاییم را کردم که نظریهٔ ریسمان را از هاروارد دور نگه دارم و در این راه موفق نشدم. منظورم این است که ایشان شوخ‌طبعند و نباید خیلی جدی گرفت.

ایشان نظریهٔ ریسمان را یک اتلاف وقت تراژیک می‌دانند.

اشکالی ندارد، خوبی فیزیک‌دان‌ها این است که خیلی عصبانی نمی‌شوند و این چیزها به شوخی و دوستانه مطرح می‌شود، ولی چیزی که مشخص می‌کند فیزیک چگونه پیش می‌رود فیزیک‌دان‌ها هستند و فیزیک‌دان‌های جوان و فیزیک‌دان‌هایی که با ذهنیت خود تشخیص می‌دهند چه چیزی جالب است. نه آقای گلشو و نه بنده نمی‌توانیم تعیین کنیم که جوان‌ها از نظر فیزیکی به چه چیز جذب شوند. اگر نظریهٔ ریسمان‌ها نتواند هیچ نوع نتیجهٔ مشخصی بدهد که با آن چیزی که ما به عنوان فیزیک و علم می‌شناسیم ارتباط داشته باشد خب چه بسا علاقه به این رشته ضعیف‌تر شود ولی با گفتن من یا آقای گلشو این چیزها فرقی نمی‌کند.

آیا متصور شده‌اید که در آینده به ایران بیایید و در یکی از دانشگاه‌ها تدریس کنید؟

بله، تصور سختی نیست ولی اگر منظورتان این است که این انجام می‌شود یا نه، جور دیگری سؤال بپرسید.

در مورد شدن یا نشدنش هم توضیح دهید.

من هربار که به ایران می‌آیم از انرژی‌ای که شاگردها و استادها دارند انرژی می‌گیرم و در نتیجه احساس خیلی خوبی است. احساس می‌کنم جوی بین دانشجویان هست که دوست دارند قدم به این راه بگذارند و یک تشنگی نسبت به علم حس می‌کنم و این برای محیط کار خیلی خوشایند است ولی خب مسائل دیگری هم هست که کار را سخت می‌کند، مثلاً من نمی‌دانم تا چه حد به علوم پایه و سازمان‌هایی که قادرند نخبگان علمی پرورش دهند دقت می‌شود و بودجه اختصاص می‌یابد، متأسفانه سازمان‌هایی که بین‌المللی‌تر و در قالب ایران کار کنند نمی‌بینم اما می‌بینم که پایه‌اش هست و توانایی و استعدادش و منابع انسانی‌اش[۱۰] را داریم. از نظر انسانی می‌توانیم این کار را انجام دهیم. فیزیک‌دان و شیمی‌دان و ریاضی‌دان درجه یک داریم و در زمینهٔ علوم پایه

آقای گلشو که یکی از سردمداران نظریهٔ ذرات است عقیده‌اش این است که ما همهٔ فیزیک را بر اساس آزمایش بنا کرده‌ایم و مغز بشر هیچ‌گاه قادر نیست از صفر شروع کند و بدون نتیجهٔ آزمایشی به جایی برسد و درواقع نظرش این است که مغز بشر چون اینقدر ضعیف است نباید انتظار داشت به نتایج درخشانی مثل آنچه نظریهٔ ریسمان‌ها پیش‌بینی می‌کند برسد.

می‌توانیم کارهای جدی انجام دهیم ولی برنامه‌ریزی و سیاست‌های درست که بتواند این را در سطح کشور و جهان پیش ببرد نمی‌بینم. من علاقه‌مند بودم که بتوانیم سازمان‌های علمی در سطح جهانی داشته باشیم ولی متأسفم که می‌بینم کمتر سیاست‌مداری به این توجه دارد.

این روزها کیهان‌شناسی جهان اولیه موضوع داغی در فیزیک نظری است. آیا فکر می‌کنید با مدل‌هایی که از فشرده‌سازی ابعاد اضافه در نظریهٔ ریسمان هست می‌توان نوری روی این نظریه انداخت و این مسأله را روشن کرد؟

یکی از موارد که اخیراً به آن علاقه‌مندی مجدد پیدا کرده‌ام همین ارتباط بین کیهان‌شناسی و نظریهٔ ریسمان است. در این زمینه قبلاً هم کار کرده بودم اما با نتایجی که تیم Bicep2

به‌دست آورد مجدد علاقهٔ من به این طرف جلب شد که ببینم آیا از نظر ریسمان می‌توان چیز جدیدی برای کیهان‌شناسی پیدا کرد یا خیر. متأسفانه مسأله در کاربرد ریسمان‌ها در کیهان‌شناسی، نیاز به انرژی‌های بالا است و در انرژی‌های بالا توانایی محاسباتی ریسمان افت شدید دارد و در نتیجه اطمینان کامل در مورد دقت نتایج وجود ندارد ولی هیجانی که نتایج Bicep2 به‌وجود آورد علیرغم شکی که این اواخر در آن ایجاد شده، این است که چه بسا بتوان ایده‌های جدیدی حتی در بدگمانی و به‌طور حدسی در نظریهٔ ریسمان به‌وجود آورد، که مرتبط با کیهان‌شناسی در لحظه‌های اول به‌وجود آمدن جهان باشد.

من نمی‌دانم تا چه حد به علوم پایه و سازمان‌هایی که قادرند نخبگان علمی پرورش دهند دقت می‌شود و بودجه اختصاص می‌یابد، متأسفانه سازمان‌هایی که بین‌المللی‌تر و در قالب ایران کار کنند نمی‌بینم اما می‌بینم که پایه‌اش هست و توانایی و استعدادش و منابع انسانی‌اش را داریم.

شما نظریه‌پرداز اصلی نظریهٔ M[11] هستید، امکانش هست کمی راجع به این نظریه و دیگر نظریه‌های نظریهٔ ریسمان صحبت کنید و این‌که آیا به معنی نظریهٔ پدر[12] هست؟

خواصی که در تقارن‌های دوگان در نظریهٔ ریسمان کشف شد در واقع جایگاه خاصی به نظریهٔ یازده بعدی M می‌دهد. ولی در نظریهٔ ده بعدی ریسمان نوع IIB [13] جایگاه خیلی خاصی پیدا نکرد. در واقع مسیر رسیدن نظریهٔM به این نظریهٔ ده بعدی عجیب بود، از یازده بعد به نه بعد می‌رفت و بعد به ده بعد برمی‌گشت. به دلیل این تناقض من به نظریهٔF پرداختم و سعی کردم همان ساختاری که نظریهٔM برای نظریهٔ نوع IIA [14] در ده بعد ایفا می‌کند با نظریهٔF برای نظریهٔ نوعIIB در ده بعد تعریف کنم در واقع اگر M مادر باشد F می‌تواند برای هرچیز دیگری باشد که شما حدس می‌زنید.

آیا این ادعا درست است که کشف ذرهٔ ابرتقارنی تأییدی بر نظریهٔ ریسمان است؟

منظورتان از تأیید چیست؟ قطعاً اثباتی بر نظریهٔ ریسمان نیست ولی می‌توان گفت خوشایند آن است، نظریهٔ ریسمان دوست دارد که چنین چیزی باشد زیرا در انرژی‌های بالاتر به هر حال نیاز به ابرتقارن دارد و هرچه زودتر این ابرتقارن را ببینیم برای ریسمان بهتر است.

از دیدگاهی ابعاد اضافه در فضا-زمان یا ابعاد اضافهٔ فرمیونی از پیش‌بینی‌های نظریهٔ ریسمان است اما تاکنون هیچ آزمایشی اثری از این دو پدیده نشان نداده است، ممکن است به‌طور عملی هیچ‌گاه نتوان آزمایشی طراحی کرد که به این سطح از انرژی برسد که به‌طور مستقیم اثری از این پدیده‌ها ببینیم.

هیچ‌وقت، وقت درازی است ولی به هر حال بفرمایید.

در این صورت آیا راهی وجود دارد که بتوان نظریهٔ ریسمان را از یک ساختار ریاضی به یک نظریهٔ فیزیکی ارتقا داد؟

هیچ‌وقت را از کجا می‌توانید بگویید؟ هیچ‌وقت را نمی‌توانیم بگوییم، در نتیجه اگر جوابش هیچ‌وقت باشد آن‌وقت هیچ‌وقت ریسمان‌ها ربطی به جهانی که در آن زندگی می‌کنیم نخواهد داشت. بالنهایه آزمایش محک صحت و سقم یک نظریه است و نظریهٔ ریسمان استثنایی بر این اصل نیست. وقتی می‌گوییم نظریهٔ ریسمان به صورت آزمایشی اثبات نشده معنیش این نیست که علاقه نداریم آزمایش شود ولی مسلماً اگر آزمایش نشود تا مدتی که نشده یک نوع نظریهٔ فرضی است تا وقتی که اثبات شود.

آیا قاعدهٔ طلایی در انجام کار تحقیقاتی وجود دارد که شما از آن پیروی کنید، شما چه چیزی به پژوهشگران جهان توصیه می‌کنید؟

تنها قاعده‌ای که می‌توانم بگویم این است که باید پشتکار داشت و از شکست‌هایی که در محاسبات تحقیقات رخ می‌دهد دلسرد نشد. دلسردی است که مسأله به‌وجود می‌آورد. باید پشتکار داشت و از کار نبُرید. تنها توصیهٔ من همین است. وقتی از ادیسون پرسیدند که چه‌طور به اختراعات رسیده، گفت از صد در صد، نود و نه درصدش عرق بود و یک درصدش الهام، زحمت داشت. علم همین‌طور است.

چگونه یک صاحب‌نظر درجه یک شویم؟

اولاً باید استعداد داشت که خدادادی است و تحت کنترل ما نیست و دوماً باید زحمت کشید و پشتکار داشت. کمبود یکی را می‌شود با زیادی دیگری جبران کرد.

1 Andrew Strominger
2 Edward Witten
3 Cachazo Freddy
4 New Horizons in Physics Prize.
5 Zuckerberg Mark
6 intensity
7 Bims
8 Glashow
9 Smart & fanatic
10 Human resource
11 M.Theory
12 F.Theory
13 Type IIB
14 Type IIA

باستان‌سنجی، راه ارتباطی علوم طبیعی و باستان شناسی

فرانک بحرالعلومی
پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی فرهنگی (پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی)

خانم فرانک بحرالعلومی دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی فیزیک از دانشگاه صنعتی وین است. او دوره‌هایی دربارهٔ باستان‌سنجی یا همان استفاده از علوم طبیعی در باستان‌شناسی و هنر را در دانشگاه وین گذراند. پس از پایان تحصیلات، در پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری مشغول به کار شد. خانم بحرالعلومی مسؤولیت راه‌اندازی بخش سال‌یابی ترمولومینسانس را بر عهده داشته و تا امروز هم در همان بخش مشغول به کار است. او همچنین به دانشجویان باستان‌شناسی دانشگاه‌های تهران و دانشگاه هنر اسلامی تبریز باستان‌سنجی و به دانشجویان رشتهٔ مرمت آثار تاریخی دانشگاه هنر تهران، فیزیک، مرمت و سایر علوم و روش‌های نوین حفاظت و مرمت را درس می‌دهد.

خانم بحرالعلومی به مدت دو سال همزمان مسئولیت آزمایشگاه نسخه‌شناسی نامهٔ بهارستان وابسته به مجلس را عهده دار بوده است، این آزمایشگاه با تغییرات مدیریتی فعلًا تعطیل شده است.

«فیزیک روز» از ایشان خواسته است متنی را برای معرفی این حرفه برای خوانندگان «فیزیک روز» بنویسند. ایشان دو بار هم در یک سال گذشته در باشگاه فیزیک تهران سمینارهایی در رابطه با باستان‌سنجی داده‌اند.

چکیده

باستان‌شناسان با بررسی بقایای به جا مانده از گذشتگان به دنبال درک اندیشه و فرهنگ انسان‌هایی هستند که این اشیاء را ساخته‌اند. گذشته از آن بسیاری از مشکلات و مسائلی که انسان امروز با آن روبه‌روست، ریشه در گذشته دارد و تنها با شناخت این گذشته است که می‌توان در برنامه‌ریزی‌های درازمدت راه حلی برای برخی از این مسائل به دست داد. کافی است نگاهی به پاک‌تراشی جنگل‌هایی داشت که برای گسترش کشاورزی یا تأمین سوخت جهت ذوب فلزات از هزاره‌های گذشته تاکنون از میان رفته‌اند. سپس پیامدهای آن را درک و از گسترش آن جلوگیری کرد. از سوی دیگر باستان‌شناسی با مطالعهٔ فن‌آوری‌های گذشته می‌تواند راه‌حل‌هایی که گذشتگان برای حل مسائل پیش رو داشته‌اند را حلاجی کند، شاید انسان امروزه نیز بتواند از آن‌ها بهره جوید. مثالی از این دست فن‌آوری حفر قنوات است که پیشینیان ما در کشوری کم آب برای حل مسئلهٔ خشکسالی ارائه داده‌اند. یا چگونگی ساخت لعاب زرین فام برای پوشش کاشی و سفال، که امروزه معلوم شده است ذرات به کار رفته در ترکیبات این لعاب ابعادی در حد نانومتر دارند. در این راه اما، باستان شناسان نیاز به کمک متخصصان رشته‌های دیگر دارند تا بتوانند از همهٔ جوانب به بررسی جوامع و استقرارهای کهن مانند شناسایی روابط تجاری و اقتصادی، راه‌های بازرگانی، تعیین زمان پیدایش و پیشرفت فن‌آوری‌های مختلف و چگونگی بسط و گسترش منطقه‌ای آن‌ها، زمان پیدایش فرهنگ‌ها و چگونگی تداخل و نفوذ آن‌ها در یکدیگر، نوع رژیم غذایی، بیماری‌ها، روابط خویشاوندی و مباحثی از این دست بپردازند. هدف از همهٔ این مطالعات بازسازی کامل تاریخچهٔ یک جامعه، ساختار سیاسی، اجتماعی، فرهنگی ، اقتصادی، سطح پیشرفت علمی و هنری آن است تا با تکیه بر این آگاهی بتوان برای آینده برنامه‌ریزی‌های بهتری داشت.

مقدمه

همکاری فیزیک‌دانان، شیمی‌دانان، کارشناسان زمین‌شناسی، زیست‌شناسی، مهندسان، پزشکان و متخصصین ژنتیک و دیگر علوم در پروژه‌های باستان‌شناسی، امروزه منجر به ایجاد رشته‌ای به نام باستان‌سنجی شده است. باستان‌سنجی[1] به علمی میان‌رشته‌ای گفته می‌شود که با بهره‌گیری از علوم طبیعی و مهندسی سعی در پاسخگویی به سؤالات باستان‌شناسان دارد. باستان‌سنجی در سه حوزهٔ کاری فعالیت می‌کند:

۱) مکان‌یابی محل‌های باستانی[2] شامل کلیهٔ روش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی شناسایی مکان‌های باستانی ناشناخته و بررسی مکان‌های باستانی بدون انجام کاوش در آن‌ها، ۲) سال‌یابی[3] و ۳) شناخت مواد[4] شامل کلیه روش‌های علوم طبیعی برای استخراج بیشترین اطلاعات با کمترین آسیب به یافته‌ها و محل کاوش، فعالیت دارد[5].

مکان‌یابی

اولین حوزهٔ باستان‌سنجی، یافتن مکان‌های باستانی ناشناخته و بررسی محل‌های باستانی شناخته شده بدون انجام حفاری و تنها با استفاده از روش‌های علمی است. تأثیر فعالیت‌های انسانی، ساخت و سازها، انجام فعالیت‌های کشاورزی، صنعتگری، محل دفن زباله، گورستان، حفر کانال و راه آب، ساخت جاده، وقوع سیل و زلزله و آتش‌سوزی در محل‌های استقراری و دیگر فعالیت‌های انسانی در دوران باستان تأثیراتی بر سیمای زمین باقی می‌گذارد که با استفاده از عکسبرداری هوایی و ماهواره‌ای در نور مرئی و یا فروسرخ، بررسی خواص مغناطیسی، الکتریکی محل باستانی و تغییرات به وجود آمده در آن بر اثر فعالیت‌های انسانی، اندازه‌گیری چگالی خاک و تعیین تفاوت‌ها، می‌توان محل این فعالیت‌ها را مشخص نمود. امروزه باستان‌شناسان قبل از آغاز حفاری در یک منطقهٔ باستانی، با همکاری متخصصانی در ژئومغناطیس، ژئوالکتریک، لرزه نگاری و رادار نفوذی در زمین و اندازه‌گیری تغییرات مغناطیسی، الکتریکی یا دیگر ویژگی‌های خاک، سعی می‌کنند نقشه‌ای از محل حفاری و چگونگی توزیع آثار در آن به دست آورند و تا حد امکان از حفاری‌های غیرلازم که مستلزم صرف هزینه و وقت بسیار است بپرهیزند. دستگاه‌های مورد استفاده در این بررسی‌ها دقت بالایی دارند که می‌توانند کوچکترین تغییری در خواص فیزیکی زمین را ثبت کنند. برای مثال دستگاه اندازه‌گیری تغییرات شدت و جهت میدان مغناطیسی زمین (گرادیومتر)، می‌تواند تغییراتی در حد نانوتسلا را در خواص مغناطیسی محل مورد مطالعه ثبت کند. در حالی‌که حفاری یک محل باستانی می‌تواند چندین سال به طول انجامد و گاه نیز نتیجهٔ دلخواه را در بر نداشته باشد، استفاده از روش‌های مکان‌یابی دستگاهی و بررسی خواص فیزیکی زمین سرعتی چندین برابر دارد.

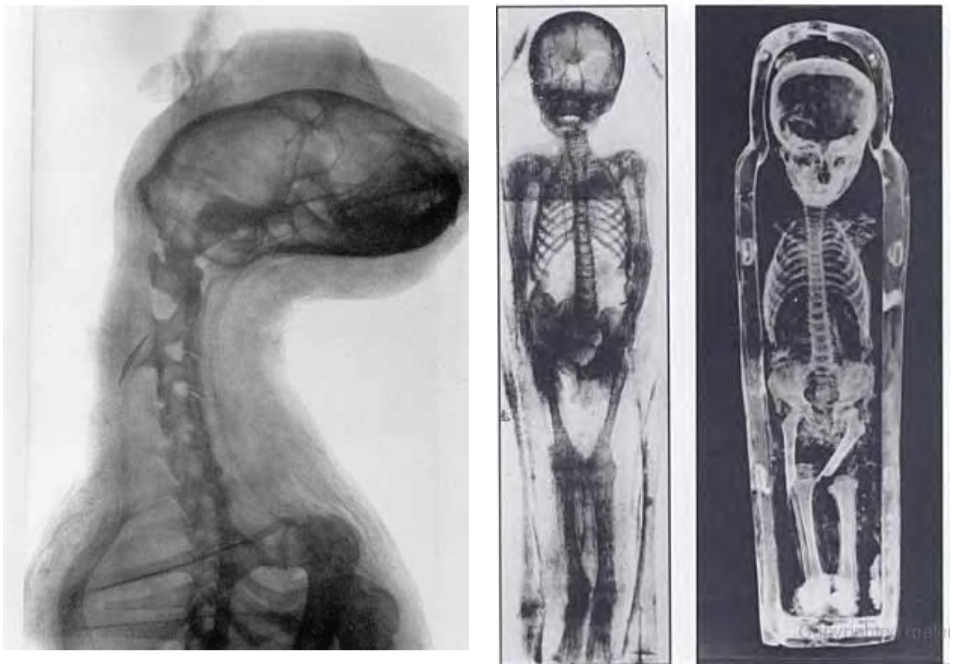
تصویر ۱: نقشهٔ ژئومغناطیس زمین در زمین‌های کشاورزی اطراف تخت جمشید. بر روی نقشه به خوبی می‌توان ساختارهای معماری و بناهای متعدد را مشاهده کرد. این تصویر بدون حفاری و فقط با اندازه‌گیری شدت و جهت میدان مغناطیسی توسط دستگاه گرادیومتر به دست آمده است. این دستگاه تغییراتی در حد ۶ نانوتسلا را ثبت کرده است.

سال‌یابی

حوزهٔ شناسایی مواد و سال‌یابی از دیگر حوزه‌های همکاری باستان شناسان با متخصصان علوم طبیعی است. استفاده از روش‌های علمی برای بررسی مواد و روش ساخت اشیاء باستانی به قرن ۱۸ میلادی باز می‌گردد. در آن زمان با کشف قوانین فیزیکی و شیمیایی، زمینه برای تجزیه کمی مواد فراهم آمده بود و در دانشگاه‌ها بررسی‌های پیگیرانه‌ای برای تعیین ترکیبات محصولات طبیعی و اشیاء ساخته شده از مواد معدنی انجام می‌شد که برای بررسی اشیاء باستانی از اهمیت خاصی برخوردار بود. این زمینهٔ فعال کاری به دلیل علاقهٔ وافر به تحقیقات باستان در قرن هجدهم به وجود آمده بود. در آن زمان سفرنامه‌های متعددی از سیاحان چاپ شده بود که در آن‌ها به بازدید از مکان‌های تاریخی و وجود اشیاء باستانی در کشورهای مختلف اشاره شده بود. در طی قرن هجدهم و نوزدهم در نقاط مختلف اروپا و آسیا

کشفیات باستان‌شناختی مهمی انجام شد و رشته‌های دانشگاهی باستان‌شناسی و حفاظت و مرمت اشیاء و آثار تاریخی تأسیس شد.

یکی از پیشگامان مطالعهٔ آثار باستانی با روش‌های آزمایشگاهی مارتین هاینریش کلاپرت، دانشمند آلمانی و کاشف اورانیوم بود. وی در اواخر قرن هجدهم مقالاتی دربارهٔ تجزیهٔ عنصری سکه‌های دورهٔ رومیان باستان و ترکیب سلاح‌ها و ابزارهای فلزی باستانی منتشر کرد [۹]. دومین سنگ بنای همکاری میان باستان شناسی و علوم طبیعی با تأسیس اولین آزمایشگاه در موزهٔ پادشاهی برلین در سال ۱۸۸۸ گذاشته شد. این آزمایشگاه به سرمشقی برای نهادهای مشابه مبدل شد و تا اوایل قرن بیستم میلادی تقریباً همهٔ موزه‌های مهم دنیا دارای یک آزمایشگاه تحقیقاتی بودند. رشد سریع کاوش‌ها و پژوهش‌های باستان شناسی در قرن بیستم، نیاز به روش‌های علمی برای پاسخگویی به سؤالات باستان‌شناسان با بهره‌گیری از روش‌های علوم طبیعی را آشکار ساخت. کشف رادیواکتیویته و اشعهٔ ایکس، ساخت دستگاه‌های آنالیز عنصری و ترکیبی مانند دستگاه فلورسانس اشعهٔ ایکس، پراش اشعهٔ ایکس، میکروسکوپ الکترونی و ابداع روش‌هایی مانند آنالیز فعال سازی نوترونی نه تنها راه را برای شناخت بهتر جهان توسط دانشمندان علوم طبیعی باز کرد بلکه این امکان را فراهم نمود تا باستان‌شناسان با همکاری کارشناسان علوم طبیعی با آنالیز و شناسایی مواد و مصالح مورد استفاده در جهان باستان به تدوین تاریخ علم به طور مستقیم و با مطالعهٔ آثار و اشیاء باستانی نائل آیند. البته مدت‌ها لازم بود تا دو طرف به زبانی واحد دست یابند، روش‌های غیر تخریبی ابداع شود و تفکر حفظ اشیاء و آثار باستانی برای انتقال به نسل‌های آینده به وجود آید.



تصویر۲: اولین تصاویری که از مومیائی‌های مصری در سال ۱۸۹۶، یک سال پس از کشف اشعهٔ ایکس به وسیلهٔ رونتگن، توسط W. Koenig تهیه شد. تصویر سمت راست مربوط به یک کودک مومیایی شده و تصویر سمت چپ، یک گربهٔ مومیایی شده است (Gondet, 2009) . (Aufderheide, 2002)

یک مثال جالب توجه در این باره، مطالعهٔ مومیائی‌هاست. در قرن ۱۹ میلادی با لشکرکشی ناپلئون به مصر، سیل اشیاء مصری و از جمله مومیائی‌های مصری به اروپا و امریکا سرازیر شد. در طی قرن نوزدهم میلادی کنجکاوی برای درک روند مومیایی کردن اجساد، به دست آوردن اشیایی که همراه مومیایی‌ها پیچیده شده بود و شناسایی مواد به کار رفته در مومیایی و تابوت، باعث شد تا تابوت‌ها و مومیایی‌های زیادی تکه تکه شده و با روش‌های تخریبی بررسی شوند. اما با کشف اشعهٔ ایکس و ساخت دستگاه‌های رادیوگرافی، تهیهٔ تصاویر رادیوگرافی برای بررسی مومیائی‌ها متداول شد و به‌تدریج روش‌های تخریبی در مطالعهٔ مومیائی‌ها به کنار گذارده شد [۱۲].

امروزه استفاده از توموگرافی و رادیوگرافی چه با اشعهٔ ایکس و چه با پرتوهای دیگری مانند گاما، نوترون یا بتا چنان جایگاهی در مطالعات هنری و باستان‌شناسی یافته است که دستگاه‌های مخصوص رادیوگرافی آثار تاریخی ساخته شده است و استفاده از دستگاه‌های قابل حمل در محل کاوش یا در موزه‌ها به امری متداول بدل شده است. دستورالعمل‌هایی برای استفاده از رادیوگرافی در باستان شناسی تدوین شده که در آن‌ها رادیوگرافی به عنوان یکی از اولین مراحل مطالعهٔ اشیاء و آثار تاریخی و پیش از تجزیهٔ عنصری و ترکیبی معرفی گردیده است. ارائهٔ تصاویر رادیوگرافی در موزه‌ها برای معرفی اشیاء و در کنار توضیحات تاریخی یا هنری، مورد توجه موزه‌داران قرار گرفته است و بدین‌وسیله حتی

تصویر۳: یک نقاشی قرن۱۶ مکتب فلاندر که تحت تأثیر نور فروسرخ (infra red)، آسیب‌ها و ترک‌های نقاشی آشکار شده است. (Webber,2008)

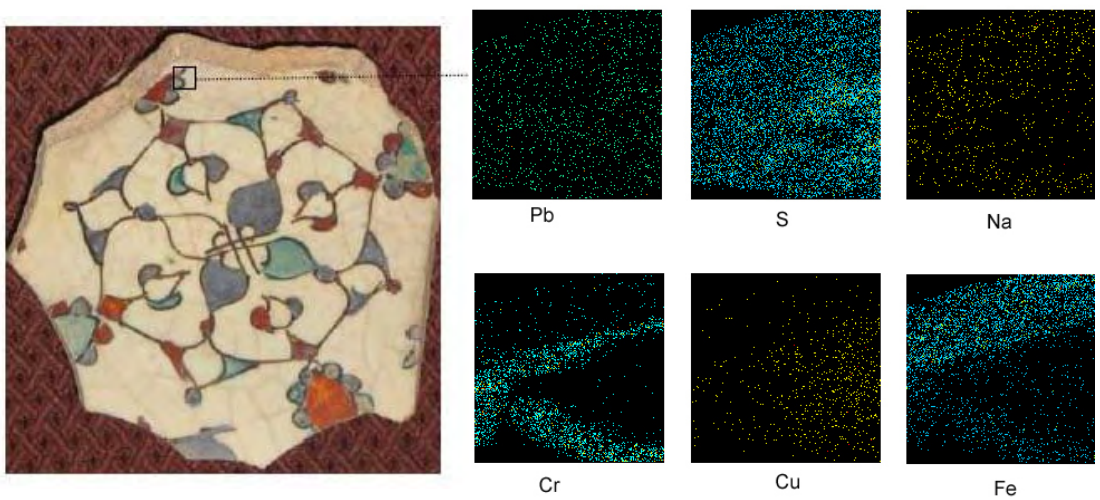
توانسته‌اند طرح‌ها و نقوش اولیهٔ زیر نقاشی اصلی را آشکار سازند. در کنار رادیوگرافی، بررسی آثار هنری با استفاده از دیگر پرتوهای الکترومغناطیسی برای تعیین آسیب‌ها و صدمات آثار هنری در حوزهٔ حفاظت و مرمت آثار نیز جایگاه مهمی دارد و به یکی از روش‌های استاندارد آسیب‌شناسی آثار هنری مبدل گشته است.

شناخت مواد

آنالیز ترکیبی و عنصری آثار تاریخی، هنری و فرهنگی از دیگر مواردی است که نیاز به همکاری کارشناسان فیزیک و شیمی دارد و برای تفسیر بهتر نتایج گاه از روش‌های آماری مورد استفاده در این علوم بهره گرفته می‌شود. همهٔ دستگاه‌هایی که در آزمایشگاه‌های فیزیک برای آنالیز و تجزیهٔ عنصری و ترکیبی به کار می‌رود مانند میکروسکوپ‌های مختلف یا دستگاه‌ها و روش‌های XRF، XRD، SEM-EDX، PIXE، NAA، AFM، پرتوهای سینکروترون، آنالیز رامان و بسیاری دستگاه‌های دیگر، برای بررسی آثار تاریخی، فرهنگی و هنری مورد استفاده قرار می‌گیرد تا بتوان تصویری از شرایط اقتصادی، اجتماعی، چگونگی استخراج و استحصال مواداولیه و فن‌آوری‌های گذشته به دست داد. همچنین بتوان با درک فرایندهای فرسایش آثار و آسیب‌های وارد بر آن‌ها، بهترین روش‌ها را برای حفاظت و مرمت آثار اتخاذ نمود. همچنین برای کنترل شرایط محیطی اشیاء باستانی و هنری و نیز ایجاد شرایط بهینهٔ محیطی در موزه‌ها نیز از همکاری متخصصان فیزیک و شیمی استفاده می‌شود.

یکی از فعال‌ترین آزمایشگاه‌های تجزیهٔ عنصری در ایران در زمینهٔ باستان‌سنجی، آزمایشگاه واندوگراف سازمان انرژی اتمی ایران است که با آنالیز سفال، استخوان، رنگ، فلز، سکه، رنگ‌دانه، شیشه، تمبر، کاغذ و مرکب و پوست و ده‌ها شیء باستانی، سهم مهمی در گسترش این حوزه در ایران داشته است. مثلاً این آزمایشگاه با تجزیهٔ عنصری ۴۷ سکه نقره اشکانی مربوط به پادشاهان مختلف دورهٔ اشکانی از اشک اول[۶] تا بلاش پنجم[۷] موجود در موزهٔ پول با روش پیکسی[۸] معلوم شد همبستگی واضحی بین شرایط سیاسی و عیار سکه‌ها وجود داشت. البته نکته جالب‌تر این بود که بررسی عیار سکه‌ها با محل ضرب نشان می‌داد که هر چه محل ضرب به همسایگانی از امپراتوری اشکانی با وضعیت سیاسی پایدار نزدیک‌تر بود، عیار سکه‌ها نیز بالاتر بود [۶].

مثال دیگر بررسی لعاب‌های کاشی و سفال است. شیوهٔ تهیهٔ لعاب و مواد به کار رفته در آن، ابعاد و نوع مواد هر رنگ در باستان شناسی از اهمیت بالایی برخوردار است. شناسایی مواد و مصالح موجود در لعاب‌ها از نظر فرایندهای فرسایش لعاب و اتخاذ شیوه‌های مرمتی نیز حائز اهمیت است. در یک نمونه سفال قدیمی با روش پیکسی، توزیع عناصر مختلف به خوبی مشخص گردیده است. همچنین همان‌گونه که در تصویر۴ دیده می‌شود، عناصری مانند سرب، گوگرد، سدیم تقریبا در تمام ناحیه آنالیز شده همگن هستند اما رنگ کرم حاوی عنصر مس، رنگ مشکی دارای کروم و رنگ زیتونی حاوی آهن است [۱].



تصویر۴- نقشه توزیع عناصر بر روی لعاب یک سفال قدیمی، ناحیه آنالیز شده در بالای تصویر مشخص شده است و دارای ابعاد ۲.۵ × ۲.۵ میلی متر است.

در ادامهٔ کار بر روی سفال در آزمایشگاه واندوگراف با همکاری گروهی از دانشمندان ایتالیایی، سفال‌های زرین فام نیز مورد بررسی قرار گرفتند. لعاب زرین فام که از قرن دوم هجری در کشورهای اسلامی ابداع شد و در دورهٔ ایلخانیان به اوج خود رسید دارای جلای فلزی و تلألو طلایی است و روش ساخت آن تا همین چند سال اخیر فراموش شده بود. این پژوهش‌ها نشان داد که تلألو طلایی در کاشی‌های زرین‌فام، به دلیل استفاده از نانو ذرات نقره و تلألو سرخ، مربوط به نانو ذرات مس در لعاب کاشی است، که در نهایت سبب پیدایش اثرات رنگی مختلف در این سفال‌ها شده است. البته هنوز معلوم نیست با چه فرایندهای فیزیکی و شیمیایی سفالگران قرون اولیه اسلامی‌توانسته‌اند مواد را به ابعاد نانو خرد کنند.

تصویر۵: یک سفال زرین فام (راست) و تصویر قطعه ای از سطح یک سفال زرین فام در زیر میکروسکوپ TEM، به ابعاد ذرات توجه شود (Sciau, 2012).

همچنین سازمان میراث فرهنگی در دههٔ ۷۰ شمسی با تجهیز پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت به دستگاه‌های پیشرفتهٔ آنالیز و سال‌یابی نقش مهمی در گسترش استفاده از روش‌های عملی در باستان شناسی، هنر و حفاظت و مرمت آثار ایفا کرده است. این پژوهشکده با داشتن آزمایشگاه‌های شیمی، رادیوگرافی، میکروسکوپی، فلورسانس و پراش اشعهٔ ایکس، آنالیز مادون قرمز و البته کارگاه‌های مرمت، در حوزهٔ فن‌شناسی و آسیب‌شناسی آثار تاریخی- فرهنگی و هنری، تعیین اصالت آثار، تعیین منشأ آثار تاریخی و دیگر مطالعات شناخت مواد و مصالح باستانی فعال است. برای مثال این پژوهشکده در مطالعهٔ علمی نخستین مرد نمکی کشف شده در معدن نمک زنجان همکاری داشته است. در این مطالعات قدمت مرد نمکی با روش سال‌یابی کربن ۱۴ و با استفاده از طیف نگاری شتاب‌دهندهٔ جرمی[۹] بر اساس شمارش مستقیم اتم‌های کربن۱۴حدود ۱۷۰۰ سال و علت مرگ وی بر اساس تصاویر توموگرافی ناشی از یک ضربه به سر بوده است. رنگ‌های به کار رفته در لباس وی رنگ‌های گیاهی شامل نیل و روناس بوده است [۵].

تصویر ۶: یکی از تکه پارچه‌هایی که همراه مردان نمکی در معدن نمک زنجان به دست آمده است و مرد نمکی شماره یک در موزه ملی. تحقیقات گسترده‌ای دربارهٔ رنگ‌های این پارچه، چگونگی بافت و نوع الیاف آن در بخش مرمت پارچهٔ پژوهشکده انجام شده است.

پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت طرح‌های متعددی درباره سفال، فلز، رنگ‌دانه و به طور کلی شناخت مواد و مصالح باستانی، فرایندهای فرسایش در آن‌ها و چگونگی مرمت و حفاظت این آثار انجام داده است. به طور مثال این پژوهشکده چند سالی است که در زمینه آنالیز رنگ‌دانه بر روی سطوح آثار باستانی طرح‌هایی را در دست اجرا دارد. از چند هزاره پیش از میلاد تاکنون استفاده از رنگ برای تزئین دیوارها و ترسیم نقاشی دیواری در ایران مرسوم بوده است. از جمله در شهر سوخته سیستان نقاشی‌های متعددی یافت شده است که قدمت آن‌ها به دوره اشکانی می‌رسد. آنالیز رنگ‌دانه‌های نقاشی دیواری با روش‌های میکروسکوپی، پراش اشعهٔ ایکس و میکروسکوپ الکترونی نشان داد که در این نقاشی‌ها از رنگ‌دانه‌های هماتیت، شنگرف، کلسیت و گچ استفاده شده است.

مراکز متعدد دیگری مانند دانشگاه هنر اصفهان و دانشگاه هنر تهران، مراکز میراث فرهنگی در استان‌های مختلف، پایگاه پژوهشی پارسه- پاسارگاد و پایگاه‌های میراث فرهنگی مانند پایگاه الموت، هفت تپه و بم نیز دارای فعالیت‌های گستردهٔ پژوهشی در زمینه باستان‌سنجی هستند. دربارهٔ فعالیت‌های باستان‌سنجی در ایران و تاریخچهٔ آن منابع متعددی وجود دارد که علاقه‌مندان می‌توانند به آن مراجعه کنند[۱۰].

تصویر۷: قطعه ای از نقاشی دیواری کوه خواجه در سیستان (دوره اشکانی) که در آن هماتیت، شنگرف، کلسیت و گچ به کار رفته است. (بهادری، ۱۳۸۶)

۱ Arcahaeometry
۲ prospection
۳ Dating
۴ Material analysis
۵ Mommsen, ۱۹۹۴

البته واژهٔ باستان‌سنجی بیشتر در کشورهای اروپایی و آسیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در برگیرندهٔ کلیهٔ علوم و روش‌های علوم طبیعی، مهندسی، پزشکی است که مثلا در باستان‌شناسی مولکولی، زمین باستان شناسی، باستان‌گیاه‌شناسی و باستان‌جانورشناسی و دیگر حوزه‌ها کاربرد دارد. این واژه در ادبیات باستان شناسی امریکایی مفهوم محدودتری دارد.

۶ پ.م۲۴۷-۲۱۱
۷ میلادی ۲۰۸-۱۹۱
۸ Proton induced X-ray emission
۹ AMS
۱۰ برای مثال: آذرنوش، ۱۳۸۱، بحرالعلومی، ۱۳۹۲.

منابع:

۱- آقا علی گل، داوود و دیگران (۱۳۸۶)، آنالیز عنصری نمونه‌های مختلف با استفاده از میکروسکوپ روبشی پروتون و بررسی توزیع عناصر در آن‌ها، مجلهٔ علوم و فنون هسته‌ای، ۴۰، ۱۰-۱.

۲- بحرالعلومی، فرانک و رویا بهادری، مروری بر فعالیت‌های باستان‌سنجی در پژوهش‌های باستان شناسی ایران (۱۳۹۲)، مجموعه مقالات همایش ۸۰ سال باستان‌شناسی ایران، به کوشش: حسن زاده و میری، موزهٔ ملی ایران و سازمان میراث فرهنگی.

۳- بهادری، رویا و فرانک بحرالعلومی، (۱۳۸۶)، بررسی‌های باستان سنجی بر روی نقاشی‌های دیواری کوه خواجه زابل، مجموعه مقالات هشتمین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، سازمان میراث فرهنگی.

۴- بختیاری شهری، محمود و فرانک بحرالعلومی، (۱۳۹۳)، پژوهش و گمانه‌زنی باستان‌شناسی به منظور سال‌یابی قنات قصبه گناباد، مقاله‌های کوتاه دوازدهمین گردهمایی سالانهٔ باستان‌شناسی ایران، ۸۳-۸۶.

۵- هادیان دهکردی، منیژه (۱۳۷۷)، مطالعات علمی انجام شده روی مجموعهٔ زنجان، مجموعه مقالات پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، به کوشش دکتر رسول وطن دوست، پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی.

۶- لامعی رشتی، محمد (۱۳۸۱)، نقش تحلیل عنصری در باستان شناسی: تجربهٔ آزمایشگاه واندوگراف، مجموعه مقالات نخستین همایش باستان‌سنجی در ایران، نقش علوم پایه در باستان‌شناسی، به کوشش دکتر مسعود آذرنوش، پژوهشکدهٔ باستان شناسی.

7- A. Aufderheide , The scientific study of Mummies, Cambridge University Press. (2002).

8- S. Gondet, et al, Geophysical investigation in the vicinity of the Persepolis royal terrace (Fars, Iran), archaeo sciences, supp. 33. (2009).

9- H. Klaproth, Beitrag zur numismatischen Docimasie. Berlin, In: Sammlung der deutschen Abhandlungen, welche in der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin vorgelesen worden in den Jahren 1792-97. S.3-14. (1799).

10- W.F. Libby, Radiocarbon Dating. 2nd edition (Chicago: Chicago University Press).(1955).

11- H.Mommsen, Archäometrie, Vieweg. (1986).

12- R. Mould(1993), A century of X-ray and radiography in medicin, Institute of physics publishing Padovani, S, et al. (2006). XAFS study of copper and silver nanoparticles in glazes of medieval middle-east lustreware (10th-13th century). Applied Physics A: Materials Science & Processing, Vol.83, No.4, (Jun2006), pp. 521- 528.

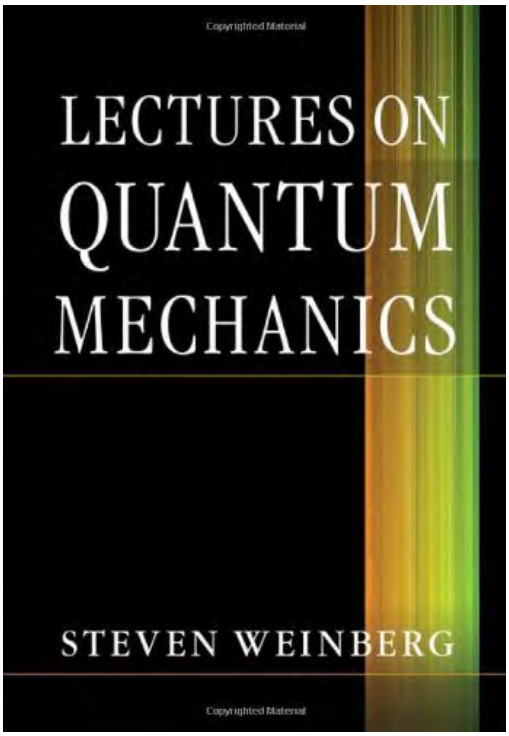
13- P. Sciau. Nanoparticles in Ancient Materials: The Metallic Lustre Decorations of Medieval Ceramics, Dr. Abbass A. Hashim (Ed.), The Delivery of Nanoparticles, (2012).

14- K. Spindler , Human Mummies, Springer- Verlag. (1996).

15- S. Webber , Technical Bulletin, Williamstown Art Conservation Center. (2008).

معرفی کتاب: پرسش و پاسخ با استیون واینبرگ

مصاحبه و تنظیم: جرمی ان.آ.متیوز
مترجم: نادر حیدری



Lectures on Quantum Mechanics
By: Steven L. Weinberg
Language: English
Published:Cambridge University Press, 2013

فیزیکدان بزرگ از دیدگاهی منحصربه فرد کتاب جدیدی دربارهٔ مکانیک کوانتومی نوشته است علی‌رغم این‌که از تعبیرهای موجود برای مکانیک کوانتومی راضی نیست.

استیون واینبرگ نظریه‌پرداز ممتازی‌ست که در زمینه‌های مختلف در نظریهٔ میدان کوانتومی، فیزیک ذرات بنیادی، و کیهان‌شناسی کار کرده است. با شلدون گلاشوؤ و عبدالسلام جایزهٔ نوبل ۱۹۷۹ در فیزیک را به‌خاطر سهمش در شکل‌گیری مدل استاندارد ذرات بنیادی دریافت کرد و اینک استاد فیزیک و نجوم در دانشگاه تگزاس در آستین است.

واینبرگ در دانشگاه کورنل، مؤسسهٔ نیلز بور، و دانشگاه پرینستون تحصیل کرده است و در دانشگاه کلمبیا، دانشگاه کالیفرنیا در برکلی، ام‌آی‌تی، و دانشگاه هاروارد کار پژوهشی کرده است. نویسندهٔ شناخته‌شده‌ای‌ست. در میان کتاب‌هایی که برای عموم مردم نوشته است می‌توان به سه‌دقیقهٔ اول: دیدگاه مدرن در بارهٔ خاستگاه عالم (ویراست جدید، کتاب بیسیک، ۱۹۹۳)[۱]، و نگاه‌هایی از کنار دریاچه: این دنیا و عالم (انتشارات دانشگاه هاروارد، ۲۰۱۰)[۲] اشاره کرد. برای دانشجویان فیزیک و فیزیکدان‌ها کتاب کلاسیک گرانش و کیهان‌شناسی: اصول و کاربردهای نظریهٔ نسبیت عام (وایلی، ۱۹۷۲)[۳]، و اخیراً کیهان‌شناسی (انتشارات دانشگاه آکسفورد، ۲۰۰۸)[۴]، و سه جلد نظریهٔ کوانتومی میدان‌ها (انتشارات دانشگاه کمبریج، ۱۹۹۵، ۱۹۹۶، ۲۰۰۰)[۵] را نوشته است.

در آخرین کتاب درسیَش درس‌های مکانیک کوانتومی (انتشارات دانشگاه کمبریج، ۲۰۱۳)[۶] که نتیجهٔ درسی‌ست که در دانشگاه تگزاس در آستین به دانشجویان سال اول دورهٔ کارشناسی ارشد داده است. مارک سردنیکی در فیزیکس تودی ژوئیهٔ ۲۰۱۳ این کتاب را مرور کرده است و گفته است که این کتاب «دقت و وضوح زیاد و بحث‌های پرشمار در بارهٔ موضوعات مربوط در فیزیک که در کتاب‌های درسی دیگر پیدا نمی‌شود» برای دانشجو دارد اما در عین حال تصویر ندارد که شاید «جاذبهٔ کتاب را به‌صورت کتابی درسی، به‌ویژه برای دانشجوهایی که آمادگی لازم را ندارند، کم کند.» فیزیکس تودی اخیراً برای گفت‌وگو دربارهٔ کتاب با واینبرگ ملاقات کرد و او به این نکته و بسیار نکته‌های دیگر پاسخ گفت.

برای نوشتن این کتاب که از نظر سختی و نوع مخاطب به‌نظر می‌رسد جایی بین نگاه‌هایی از کنار دریاچه و نظریهٔ کوانتومی میدان‌ها قرار بگیرد چه انگیزه‌ای داشتید؟

من در ده سال گذشته هر از چند گاه درس مکانیک کوانتومی را به دانشجویان سال اول دورهٔ کارشناسی ارشد داده‌ام و اغلب وقتی درسی را می‌دهم یاداداشت‌های درسم شکل کتاب را می‌گیرند و در این مورد هم این اتفاق افتاد. بنابراین جای تعجب ندارد که این کتاب برای دانشجویان فیزیک است که درس‌های دورهٔ کارشناسی ارشد را می‌گذرانند. اما در برخی دانشگاه‌ها دانشجویان باهوش دورهٔ کارشناسی هم درس‌های دورهٔ کارشناسی ارشد را می‌گیرند و این کتاب برای آن‌ها هم قابل فهم خواهد بود. امیدوارم که کسانی هم که حرفه‌شان فیزیک است در این کتاب نکته‌های مفید پیدا کنند.

برای یادگرفتن مکانیک کوانتومی چندین کتاب درسی مکانیک کوانتومی وجود دارند که خیلی از آن‌ها با کتاب شما هم‌نام هستند. چه ویژگی‌هایی کتاب شما را متمایز می‌کند؟

مکانیک کوانتومی که درس می‌دهم معمولاً چند کتاب را مشخص می‌کنم که دانشجو بتواند در آن‌ها دنبال فرمول‌های لازم بگردد. از نظر من این کتاب‌ها همه از نظر آموزش بسیار خوب هستند اما هیچ‌کدام دقیقاً موضوع‌هائی را که من می‌خواستم درس بدهم نداشتند و نه به‌صورتی که من می‌خواستم درس بدهم. من بیشتر از حدّی که معمول است بر اصول تقارن تأکید می‌گذارم و با این‌که به محاسبات معمول در مکانیک موجی می‌پردازم تلاش می‌کنم چیزهایی مثل نظریهٔ پراکندگی را به‌شکل عام‌تر بیان کنم.

در این کتاب هیچ شکل و نمودار نیست؛ می‌شود نظر و نحوهٔ کار خودتان را در ارتباط با نمودار و به‌کاربردن گرافیک در فیزیک بیان کنید؟

من جایی که شکل واقعاً فایده‌ای داشته باشد مخالفتی با استفاده از شکل ندارم. در کتاب کیهان‌شناسی شمار زیادی نمودار هست که هم‌خوانی بین محاسبات دقیق و تقریبی یا بین محاسبات و مشاهدات را نشان می‌دهد. در این کتاب نیازی شبیه به اینها حس نکردم. گمان کنم در شرح ارتباط از راه سیستم‌های درهم‌تافته اگر تصاویر آلیس و باب را می‌آوردم شاید کمی بحث مفرح‌تر می‌شد اما آیا نکته‌ای را هم روشن‌تر می‌کرد؟ گذشتن از خیر شکل‌های غیرضروری هم امکان داد کتاب زودتر به انجام برسد و هم قیمت کتاب را کاهش داد.

روی شبکهٔ اینترنت در بارهٔ «تحول» دیدگاه‌های شما در بارهٔ تعبیر مکانیک کوانتومی بحث‌هایی در گرفته است. در تعبیرهای موجود برای مکانیک کوانتومی چه نقص‌های عامّی می‌بینید؟ آیا خود شما در تلاش هستید که تعبیر رضایت‌بخش‌تری پیدا کنید و اصلاً فکر می‌کنید چنین تعبیری در راه است؟

برخی نظریه‌پردازهای خیلی توانا از این تعبیر که تابع‌موج تنها ابزاری‌ست برای محاسبهٔ نتیجهٔ اندازه‌گیری‌ها خیلی راضی هستند. اما قاعدتاً دستگاه اندازه‌گیری و فیزیکدان هم تابع قوانین مکانیک کوانتومی هستند، بنابراین در آخر به نظریه‌ای نیاز داریم که در آن بین دستگاه و فیزیکدان و بقیهٔ دنیا تمایز نباشد و بتوان از آن نظریه انگاشت‌های معمول مثل قاعدهٔ بورن را استنتاج کرد. به نظر می‌رسد این تلاش به تعبیر «دنیاهای پرشمار» ختم می‌شود که برای من اصلاً پذیرفتنی نیست. راه دیگر این است که مکانیک کوانتومی را تغییر دهیم تا تابع‌موج واقعیت را توصیف کند و فروریزش آن شکل تصادفی و غیرخطی داشته باشد اما این هم به‌نظر می‌رسد که در را به‌روی امکان برقراری ارتباط آنی می‌گشاید. گاهی با تعبیر مکانیک کوانتومی سروکله می‌زنم اما تا حالا که به‌جایی نرسیده‌ام.

درکار حرفه‌ای‌تان یا برای خودتان هم‌اکنون در بارهٔ چه موضوع‌هایی کار می‌کنید؟

به‌زودی دو مقاله دارم که در فیزیکال ریویو لترز منتشر خواهند شد: یکی دربارهٔ فیزیک هادرون‌ها و یکی هم دربارهٔ کیهانشناسی. و در حال اتمام کتابی هستم دربارهٔ برآیش فیزیک و ستاره‌شناسی از زمان طالس تا نیوتون.

همین حالا چه کتاب‌هایی می‌خوانید؟

برای آن کتاب تاریخ که گفتم کارهای بطلمیوس و دکارت در بارهٔ اپتیک را می‌خوانده‌ام. برای گروه کتابی که اینجا در آستین داریم مشغول خواندن پسرهای برجس (رندوم‌هاؤس، ۲۰۱۳)[۷] نوشتهٔ الیزابت استراؤت بوده‌ام. برای لذت‌بردن از خواندن کتاب معمولاً سراغ کتاب‌های تاریخ می‌روم. همین الان کتاب رابرت مَسی دربارهٔ پطر کبیر را می‌خوانم (پطر کبیر: زندگی و دنیای او، کتاب وینگز، ۱۹۹۱)[۸] و مشغول بازخوانی کتاب کلاسیک [توماس بابینگتون] مکاؤلی تاریخ انگلستان از به‌تخت‌نشستن جیمز دوم (نشر کسینجر، ۲۰۰۳)[۹] هستم.

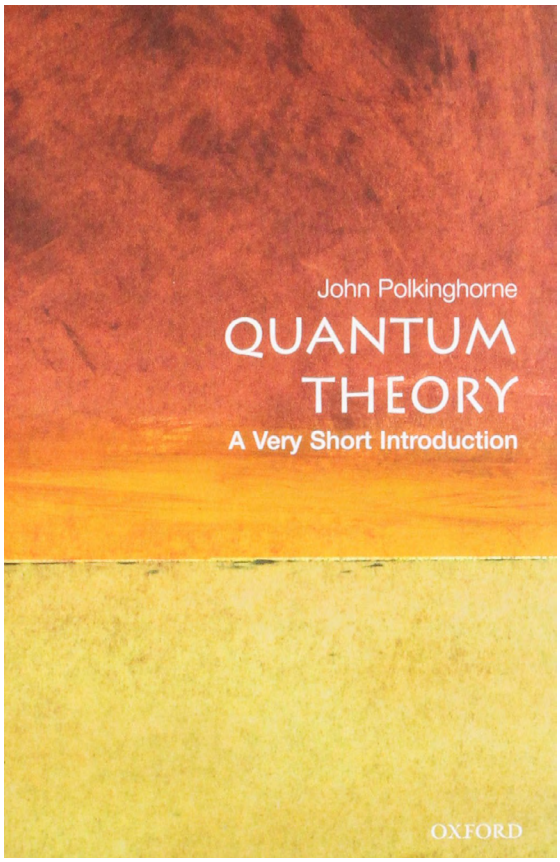
1 The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe (updated edtition, Basic Books, 2010).
2 Lake Views: This World and the Universe (Harvard University Press, 2010).
3 Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity (Wiley, 1972).
4 Cosmology (Oxford University Press, 2008).
5 Quantum Theory of Fields (Cambridge University Press, 1995, 1996, 2000).
6 Lectures on Quantum Mechanics (Cambridge University Press, 2013).
7 The Burgess Boys (Random House, 2013).
8 Peter the Great: His Life and World (Wings Books, 1991).
9 The History of England from the Accession of James II (Kessinger Publishing, 2003)

منبع:

Questions and answers with Steven Weinberg
Jeremy N. A. Matthews
http://www.physicstoday.org/daily_edition/bookends/questions_and_answers_with_steven_weinberg

معرفی کتاب: نظریهٔ کوانتومی

احمد شاملومهر
دانشگاه خوارزمی



Quantum Theory, A Very Short Introduction
By: John Polkinghorne
Published: Oxford University Press
Pages: 113

جان پاکینگ هُرن ۸۳ ساله،کشیش و استاد اسبق دانشگاه کمبریج جایی در کتاب خود با عنوان نظریهٔ کوانتومی گفته است که جهان برخلاف ظاهر قاطع خود در مقیاس‌های بزرگ، در مقیاس‌های کوچک رفتاری دمدمی مزاج دارد. این رفتار که درک آن برای بسیاری از افراد دشوار است تحت عنوان نظریهٔ مکانیک کوانتومی توصیف می‌شود. او که در کنار افرادی از قبیل جورج الیس، مارتین ریس و فریمن دایسون از برندگان جایزهٔ تمپلتون است، قسمت عمدهٔ زندگی خود را صرف بیان علم به زبان ساده کرده است. او در جوانی نظریهٔ کوانتومی را در محضر پل دیراک فرا گرفت و کتابی با همین عنوان برای عموم مردم نوشت که هدفش در دسترس قرار دادن مفاهیم این نظریه برای عامه بود.

نویسندهٔ این کتاب را در شش فصل تدوین کرده است. فصل اول با نام شکاف‌های کلاسیکی به مشاهداتی توجه دارد که سبب چرخش نگاه فیزیک‌پیشگان از فیزیک کلاسیک شد. در فصل بعد راه‌حل‌های مختلف مکانیک کوانتومی برای حل پرسش‌های پیش آمده به زبانی ساده بیان شده است. نویسنده به صورت آشکار از به کار بردن ابزار ریاضی می‌پرهیزد؛ با این وجود مطالب ریاضی را در پیوست کتاب آورده است. او در این فصل علاوه بر راهکارهای نظریهٔ کوانتومی و تعبیر احتمالاتی بورن، منطق این نظریه را نیز از یاد نمی‌برد و در فصل سوم با عنوان «تیرگی سردرگمی» به بیان نگاه جدید نظریهٔ کوانتومی به مفهوم احتمال و همچنین تغییر نگرش «اندازه‌گیری» در این نظریه روی می‌آورد. در فصل چهارم، نویسنده تحولات دیگر این نظریه را تا رسیدن به نظریهٔ کوانتومی نسبیتی و همچنین نظریهٔ میدان‌های کوانتومی دنبال می‌کند. سپس در فصل کوتاهی با عنوان «باهم بودن» خواننده را با مسألهٔ EPR آشنا می‌کند و در پایان فصل به آن جواب درخوری می‌دهد. پاکینگ هرن در فصل پایانی کتاب به سراغ این پرسش می‌رود که آیا نظریهٔ کوانتومی خود، حقیقتی است یا تنها زبان ریاضی مناسبی برای توجیه مشاهدات است؟ او در این فصل نگرش‌های مختلف فلسفی را بررسی می‌کند و در پایان به نکته‌ای اشاره دارد که همیشه باید در مورد مکانیک کوانتومی به خاطر داشت: نظریهٔ کوانتومی با تمام ابعاد شگرف خود ابزاری برای توجیه تمام داستان‌های علمی و تخیلی نیست.

این کتاب برای افرادی که این نظریه را با ریاضی آن فرا گرفته‌اند، نه تنها خسته‌کننده نیست، بلکه بسیار لذت‌بخش است. آن‌ها پیش‌تر ریاضی را با مفاهیم پیوند می‌دادند، ولی در این کتاب با خواندن هر مفهوم به دنبال ریاضی متناظر آن می‌گردند. این جنبه، کتاب را نه تنها جالب بلکه به خاطر ارتباط دوگانه‌ای که میان مفاهیم و ریاضیات ایجاد کرده است بسیار آموزنده می‌کند. همچنین این کتاب برای خوانندگانی که هیچ تجربهٔ قبلی در مورد این نظریه ندارند بسیار سودمند است و طبق تجربهٔ شخصی نویسندهٔ این متن، آن‌ها این کتاب را بسیار شیرین می‌دانند. ترجمهٔ فارسی این کتاب نیز در بازار موجود است.

خودآرایی نانو ذرات پلاتین روی سطح گرافین

مهدی نیک عمل
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

& Peng Xu, Lifeng Dong, Matthew L. Ackerman, Jianhua Yu, Steven D. Barber, James Kevin Schoelz, Dejun Qi, Fangfang Xu, Paul M. Thibado, and Francois M. Peeters

منبع: ACS Nano, 8 (3), pp 2697–2703 (2014).

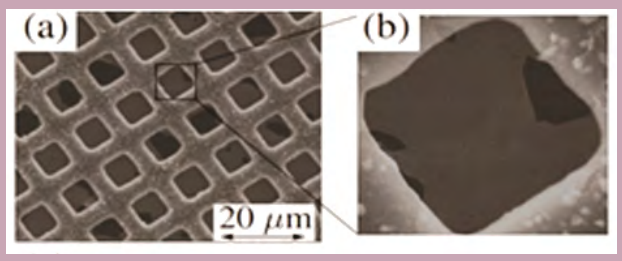
پلاتین فلزی است گرانبها، کمیاب، و سخت، با کمترین واکنش‌پذیری که در فلزات واسطه جای دارد. به خاطر همین خاصیت‌هاست که پلاتین امروزه کاربردهای زیادی در پیل‌های سوختی[1]، صنایع خودروسازی، ساخت تجهیزات پزشکی و دندانپزشکی و الکترودها در اتصالات الکتریکی دارد. استفاده از خاصیت کاتالیزوری پلاتین در پیل‌های سوختی، یکی از مهمترین کاربردهای آن است. مثلاً می‌شود از پلاتین به عنوان کاتالیزور در پیل‌های سوختی مستقیم اتانولی یا متانولی، که در دماهای پایین آلایندگی کمتر و کارآیی بیشتری دارند، استفاده کرد. به طور کلی پلاتین نقش مهمی در انجام فعل و انفعالات شیمیاییِ در پیل‌های سوختی دارد.

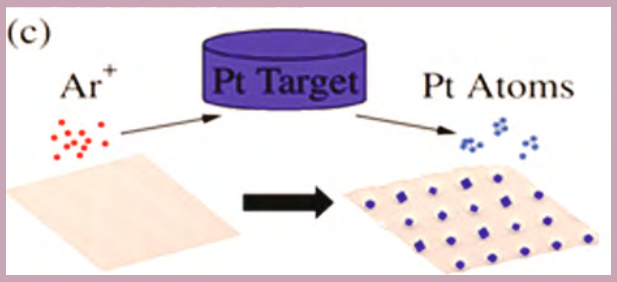
اما چالش مهم، کمبود منابع پلاتین است. امروزه با کاهش مصرف پلاتین و حفظ کارآیی ادواتِ مربوطهٔ آن در علوم و فناوری تلاش می‌شود این چالش برطرف شود. در این پژوهش به جای آن که از لایه‌های جامد پلاتین استفاده شود، نانوذرات پلاتین[2] به کار برده می‌شوند که در نتیجه نسبت سطح به حجم افزایش می‌یابد. به این ترتیب ضمن این که خاصیت کاتالیزروی پلاتین حفظ می‌شود، مقدار کمتری از آن نسبت به موارد مشابه مصرف می‌شود. به نظر می‌رسد حجم مورد استفادهٔ پلاتین ۸۰ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که کارآیی کاتالیزوری در همان مقدار سابق باقی می‌ماند. از طرف دیگر در ابعاد میکروسکوپی خواص فیزیکی تحت تأثیر برهم‌کنش‌های میان‌اتمی بین پلاتین و کربن‌ها در گرافین قرار می‌گیرد که محاسبات و شبیه‌سازی‌های مختلف نشان داده‌اند که این برهم‌کنش‌ها بسته به هندسه و اندازهٔ نانوذرات پلاتین می‌توانند تغییر کنند.

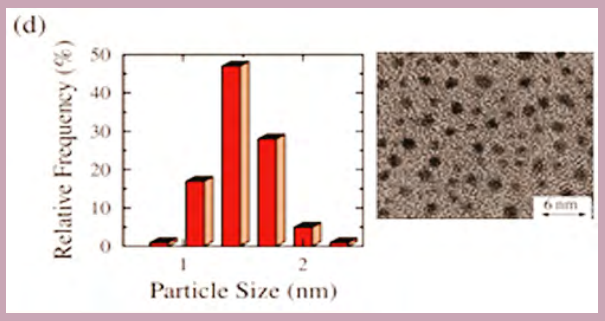
در این پژوهش گرافین روی زیرلایهٔ مشبکی از مس که دارای حفره‌های مربع‌شکلی در ابعاد میکرومتر است روی حفره‌ها معلق است (شکل a و b). سپس این مجموعه به محفظه‌ای دیگر که حاوی یک هدف پلاتینی است انتقال داده می‌شود. در آن‌جا یون‌های آرگون هدف را بمباران می‌کنند. با این کار نانوذرات پلاتین جدا می‌شوند و روی سطح گرافین جمع می‌شوند و به اصطلاح آرایش می‌یابند (شکل c). طرحی که روی سطح ایجاد می‌شود هم به نوع ذرات بستگی دارد، هم به سطح زیرین، و هم البته به برهم‌کنش بین آن‌ها. برای مشاهدهٔ نانوذراتِ پلاتین روی سطح میکرومتری گرافین از میکروسکوپ الکترونی عبوری[3] (TEM) استفاده می‌شود. برای فهم نیروی بین پلاتین و گرافین از میکروسکوپ الکترونی روبشی[4] (STM) استفاده شده است. همهٔ آزمایش‌ها در آزمایشگاه TEMدانشگاه میسوری[5] و آزمایشگاه STM دانشگاه آرکانزاس[6] آمریکا انجام شده است. در شکل d، توزیع نانوذرات و تصویر میکروسکوپ TEM مربوطه نموده شده‌اند. در این پژوهش برای نخستین بار توزیع همگنی از نانوذرات روی سطح گرافین تولید شده است. پیش از این نیز تلاش‌هایی در این راستا انجام شده بود که می‌توان به مقالهٔ تجربی‌ای که س. سان[7] و همکارانش با عنوان:

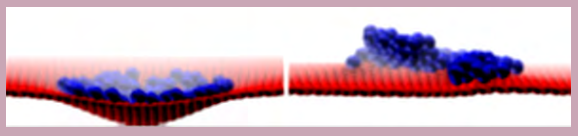
«Single-atom Catalysis Using Pt/Graphene Achieved through Atomic Layer Deposition»

در شمارهٔ آوریل ۲۰۱۳ مجلهٔ Scientific Report منتشر کردند، اشاره کرد.









بخش محاسباتی پروژه در دانشگاه تربیت‌دبیر شهید رجایی و دانشگاه آنتورپ بلژیک انجام شد که شامل بررسی اثرات دما، انحنای سطح در خودآرایی نانوذرات و ارزیابی همبستگی دو عامل مذکور بر توزیع اندازهٔ نانوذراتِ پلاتین روی سطح بود. برای این کار از شبیه‌سازی دینامیک مولکولی با کمک میدان نیروی واکنشی[8] (مرتبه پیوندی) استفاده کردیم که فن دووین[9] در سال‌های ۲۰۰۱ ـ ۲۰۰۳ آن را برای برهم‌کنش کربن و پلاتین طراحی کرده بود. تفاوت اصلی این میدانِ نیرو با میدان‌های نیروی مرتبهٔ پیوندی دیگر (مثلاً آنچه به REBO معروف است) حضور جمله‌ای اضافه در انرژی است برای محاسبهٔ بار الکتریکی که زمان محاسبه را بیشتر می‌کند، و همچنین متعادل‌سازی آن به یک شیوهٔ خاص: روش متعادل‌سازی الکترونگاتیوه[10].

با شبیه‌سازهای متعدد، توزیع اندازهٔ نانوذراتِ مشاهده شده تأیید شد. توزیع اندازهٔ نانوذرات یک توزیع باریک با میانگین ۱٫۴ نانومتر بود و نشان داد که نانوذراتِ پلاتین سطح را به طور موضعی به سمت بیرون محدب می‌کنند و تمایلی به مقعر کردن سطح ندارند. این نتیجه با اندازه‌گیری STM، در مورد تغییرات ارتفاع برحسب ولتاژ بایاس، هم‌خوانی داشته است. شکل زیر نشان می‌دهد که تقعرِ موضعی پس از کمینه‌سازی در شبیه‌سازی دینامیک مولکولی از بین می‌رود و لوله شدن در سطح حول نانوذرات اتفاق نمی‌افتد که این برخلاف باورهای قبلی و موافق با تصاویر TEM بوده است.

1 Fuel cells
2 Platinum nano particle
3 Transmission electron microscopy
4 Scanning tunneling microscopy
5 Missouri
6 Arkansas
7 S. Sun
8 Reactive force field potential (ReaxFF)
9 van Duin
10 Electronegativity equalization method

در جستجوی مادهٔ تاریک با همگرایی گرانشی ضعیف گذری

-پیشنهاد یک روش جدید برای بررسی اثرات گرانشی زیرهاله‌های مادهٔ تاریک و ویژگی‌های آن-

سهراب راهوار[۱و۳]، شانت باغرام[۲و۴]، نیایش افشردی[۳و۴]

۱ دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
۲ پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران
۳ مؤسسهٔ فیزیک نظری پریمیتر، کانادا
۴ دانشکدهٔ فیزیک و ستاره‌شناسی، دانشگاه واترلو، کانادا

به نظر می‌رسد ساختارهای کیهانی‌ای مانند کهکشان‌ها، گروه‌های کهکشانی و خوشه‌های کهکشانی در هاله‌های مادهٔ تاریکی غوطه‌ورند که جرم آن‌ها چندین برابرِ مادهٔ روشنِ این ساختارها (ستاره‌ها و گاز میان‌کهکشانی) است. در مدلِ استاندارد کیهان‌شناسی، هاله‌های مادهٔ تاریک نقش اساسی در تشکیل این ساختارها دارند. افت‌وخیزهای اولیه در چگالی مادهٔ تاریک در کیهان بر اثر ناپایداری‌های گرانشی رشد پیدا کرده‌اند. این‌ها چاه‌های پتانسیل گرانشی‌ای ایجاد می‌کنند که مادهٔ باریونی (که در آینده تبدیل به گاز میان‌کهکشانی و ستاره‌ها می‌شوند) به درون آن‌ها خواهند افتاد. این سناریو برای تشکیل ساختارها، با تقریب بسیار خوبی با داده‌های رصدی هم‌خوانی دارد و موفقیت چشم‌گیری برای مدل استاندارد کیهان‌شناسی محسوب می‌شود. البته این سناریو یک مشکل بسیار اساسی دارد و آن این که مادهٔ تاریک هنوز به طور مستقیم مشاهده نشده است و تمام شواهد آن از طریق نیروی گرانش آن است. در نتیجه نظریه‌های گرانش تعمیم‌یافته همواره می‌توانند جایگزینی برای مادهٔ تاریک باشند.

این مشکل تا زمانی که مادهٔ تاریک به روش غیرمستقیم آشکار نشود وجود خواهد داشت. به همین علت بررسی و پیشنهاد روش‌های غیرمستقیم برای آشکارسازی مادهٔ تاریک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در مقاله‌ای که در مجلهٔ فیزیکال ریویو دی چاپ شده است. راهوار و همکارانش پیشنهاد کرده‌اند که اثرهای ساختارهای مادهٔ تاریک را با روش همگراییِ گرانشیِ ضعیفِ گذری جستجو کرد[۱]. این اثرها طبق سناریوی تشکیلِ ساختارِ سلسله‌مراتبی می‌توانند از هالهٔ دربرگیرندهٔ خوشهٔ کهکشانی تا زیرهاله‌هایی به جرم زمین نیز وجود داشته باشند.

همگرایی گرانشی که از همان بدو نسبیت عام پیش‌بینی شده بود، خیلی زود به صورت رصدی مشاهده شد. همگرایی گرانشی بر این مبنا استوار است که اجرام کیهانی (هرنوع جرمی) مانند کهکشان‌ها و هاله‌های مادهٔ تاریک می‌توانند مسیر نور را منحرف کنند و تصاویر متعددی از منابع نور کیهانی مانند کوازارها ایجاد کنند. این اثر را همگرایی قوی گرانشی می‌نامند. اجرام کیهانی همچنین ممکن است باعث تغییر شکل کهکشان‌ها شوند، که آن را همگرایی ضعیف می‌نامند. حالت دیگر آن است که اجرام کیهانی باعث ریزهمگرایی گرانشی شوند که در این صورت نشانه‌اش را در تغییر منحنی شدت نور منبع پیدا کرد.

در مطالعه‌ای که راهوار و همکارانش انجام داده‌اند پیشنهاد شده است که زیرهاله‌های مادهٔ تاریک (هاله‌های کوچکی که مادهٔ باریونی ندارند و در نتیجه دیده نمی‌شوند)، بر اثر میدان گرانشی هالهٔ میزبان کهکشان با سرعت خاصه در حال

شکل 1 : کوازار SDSSJ1004+4112

حرکت هستند و در نتیجه از مسیر دید مشاهده‌گری که منبع نور ـ مثلاً کوازار ـ را رصد می‌کند، می‌گذرند. بنابراین اثر همگرایی گرانشی زیرهاله‌ها به زمان بستگی پیدا می‌کند. از این رو مطالعهٔ نورِ یک منبع کیهانی در یک بازهٔ زمانی می‌تواند اثرهای خاصی را که گذر این زیرهاله‌های مادهٔ تاریک داشته‌اند آشکار کنند.

همچنین نویسندگان این مقاله پیشنهاد کرده‌اند که برای جدا کردنِ اثر تغییرات نور منبع بر اثر گذر هاله‌های مادهٔ تاریک از تغییرات ذاتی منبع، از کوازارهایی استفاده شود که خودشان به خاطر اثر همگرای گرانشی قوی چند تصویر دارند. این تصویر خاص امکان می‌دهد که اثرات ذاتی را از سیگنال‌های حاصل از ماده تاریک جدا کنند.

نمونهٔ خاصی از این کوازار، کوازار SDSSJ۱۰۰۴+۴۱۱۲ است (شکل ۱) که در انتقال به سرخ z = ۱٫۷۳۴ و توسط یک خوشهٔ کهکشانی لنز شده است و کاندید مناسبی برای این بررسی خواهد بود. بررسی تصاویر این کوازارها و اندازه‌گیری تغییر نور آن‌ها به مدت حدود ۳ سال می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از زیرهاله‌های مادهٔ تاریک و ماهیت آن‌ها در اختیار کیهان‌شناسان قرار دهد.

منبع:

S. Rahvar, Sh. Baghram, and N. Afshordi “Transient weak lensing by cosmological dark matter microhaloes” , Phys. Rev. D 89, 063001 (2014).

پاسخ پرسش‌های شمارهٔ قبل

پرسش: احتمالاً همهٔ ما سر رفتنِ شیر را دیده‌ایم. اما بسیاری از غذاهای دیگر، حتی ظرف آبی که در آن سیب‌زمینی می‌پزیم، نیز ممکن است سَر بروند. دلیلِ سَر رفتن چیست؟ چرا وقتی دربِ ظرف غذا را بر می‌داریم احتمال سر رفتن کم می‌شود؟ آیا اگر به ظرفی که در آن سیب‌زمینی در حال پختن است کمی مایع ظرفشویی اضافه کنیم، سر رفتنِ آن تشدید می‌شود یا کاهش می‌یابد؟

پاسخ: سررفتن آب ناشی از تولید حباب‌هایی از بخارآب و هوا است که با لایهٔ نازکی از آبِ مایع پوشیده شده‌اند، و البته آن قدر پایدار می‌مانند که روی هم انباشته شوند و تا سر ظرف بالا بیایند. به این ترتیب هر عاملی که تولید حباب را تسهیل کند یا حباب‌ها را پایدارتر سازد، می‌تواند به سر رفتنِ بیشتر آب کمک کند. البته تولید حبابِ بیشتر به معنیِ افزایش بیشترِ سطحِ مشترکِ آب با بخارآب و هوا است؛ این افزایشِ سطح، هم مستلزم افزایش انرژیِ برهم‌کنشی و هم کاهشِ آنتروپی است؛ یعنی مستلزم هزینه کرد انرژی آزاد هلهولتز است.

مایع ظرفشویی ملکول‌هایی دارد که روی سطح مشترکِ آب با بخارآب و هوا جمع می‌شوند و کشش سطحیِ آن سطح را کاهش می‌دهند. در این صورت دستگاه برای ساختن لایهٔ آب دور هر حبابی باید انرژی آزاد کمتری خرج کند. پس سرعت تولیدِ حباب‌ها افزایش می‌یابد. به علاوه ملکول‌های مایع ظرفشویی (و بسیاری از مواد شویندهٔ مشابه) ترکیدنِ حباب‌ها را به طور غیرمستقیم به تأخیر می‌اندازند! اگر سطحِ بخشی کوچکی از یک حباب ناگهان بزرگ‌تر شود (یعنی بخشی از سطح کش بیاید و نازک شود)، آن محل در معرض سوراخ شدن قرار می‌گیرد. اما به خاطر افزایشِ سریعِ سطح، چگالیِ سطحیِ ملکول‌های مادهٔ شوینده در آن محل کم می‌شود؛ یعنی کششِ سطحی در آن محل زیاد می‌شود. با زیاد شدن کشش سطحی آن بخش دوباره جمع می‌شود (یعنی کوچک و ضخیم می‌شود) و حباب دیگر از آن محل نمی‌ترکد. پس سر رفتن آبی که در آن سیب‌زمینی انداخته‌اید با اضافه کردن مایعِ ظرفشویی تشدید می‌شود! حال فکر می‌کنید با اضافه کردن نمک می‌توانید سر رفتن آن را به تاخیر بیاندازد؟

پرسش: فرض کنید دو خودروی (باکیفیت)! به شکل رو در رو برخورد کنند. به نظر می‌رسد هر چقدر تعداد سرنشینان یک خودرو بیشتر باشد، میزان صدماتِ جانی وارده به هر یک از دو سرنشین جلویی کمتر خواهد بود. یعنی اگر خودرویی با دو سرنشین با خودرویی با یک سرنشین برخورد کند، احتمال فوتِ رانندهٔ خودروی تک سرنشین ده درصد بیشتر از خودروی دو سرنشین خواهد بود. چرا؟ آیا می‌توانید با قوانین سادهٔ مکانیک این پدیده را توجیه کنید؟

پاسخ: اگر بدنهٔ خودرو خرد نشود (خودروی باکیفیت) سرنشینانِ جلویی به دلیل برخورد شدید با فرمان، داشبورد و شیشهٔ جلوی خودرو صدمه می‌بینند. این برخورد به دلیل تغییر شدیدِ سرعتِ خودرو در مدت کوتاهِ تصادف (قبل از توقف کامل دو خودرو) است. یعنی با یک مسئلهٔ برخورد دو جسم روبرو هستیم و هر چقدر جرم هر یک از این دو جسم (یعنی خودرو همراه با سرنشین‌هایش در زمان تصادف) بیشتر باشد، تغییر سرعت آن خودرو کمترِ خواهد بود. حالا اگر تعداد مسافران جلویی بیشتر باشد و البته کمربند ایمنی را هم بسته باشند عملاً جرم خودرو افزایش می‌یابد و تغییر سرعت کمتری را در هنگام تصادف تجربه خواهد کرد.

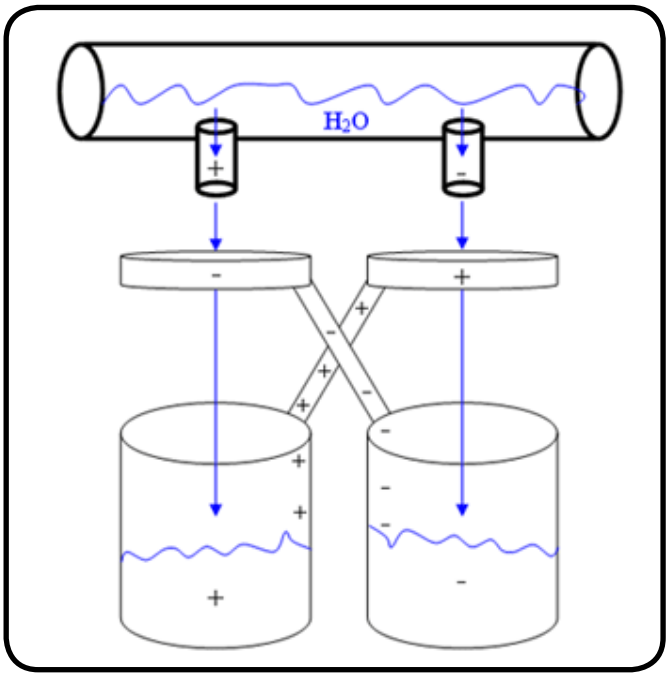
پرسش اول:

آب‌پاش کلوین

در شکل زیر آب از طریق دو لوله از منبعی به درون دو سطل فلزی می‌ریزد، ولی قبل از ریختن درون سطل‌ها از میان دو حلقهٔ فلزی می‌گذرد. حلقهٔ سمت راست از طریق یک سیم رسانا به سطل سمت چپ، و حلقهٔ سمت چپ از طریق یک سیم رسانای دیگر به سطل سمت راست متصل شده است. جریان آب نیز به شکلی تنظیم شده است که وقتی تقریباً با حلقه‌ها هم‌ارتفاع است قطره‌قطره شود. بعد از مدتی مشاهده می‌شود که سطل‌ها اختلاف‌پتانسیل پیدا می‌کنند به‌طوری‌که اگر فاصلهٔ آن‌ها از هم کم باشد حتی ممکن است بین آن‌ها جرقه‌ای زده شود. چرا؟

اگر دو سطل، دو لیوان فلزی باشند (با ارتفاع نوعیِ ۱۰ سانتی‌متر) چقدر زمان لازم است تا میان آن‌ها جرقه‌ای زده شود؟

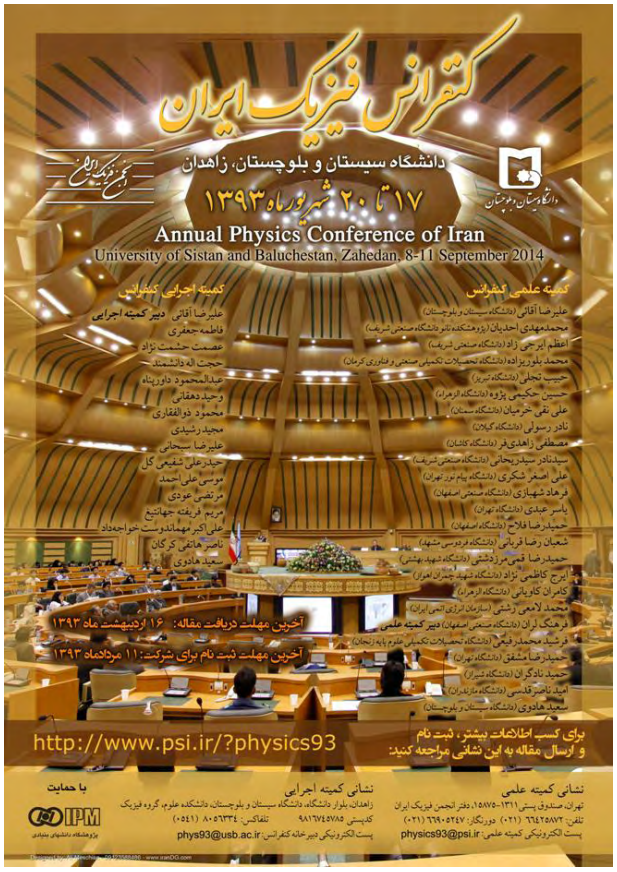
(این سؤال با استفاده از پرسش مطرح در جلسهٔ یکم باشگاه فیزیک اصفهان طرح شده است.)



پرسش دوم:

ترازوی دقیق

لیوان آبی روی یک ترازو قرار دارد. اگر انگشت‌مان را در آب فرو کنیم آیا عددی که ترازو نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ ترازو باید چقدر دقیق باشد تا تغییر احتمالی را نشان بدهد؟



کنفرانس فیزیک ایران

کنفرانس فیزیک ایران و نوزدهمین همایش دانشجویی فیزیک ۱۷ تا ۲۰ شهریور ماه ۱۳۹۳ در دانشگاه سیستان و بلوچستان برگزار می‌شود. در این کنفرانس کارگاه‌های طیف‌سنجی پوزیترون، طیف‌نگاری رامان، روش‌های فیزیکی تهیهٔ لایه‌های نازک و تعیین مشخصهٔ آن‌ها، روش‌های کاربردی مغناطیس‌سنجی نوع ارتعاشی (VSM)، انرژی‌های تجدیدپذیر و درآمدی بر کیهان‌شناسی مشاهده‌ای برگزار خواهد شد.

دومین کارگاه و سمینار پیشرفت‌های اخیر در فیزیک نظری

دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با همکاری پژوهشگاه دانش‌های بنیادی و انجمن فیزیک ایران دومین کارگاه و سمینار پیشرفت‌های اخیر در فیزیک نظری را از دهم تا دوازدهم شهریورماه ۱۳۹۳ برگزار می‌کند. http://srdtp.azaruniv.edu نشانی وبگاه این سمینار است.

هفتمین کنفرانس فیزیک آماری

هفتمین کنفرانس فیزیک آماری، مادهٔ چگال نرم و سامانه‌های پیچیده ۲۷ و ۲۸ آبان ۹۳ در دانشگاه زنجان برگزار می‌شود. هدف از این کنفرانس آشنایی با جدیدترین دست‌آوردهای محققین در فیزیک آماری و کاربردهای آن در پدیده‌های بحرانی، ماده چگال نرم، سامانه‌های زیستی، شبکه‌ها و سامانه‌های پیچیده است.

مدرسهٔ ملی گرانش و کیهان‌شناسی ۱۳۹۳

انجمن فیزیک ایران با همکاری دانشگاه شهید بهشتی مدرسهٔ ملی گرانش و کیهان‌شناسی ۱۳۹۳ را در روزهای ۲۸ و ۲۹ آبان ماه ۱۳۹۳ در دانشگاه شهید بهشتی برگزار می‌کند. در این مدرسه پیرامون موضوعاتی چون کیهان اولیه، تشکیل ساختار، تابش زمینهٔ کیهانی، عالم تاریک، کیهان شناسی رصدی و سیاه‌چاله بحث خواهد شد. علاقمندان برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توانند با دفتر انجمن فیزیک ایران و یا نشانی پست الکترونیکی sgc93@psi.ir تماس بگیرند.

فراخوان چهارمین دورهٔ «جایزهٔ علیمحمدی ویژهٔ رساله‌های برتر دکتری فیزیک ایران» اعلام شد.

پژوهشگاه دانش‌های بنیادی از سال ۱۳۹۰ با همکاری انجمن فیزیک ایران، جایزه‌ای به نام «جایزهٔ علیمحمدی» را به رساله‌های برتر دکتری فیزیک که در داخل کشور به انجام رسیده باشند اعطاء می‌کند. ارزش مادی این جایزه ۱۰ میلیون تومان است.

این جایزه به پاس خدمات علمی و دانشگاهی زنده‌یاد شهید دکتر مسعود علیمحمدی، استاد فقید دانشگاه تهران و نخستین دانش‌آموختهٔ دکتری فیزیک داخل کشور که نقش مؤثری در زیرساخت علمی پژوهشگاه دانش‌های بنیادی داشته و همچنین تلاش‌های وی برای برپایی دوره‌های تحصیلات تکمیلی در ایران به نام ایشان نامگذاری شده است. این جایزه در سال ۱۳۹۳ به رساله‌های برگزیدهٔ دکتری که طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۹۲ مرحلهٔ دفاع را گذرانده باشند، اعطاء خواهد شد. جایزه در مراسم افتتاحیهٔ بیست و یکمین کنفرانس بهارهٔ فیزیک پژوهشگاه دانش‌های بنیادی اعطا خواهد شد. سومین «جایزه علیمحمدی» - یادبود خدمات علمی و دانشگاهی شهید دکتر مسعود علیمحمدی - به یک دانش‌آموختهٔ دکتری فیزیک دانشگاه گیلان اعطا شد. هیئت داوران به دلیل اهمیت و کیفیت نتایج رسالهٔ دکتر امین صالحی تحت عنوان «اترکتورها، حالت‌های سیستم و اندازه‌گیری مشاهدات کیهانی در مدل‌های مختلف کیهان‌شناسی» و نیز تولیدات علمی ارزشمند از میان داوطلبان جایزه، صالحی را شایستهٔ دریافت این جایزه دانستند.

گردش مجازی دانش آموزان ایرانی در CERN

امسال برنامهٔ مشترکی بین انجمن فیزیک ایران و آزمایشگاه تحقیقات هسته‌ای اروپا (CERN) در بیست و دومین گردهمایی دانش‌آموزی فیزیک ایران برگزار خواهد شد. این برنامه برای ساعت ۱۶:۳۰ روز چهارشنبه ۱۲ شهریورماه برنامه‌ریزی شده است.

برنامه یک بازدید مجازی از آشکارساز اطلس (ATLAS) به همراه پرسش و پاسخ دانش‌آموزان از مسؤولین و دانشمندان سرن است. اطلاعات اولیهٔ برنامه در سایت بازدید مجازی اطلس قابل مشاهده است.

دومین کارگاه یک روزهٔ

اپتیک تکنیک ماره و کاربردهای آن

۲۲ آبان ۹۳ دومین کارگاه یک روزهٔ اپتیک دانشگاه تهران به‌طور تخصصی به موضوع تکنیک ماره خواهد پرداخت و کوشش خواهد شد تا ضمن معرفی مبانی و دیدگاه‌های جدید در رابطه با تکنیک ماره، برخی از مهم‌ترین کاربردهای آن توسط پژوهشگران متخصص به‌طور کوتاه، به دانشجویان تحصیلات تکمیلی و سایر پژوهشگران علاقه‌مند آموزش داده شود. این نشست یک روزه شامل کارگاه‌های زیر خواهد بود: مبانی تکنیک ماره و کاربردهای عمومی آن (دکتر محمدتقی توسلی از دانشگاه تهران)، طیف‌سنجی تبدیل فوریه با استفاده از فریزهای ماره (دکتر محمد ابوالحسنی، از دانشگاه اراک) حسگر ماره‌ای جبههٔ موج و کاربردهای متنوع آن (دکتر سیفاله رسولی از دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان)، توپوگرافی و توموگرافی با تکنیک ماره (دکتر خسرو معدنی‌پور از دانشگاه صنعتی امیر کبیر) و تداخل‌سنجی برشی و تکنیک ماره (دکتر خسرو حسنی از دانشگاه تهران).

باشگاه فیزیک

جلسات صد و چهارده، صد و پانزده و صد و شانزدهم باشگاه فیزیک تهران با موضوعات «نقش اساسی متافیزیک در فیزیک»،«فیزیک، هنر و باستان شناسی» و «دنیا از دیدگاه یک فیزیک‌پیشهٔ انرژی‌های بالا: از ابعاد زیر هسته‌ای تا کیهان» در دانشکدهٔ فیزیک دانشگاه تهران برگزار شد. سخنران خردادماه آقای دکتر مهدی گلشنی از دانشکدهٔ فیزیک و گروه فلسفهٔ علم دانشگاه صنعتی شریف، سخنران تیرماه خانم فرانک بحرالعلومی از پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی و سخنران مرداد ماه آقای دکتر محمدمهدی شیخ جباری استاد پژوهشکدهٔ فیزیک پژوهشگاه دانش‌های بنیادی بودند. جلسهٔ سی‌ام باشگاه فیزیک اصفهان نیز خردادماه۹۳ با سخنرانی آقای دکتر حسین احمدوند از دانشگاه صنعتی اصفهان برگزار شد. موضوع این جلسه «مواد مغناطیسی : از فیزیک تا کاربرد» بود. جلسات باشگاه فیزیک اصفهان ابتدای هر ماه در تالار شهید باهنر ساختمان علوم دانشگاه اصفهان برگزار می‌گردد.

دومین مدرسهٔ پیشرفتهٔ سامانه‌های دوبعدی،

از نیم‌رساناها تا مواد دو بعدی نوین

دومین مدرسهٔ پیشرفتهٔ سامانه‌های دوبعدی، از نیم‌رساناها تا مواد دو بعدی نوین، ۴ و ۵ خرداد ماه سال ۱۳۹۳، در پژوهشکدهٔ فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی دانشگاه تبریز برگزار شد. این مدرسه که ۱۲۰ نفر در آن شرکت کردند شش سخنران کلیدی داشت که سه سخنران آن از کشورهای تایلند، ترکیه و ایتالیا (پروفسور پریشا یوپاپین، پروفسور آتیلا آیدینلی و دکتر فیضی) و سه سخنران دیگر آن آقایان دکتر علیرضا مشفق، دکتر اکبر جعفری و دکتر رضا عسگری از کشورمان بودند. آقایان دکتر اصغر عسگری (دبیر مدرسه)، دکتر سعید شجاعی از گروه فوتونیک الکترونیک پژوهشکدهٔ فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی دانشگاه تبریز و انجمن فیزیک ایران برگزارکنندگان این مدرسه بودند که در پی برگزاری موفقیت‌آمیز مدرسه پیشرفته گرافن و ادوات اپتوالکترونیکی در سال ۹۲، برای دومین سال پیاپی این مدرسه را برگزار کردند.

دکتر وفا در ایران

دکتر کامران وفا استاد دانشگاه هاروارد، عضو فرهنگستان علوم آمریکا و برندهٔ مدال دیراک به دعوت شاخهٔ فیزیک ذرات و میدان‌های انجمن فیزیک ایران و دانشکدهٔ فیزیک دانشگاه تهران، خردادماه ۹۳ به تهران آمد و در تالار علامه امینی دانشگاه تهران درباب نظریهٔ ریسمان و فیزیک هندسی سخنرانی کرد. دکتر وفا از یافته‌های دو دههٔ اخیر در نظریهٔ ریسمان با تأکید بر نقش ابعاد اضافی و فیزیک هندسی در درک عمیق آن سخن گفت. وی در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی نیز سخنرانی کرد.

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد اخبار انجمن فیزیک ایران، می‌توانید به سامانهٔ خبرنامهٔ انجمن فیزیک ایران مراجعه کنید.

http.//www.psi.ir/html/news/newsl_f.asp