ویژه‌نامه آزمایش درهم‌تنیدگی فوتونی
روزنامه
سال هفدهم • دوره جدید • شماره ۷۷۰ • دوشنبه ۵ شهریور ماه ۱۳۹۷

اصولی با نتایج حیرت‌انگیز

نمی‌شود از فیزیک و کوانتوم صحبت کرد ولی سراغ استادان دانشکده فیزیک نرفت. همین‌طور حیف است موضوع شما مکانیک کوانتومی باشد و صحبت‌های دکتر بهرامپور را نشنوید...

صفحات ۳و۸

نباید عقب بمانیم

دکتر علی اکبر صالحی ویژگی‌های متنوع و بسیاری دارد؛ از تخصص علمی گرفته تا حضور و نقش سیاسی. فارغ از اینها، شاید بارزترین ویژگی این استاد، مبادی آداب بودن و تواضعش باشد....

صفحات ۴و۵

به دنبال نقطه عطف فناوری

صفحه؟؟

فناوری کوانتوم یا کوانتومی؟ ...

چند روزی از اعلان خبر آزمایش موفق درهم‌تنیدگی می‌گذرد. اما سابقه این دستاورد...

صفحه ۲

یک گام رو به جلو؛ امیدها و نگرانی‌ها

دکتر کریمی‌پور از نگاه خود به آزمایش در هم‌تنیدگی می‌گوید ...

صفحه ۶

یک قدم تا خالق

دکتر جواد صالحی استاد ممتاز دانشکده برق دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف ...

صفحه ۷

مروری بر یافته جدید کشور در حوزه فناوری کوانتومی و درهم تنیدگی

فناوری کوانتوم یا کوانتومی؟ مساله این نیست!

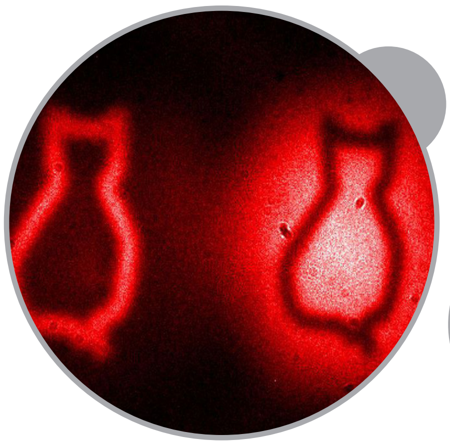
گزارش چند روزی از اعلان خبر آزمایش موفق درهم‌تنیدگی می‌گذرد. اما سابقه این دستاورد به کجا برمی‌گردد و ابعاد آن چیست؟ موافقان و منتقدان آن چه نظری دارند؟ پاسخ این پرسش‌ها را در ادامه بخوانید.

تعیین هدف

ابتدای مرداد ۹۶، دکتر علی‌اکبر صالحی مدال‌آوران المپیاد جهانی شیمی را جمع کرد. برایشان از قدرت الهام‌پذیری گفت و اینکه باید از آن برخوردار شد. او گفت باید آنقدر در علم را کوبید تا از آن برخوردار شد. همان ادبیات شیرین و امیدبخش همیشگی. اما دکتر در آن جلسه خیلی آرام و بی‌صدا از رویکرد جدیدی در سازمان هم پرده برداشت. تمرکز بر فناوری کوانتومی. در آن جلسه حاضران برای اولین بار نام «درهم‌تنیدگی» را شنیدند. او با ادبیات ساده و همه‌فهم، entanglement را توضیح داد.

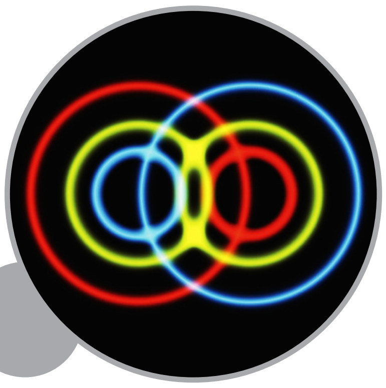
تشریح موضوع

چند روز بعد از آن در نخستین همایش فناوری کوانتومی، دکتر ایده‌اش را بیشتر باز کرد. او از فناوری کوانتومی گفت و آزمایش درهم‌تنیدگی فتون‌ها و یون‌ها را نخستین آزمایش در راستای موضوع فناوری کوانتومی دانست. در این همایش استادان دیگری از دانشگاه ما هم حضور داشتند. دکتر کریمی‌پور در مورد مکانیک کوانتومی در قرن جدید صحبت کرد و دکتر جواد صالحی، علوم و فناوری‌های کوانتومی را تشریح کرد. اما دکتر صالحی از قانون اهرم گفت و اینکه ما در وضعیتی هستیم که اگر بخواهیم سیر تحول دیگران را دنبال کنیم خیلی راه در پیش داریم، بنابراین باید قانون اهرم را به کار بگیریم تا زمینه یک کار بزرگ را فراهم کنیم. او از اهرم ابتکار و از چشم‌انداز بلندی گفت که اگر بتواند یک فکر را تزریق کند باعث موفقیت می‌شود. دکتر از همه می‌خواهد امیدوار و بلندپرواز باشند. او و تیمش رویای بزرگی در سر دارند.



اعلان دستاورد

بعد از این جلسه و همایش، بی‌خبری رسانه‌ای بر حوزه فناوری کوانتومی چیره شد. دوباره ذهن‌ها به سمت تجربه معمول در بوق و کرنا کردن موضوعی و رها کردن آنها رفت، اما درست یک سال بعد از این همایش، دکتر صالحی به همراه دکتر غلامی و دکتر ستاری در مرکز ملی علوم و فنون لیزر جمع شدند تا از فناوری جدید کوانتومی رونمایی کنند. قانون اهرم کار خود را کرده بود و درهم‌تنیدگی فوتون‌ها در فاصله آزمایشگاهی با موفقیت انجام شده بود. در همان جلسه دکتر غلامی از ظرفیت دانشگاه برای گسترش این فناوری خبر داد و از راه‌اندازی رشته در مقطع دکترا خبر داد. دکتر ستاری یادی از فناوری نانو و پیشرفت‌های قابل توجه کشور در آن حوزه کرد و این دستاورد را در راستای همان‌ها دانست. دکتر صالحی که به وعده سال گذشته خود عمل کرده بود، حالا از گسترش کار می‌گفت و اینکه مقیاس آزمایشگاهی باید به مقیاس‌های بزرگ‌تر تبدیل شود. او حتی از فاصله هفت کیلومتر صحبت کرد که در آینده می‌خواهند به آن برسند.



نقد و نظر

موضوعی پرطرفدار در دنیا و مهجور در ایران داریم به نام ژورنالیسم علمی. افرادی که خبرهای علمی را تهیه می‌کنند علاوه بر دانش رسانه‌ای، باید دستی هم بر آتش علم داشته باشند. خبرهای علمی در ایران با شروعی مثل «برای اولین بار در ایران و جهان...» و با کمترین دقت علمی دارد یا آنقدر علمی مطرح شده که دانشجوی دکترای همان رشته هم نیاز به صرف زمان برای فهمیدن موضوع دارد. شیوه انعکاس خبر این موفقیت هم از این قاعده مستثنی نبود. خیلی از افراد جامعه، حس خوشایندی نسبت به این خبر داشتند. به نظر می‌رسید سابقه علمی دکتر صالحی و راست‌گویی اش، باعث شده بود مردم و نخبگان راحت‌تر این موضوع را بپذیرند. اما در این میان، نقدهایی از جامعه علمی در مورد این دستاورد هم مطرح شد. دکتر کریمی‌پور، با نگاهی بدبینانه به موضوع ورود کرد. از ترکیبات اشتباه در بیان جمله گفت و معتقد بود روال مشخص علمی برای راستی‌آزمایی اینکار طی نشده است. او این مطلب را با عنوان «چگونه از افتادن خود و کشور به «چاه کوانتوم» جلوگیری کنیم؟» منتشر کرد. چند روز بعد اما لحن دکتر ملایم‌تر شد. دوباره مطلبی منتشر کرد و این بار تیترش را «یک گام رو به جلو، امیدها و نگرانی‌ها» گذاشت. او گفت به این جمع‌بندی رسیده که این آزمایش واقعا در آزمایشگاه انجام شده و می‌تواند با رعایت ملزوماتی، نقطه عطفی در پژوهش‌های نوین علمی هم باشد. دکتر کریمی‌پور به دقت پایین انعکاس رسانه‌ای صحبت‌های دکتر صالحی انتقاد کرد و نگرانی خود را گره زدن این فعالیت با اقتدار ملی دانست چراکه مسیر معمول پژوهش را با مشکل مواجه می‌کند.

ورود انجمن فیزیک

انجمن فیزیک که شاخه‌ای تخصصی در زمینه علوم و فناوری اطلاعات کوانتومی دارد میزگردی با حضور نماینده سازمان انرژی اتمی برگزار کرد. آنها ابعاد و آینده این فناوری را مورد بررسی دقیق‌تر قرار دادند. در این میزگرد به سابقه پژوهشی این فناوری در کشور اشاره شد. از نگاه آنها، این پژوهش‌ها در کنار توجه سازمان و تجهیز آزمایشگاه‌ها توانسته به نتیجه عملی منجر شود. انجمن فیزیک در کنفرانس امسال خود قرار است میزگردی با همین موضوع برگزار کند.

به سوی آینده

بعد از گذشت چند روز و محک خوردن اولیه کار، حالا حس همه، یک گام رو به جلو واقعی است. باید دید این فناوری قرار است چه کمکی به آینده ما بکند. اثراتی که به گفته متخصصان امر، در صورت فراهم شدن امکانات، می‌توانیم در آینده نزدیک به‌طور ملموس آنها را حس کنیم.

دکتر علیرضا بهرامپور از دنیای شگفت مکانیک کوانتومی و درهم‌تنیدگی می‌گوید:

اصولی با نتایج حیرت‌انگیز

گفت‌وگو نمی‌شود از فیزیک و کوانتوم صحبت کرد ولی سراغ استادان دانشکده فیزیک نرفت. همین‌طور حیف است موضوع شما مکانیک کوانتومی باشد و صحبت‌های دکتر علیرضا بهرامپور را نشـنوید. دکتر بهرامپور کارشناسی خود را در رشته برق و دکترای خود را در ریاضی گرفت. از سال ۵۳ به عنوان مربی در شـریف مشغول تدریس شـد. انقلاب فرهنگی باعث شد به صنعت و کار اجرایی در مقیاس ملی سوق پیدا کند و پایه‌گذار تحولاتی عظیم در فیبر نوری، لیزر و... شود. بهرامپور پس از دوران مدیریتی و اجرایی سنگین خود باز هم در صنعت ماند و همیشه به دور از جنجال و حاشیه در کنار فعالیت‌های علمی در کسوت استادی دانشگاه، فعالیت‌های صنعتی خود را پیش برد. او به همراه تیمش مدتی است روی کاربردهای مکانیک کوانتومی تحقیق می‌کند، لذا گزینه‌ای جذاب برای مصاحبه در این خصوص بود.

نقش پدیده‌ها و فناوری‌هـای کوانتومی در آینده چیست و سرمایه‌گذاری روی این حوزه چه ارزشی دارد؟

حدود صد سال از پیدایش مکانیك کوانتومی می‌گذرد، مکانیـك کوانتومـی بـا پدیده‌های غیر قابـل توجیه توسـط فیزیك کلاسـیك مانند تابش جسـم سـیاه، فتوالکتریك و طیف اتم شـروع شـد و چهـره جدید و عجیبی از قوانین حاکم بر طبیعت را نشان داد. قبل از مکانیك کوانتومی قوانین حاکم بر طبیعت را تعینی و موضعی می‌انگاشتند و منطق حاکم بر آن را ارسطویی می‌پنداشتند.

اگرچه مکانیك کوانتومی با منطق ارسطویی آغاز شد ولی خیلی زود منطق جدیـدی را جایگزین کرد که با تئوری مکانیك کوانتم سازگار بود. در منطق جدید که به منطق کوانتومی مشهور است یك سیستم می‌تواند همزمان در یك حالت مشـخص باشـد و نباشـد! این اندازه‌گیری اسـت که به سیسـتم کوانتومی حالت را تحمیل می‌کند نه یك واقعیت ساختاری. علم جدید، دستاوردهای جدید علمی، فناوری و مهندسی فراوانی با خـود به همراه آورد. شـاید فناوری‌های الکترونیك حالت جامـد و لیزر که به اوایل دهه شـصت میلادی برمی‌گردد از قدیمی‌ترین و جدی‌ترین دستاوردهای مکانیك کوانتومی باشـد. مکانیك کوانتومی منجر به پیدایش علوم و مهندسی‌های جدیدی مانند اطلاعات کوانتومی، کنترل کوانتومی، ترمودینامیك کوانتومی، کامپیوتر کوانتومی، مخابرات کوانتومی، تصویرنگاری تك‌فتونی، تصویرنـگاری روح، رمزنگاری کوانتومی، مترولـوژی کوانتومـی، رادار کوانتومـی، نرم‌افـزار کوانتومی، شبیه‌سازی کوانتومی و... شد.

در زمان پیدایـش مکانیك کوانتومـی تصور آزمایش بـر روی تك‌اتـم یـا تك‌ملکول غیـر ممکـن می‌نمـود. تصور دیدن پدیده‌های کوانتومی در سیسـتم‌های ماکروسکپی دور از انتظار بود، لیکن در سه دهه گذشته تك‌اتم‌ها و تك‌یون‌ها را بـه دام انداختند و بـه کرات بر روی آنهـا آزمایش‌های مختلف انجام دادند. در موارد بسیاری بـا آنهـا وسـایل اندازه‌گیـری سـاختند؛ از اپتیك اتمی برای سـاختن وسـایل اندازه‌گیری دقیق بهره جستند و پدیده‌های کوانتومی مرتبا در سیستم‌های اپتـو مکانیکـی به ابعـاد چند میلیمتـر تـا چنـد سـانتیمتر مـورد آزمایـش قـرار گرفتند و بـا ملکول‌های سـنگین مانند C۶۰ آزمایش تداخل‌سـنجی انجام دادند.

اگـر بخواهم جمع‌بنـدی کنم منظـور از فناوری کوانتومی در چند دهه گذشته، فناوری‌های مبتنی بر یك، دو یا چند ذره کوانتومی است که منجر به توسـعه بسیار در شـاخه‌های مختلف فناوری‌های پیشـرفته شده اسـت. با این تفاسـیر، کم‌توجهی به این دانش و فناوری موجب خسـارات جبران‌ناپذیری خواهد شد.

> **درهم‌تنیدگـی ممکـن اسـت ایـن سـوءتفاهم را ایجاد کنـد که انتقال اطلاعات با سرعت بیش از نور امکان‌پذیر است ولی ثابت شده که اندازه‌گیری روی یک ذره باعث انتقال اطلاعات نمـی‌شود و تـا زمانی که آزمایشگر ذره اول از طریق یک خط ارتباط کلاسیـک، بـه آزمایشگر ذره دوم نتیجه آزمایش خود را اطلاع ندهد، این آزمایشگر نمی‌تواند حالت ذره خود را بفهمد**

ممکـن اسـت مثالـی در مـورد پدیده‌های ماکروسـکپی بگویید که با فیزیك کلاسیك قابل توجیه نباشد؟

همـه پدیده‌هایـی ماننـد سـاختار طیـف اتـم، اثـر فتوالکتریـك و تابش جسـم سـیاه پدیده‌هایی ماکروسکپی هسـتند که با فیزیك کلاسیك غیر قابل توجیه‌انـد، به همین دلیل منجر بـه پیدایش مکانیك کوانتومی شـدند. اینها مثال خوبی برای این سـؤال هسـتند، اجـازه دهید یك مثـال ملموس‌تـر و قابل آزمایش بزنم؛

فرض که بین دو نقطه (آ) و (ب) دو فیبر نوری قرار دارد، فیبرها به نحوی به هم پیوسته‌اند که اگر فتونی به داخل این سیستم هدایت شود با احتمال مساوی می‌تواند از طریـق یکی از فیبرهای نوری از مبدأ به مقصد منتقل شـود. سـؤال این اسـت که فتون از طریق کدام فیبر نوری منتقل می‌شـود؟ پاسخ این است که هر دو فیبر ناقل فتون هسـتند! یعنی فتـون در حالت برهم‌نهی این دو مسـیر قرار دارد و در خروجی فیبرهای نوری به وضوح طرح‌های تداخلی را می‌توان مشاهده کرد! این پدیده با تفکر کلاسیك مغایرت دارد، در تفکر کلاسیك فتون به صورت اتفاقی به درون یکی از فیبرهای نوری هدایت می‌شود و از مبدأ به مقصد منتقل می‌شود، این در حالی است که مکانیك کوانتومی می‌گوید فتون در هر دو مسیر حرکت می‌کند! مکانیك کوانتومی چگونه ادعای خود را ثابت می‌کند؟ دیدن الگوهای تداخلی در خروجی فیبرهای نوری تاییدی بر ایـن ادعا اسـت؛ تداخل یك پدیده ناشی از حرکت فتون در هر دو مسیر اسـت. چنانچه دو فیبر نوری فیبرهای نگهدارنده دارای قطبش عمود بر یکدیگر باشند به گونه‌ای که یکی از فیبرها قطبش افقی و دیگری قطبش عمودی را هدایت کند، اگـر قطبش فتون افقی باشـد مسـیر حرکت فتون فیبـر نگهدارنده قطبـش افقی است و مسـیر آن کاملا مشخص است. آزمایش نشان می‌دهد که در خروجی فیبرهای نوری هیچ اثری از تداخـل فتون با خودش دیـده نمی‌شـود. ایـن آزمایش کاملا عملی و آزمایشگاهی است که در آن مشـاهده می‌شود همه مفاهیم کلاسـیك حتـی مفهوم احتمال دگرگون شده‌اند.

امـروز بـرای بسـیاری از ایـن آزمایش‌هـای کوانتومـی مانند تداخـل تك‌فتـون، تداخـل دو فتونی، تصویرنـگاری روح، تصویرنـگاری تك‌فتونی، رمزنگاری کوانتومـی، دور انتقالی و... شـرکت‌های مختلـف، کیت آموزشـی سـاخته و بـه علاقه‌مندان می‌فروشـند و اینهـا در آزمایشـگاه‌های آموزشـی دانشگاه‌های مختلف دنیا مورد آزمایش قرار می‌گیرند.

به سـراغ درهم‌تنیدگـی برویم. ایـن پدیده چیسـت و چه کاربردهایی برای آن می‌توان متصور بود؟

بر اسـاس اصـل اول مکانیك کوانتومـی (برهم‌نهی نتیجه‌ای از اصل اول است) ترکیبات خطی حالت‌های یك سیسـتم نیـز می‌تواننـد حالت‌هـای جدیدی از سیسـتم را بیان کنند، اگر سیسـتم متشـکل از چند جزء باشـد مثلا متشـکل از دو ذره یا بیشـتر باشـد، حالت سیسـتم چندذره‌ای می‌تواند ترکیب خطی از حالات ذرات جدا از هم باشد. در بعضی از این حالات اندازه‌گیری روی قسـمتی از سیستم، قسمت دیگر را مجبـور به قرار گرفتن در حالتی معین می‌کند. چنین حالتـی را درهم‌تنیدگی می‌نامند. ایـن نام‌گذاری را اولین بار شـرودینگر در مقابل تفکر انیشـتین و سایر طرفداران واقعیت موضعی به‌کار گرفت.

تعریف مفاهیم در علوم دقیقه مانند منطق، فلسـفه، ریاضیات، فیزیك و... از مبانی مهم دانش اسـت زیرا این تعاریف است که ما را همزبان می‌کند و گرنـه دو نفر می‌توانند بـا هم در مـورد یـك چیز حرف بزنند ولی هرکدام تصویر خاص خود را در ذهن داشـته باشـند. واضح است که نتیجه مباحثات هرچه باشد هیچ اعتبار منطقی ندارد، در یـك مصاحبه عمومی دقیـق صحبـت کـردن ممکن است منجر به خستگی مخاطب شود لذا عذر من را در قصور برای بیان بپذیریـد به آغاز داسـتان درهم‌تنیدگـی برگردیم و با مثال مفهوم را روشن‌تر کنیم.

سـال ۱۹۳۵ آقایان انیشـتین، پودلسـکی و روزن مقالـه‌ای بـا مضمون غیر کامل بودن مکانیك کوانتومی منتشر کردند. آنها در یک آزمایش خیالی دو ذره دور از هم را در نظر گرفتند که موقعیت و تکانـه آنها درهم تنیـده بود و ادعا کردند می‌تـوان روی یکی از آنهـا موقعیـت و روی دیگری تکانـه را با دقت اندازه‌گیری کرد و در نتیجه اصل عدم قطعیـت را نقض کرد. برای تقریـب به ذهن تفاوت دو طـرز تفکر، فرض کنید دو الکتـرون در حالت یکتایی داریم که حالت اسـپینی آنها درهم تنیده اسـت. اگر اجازه دهیم این دو ذره خیلی از هم دور شوند، انتظار داریم که اندازه‌گیری یکی، روی دیگری اثری نداشته باشـد، امـا اگر روی یـک ذره آزمایش انجـام دهیم و اسـپین آن را مشـخص کنیم، ذره دیگر به صورت آنی دارای اسـپین مشـخص می‌شـود. این آزمایش‌های خیالی، بحث‌های عمیق فلسـفی را بین فیزیکدان‌ها مطـرح کرد. بعضی فیزیکدان‌ها به واقع‌گرایی اعتقاد دارند، یعنی حالت سیسـتم از قبل مشـخص است و بـا اندازه‌گیری، فقط واقعیت خود را نشـان می‌دهد، ولی در نگاه دیگر فیزیکدان‌ها اندازه‌گیری، سیسـتم را به حالت خاص می‌راند و واقعیت تعیین‌شده از قبل وجود ندارد. برای تقریب به ذهن تفاوت دو طرز تفکر، بل در سـال ۱۹۶۴ یک آزمایش خیالی ترتیب داد که این تفاوت دیدگاه را کمی‌سازی و قابل راستی‌آزمایی تجربی کند. اگر در این آزمایش مثل فیزیک کلاسیک موضعیت و واقع‌گرایی وجود داشـته باشد، نتایج باید در نامسـاوی بل صدق کنند ولـی در غیر این صورت واقع‌گرایی موضعی زیر سوال می‌رود. موضع‌گرایی به این معناسـت که هیچ پدیده یا اطلاعاتی با سرعت بیش از نور نمی‌تواند منتشر شود. ولی اگر دو ذره با حالـت درهم‌تنیده در فاصله دوری از هم باشند و روی یکی از آنها آزمایش انجام شود، حالـت ذره دوم به صـورت آنی مشخص می‌شود. درهم‌تنیدگی ممکن اسـت این سـوءتفاهم را ایجاد کند کـه انتقال اطلاعات با سرعت بیش از نور امکان‌پذیر اسـت ولی ثابت شـده است که اندازه‌گیری روی یک ذره باعث انتقال اطلاعات نمی‌شـود و تا زمانی که آزمایشـگر ذره اول از طریق یک خط ارتباط کلاسیک، بـه آزمایشـگر ذره دوم نتیجـه آزمایـش خود را اطـلاع ندهد، این آزمایشـگر نمی‌تواند حالت ذره خـود را بفهمـد. بنابرایـن نسـبیت خاص با درهم‌تنیدگی منافاتی ندارد.

> **باید استادان ما توانایی تبدیل دانش به صنعت را در یک بسـتـر جمعی داشته باشند و نگاهشان بـه دانشجـوهای تحصیـلات تکمیلـی و به خصوص دانشجوی دکتری به عنوان همکار باشد، استاد باید طبق نیاز خود دانشجویی با مـشخصات مطلـوب را پذیرش نماید و به عنوان همکـار، هزینه‌هـای تحصیلی او را پـرداخت نماید**

ادامه در صفحه ۸

گفت‌وگو با دکتر علی اکبر صالحی؛
رئیس سازمان انرژی اتمی

نباید عقب بمانیم

چه شد که تصمیم گرفتید وارد حوزه فیزیک کوانتوم شوید و کی این اتفاق افتاد؟

دقیقا دو سال پیش بود در تاریخ ۹۵/۰۵/۱۵. اخوی بنده، دکتر جواد صالحی هر از چندگاهی کتاب‌هایی برای مطالعه به من می‌دهد. ایشان سال ۹۵ پس از یک سفر به انگلیس، کتابی بسیار خواندنی به نام Life on the Edge (Quantum Biology) به من دادند. کتابی علمی که با زبانی آسان نوشته شده بود. خواندن این کتاب باعث مطالعه و مباحثه بنده در مورد فناوری کوانتومی شد و تصمیم گرفتیم از این حوزه جوان دنیا عقب نمانیم. مکانیک کوانتومی البته از ابتدای قرن ۲۰ در دنیای فیزیک گرم و پررونق شده است، اما ورود به دنیای آزمایش و شروع حرکت برای تولید فناوری احتمالی از آن در دنیا جوان است. ما هم گفتیم اگر امروز شروع کنیم، برخلاف چیزهای دیگر، از مرز این دانش خیلی عقب نمی‌مانیم. در ابعاد اتم و مولکول و زیر اتم قوانین متفاوتی با جهان با ابعاد بزرگ حاکم است. پدیده‌های کوانتومی به قول فرنگی‌ها counterintuitiveاند. یعنی برخلاف برداشت حسی و معمول انسان است. مثالی که پیشتر هم برای تقریب به ذهن زده‌ام این بوده که چاهی را فرض کنید که سنگی در آن هست. از نظر برداشت عمومی ما و تجربه ما این سنگ هیچ‌وقت به خودی خود بالای چاه ظاهر نخواهد شد، مگر اینکه کسی، یک چیزی، انرژی‌ای صرف کند تا آن را بیاورد بالا. این تجربه روزمره ماست. اما اگر این بشود چاه کوانتومی و آن ذره هم بشود ذره کوانتومی، شما یک‌دفعه می‌بینید این ذره می‌تواند از این چاه کوانتومی بیرون بیاید. این پدیده counterintuitive است. یکی از این پدیده‌های کوانتومی درهم‌تنیدگی یا entanglement است. از زمان شرودینگر این پدیده مطرح است اما نگاه فناورانه طی ۶ یا ۷ سال اخیر اتفاق افتاده.

در آزمایش درهم‌تنیدگی فوتون‌ها که باعث خبری شدن این پروژه شد دقیقا چه اتفاقی افتاده است؟

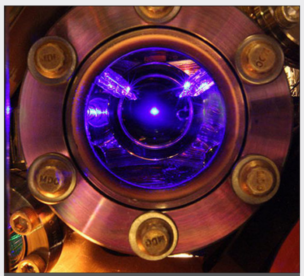
وقتی تصمیم گرفتیم وارد این حوزه شویم پژوهشکده لیزر، از پژوهشکده‌های سازمان انرژی اتمی، مسئول پیگیری شد و اسم پژوهشکده را هم به پژوهشکده فوتونیک و فناوری کوانتومی تغییر دادیم. کلید ورود به این عرصه آزمایش همین درهم‌تنیدگی است. اما این درهم‌تنیدگی به اختصار چه می‌گوید؟ خیلی ساده بخواهیم توضیح دهیم شما دو تا فوتون را فرض کنید که درهم‌تنیده‌اند. حالا این دو را از هم جدا می‌کنیم. فوتون‌ها شاخصه‌هایی دارند مثل قطبیت، انرژی و... شما هر شاخصه را که تغییر بدهی، فوتون دیگر در همان لحظه متوجه می‌شود. به میزان فاصله دو فوتون هم بستگی ندارد. می‌تواند بی‌نهایت کیلومتر باشد. انیشتین می گفت چگونه یک بلایی سر این می‌آوری و دیگری در فاصله بی‌نهایت متوجه می‌شود و ما هم می‌دانیم که بالاترین سرعت، سرعت نور است. پس اگر قرار است که این اطلاعات تبادل شود، باید با سرعت نور تبادل شود پس زمان وابسته به فاصله‌ای است که نور طی کند. خب اینجاست که می گوییم پدیده‌های کوانتومی نامأنوس است. این پدیده که روزی تنها نظری بود، امروز به صورت تجربی هم ثابت شده است. اولین بار فرانسوی‌ها در آزمایشگاهی در پاریس چندین سال پیش، پدیده درهم‌تنیدگی را روی فوتون انجام دادند. در آزمایشگاه و در فاصله‌ای در همان حد ۵۰ سانت یا ۱ متر. در آزمایش‌های بعدی این فاصله بیشتر هم شد و باز هم نتایج درست بود. از طرفی اینشتین می گفت این غیر ممکن است و از طرفی دیگرانی که به این نتایج رسیده بودند، دعوی درستی‌اش را داشتند. الان هم تجربه نشان داده که درست است. اینکه ما چگونه این دو فوتون درهم‌تنیده را در فاصله زیاد قرار دهیم کار مشکلی است. چینی‌ها آزمایش درهم‌تنیدگی را با کمک یک ماهواره و در ۶۰۰ مایلی هم انجام داده‌اند. این پدیده برای ارتباطات خوب است و با communicationهای کلاسیکی که ما امروز داریم بسیار متفاوت است.

این آزمایش قطعا به آزمایشگاه و تجهیزاتی نیاز دارد که از سطح فناوری بالایی برخوردار باشد. در این مورد چه کردید؟ آزمایش یکبار انجام گرفته یا تکرار شده؟

ما امکانات و نیروهای‌مان را بسیج کردیم. بچه‌های ما واقعا مخلصانه و صادقانه زحمت کشیدند. تجهیزاتی هم باید از خارج می‌خریدیم که کار آسانی نبود.

درهم‌تنیدگی و انواع کاربردهای آن

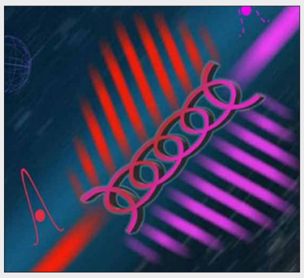
ساعت‌های بسیار دقیق



ساعت استرونتیوم در موسسه ملی استاندارد و فناوری آمریکا

امروزه دقیق‌ترین ساعت در دنیا، ساعت اتمی است که از اصول مکانیک کوانتومی برای اندازه‌گیری زمان در آن استفاده می‌شود. این ساعت‌ها بر اساس تعداد نوسان الکترون بین دو تراز انرژی و نور گسیلی ناشی از آن کار می‌کنند. ساعت کوانتومی در موسسه ملی استاندارد و فناوری آمریکا هر ۳.۷ میلیارد سال، یک ثانیه عقب می‌افتد و ساعت استرونتیوم موجود در این موسسه به مدت ۵ میلیارد سال یعنی چیزی بیشتر از عمر سیاره زمین دقیق خواهد بود. دقت ساعت‌های اتمی وابسته به تعداد اتم‌های استفاده شده است. این اتم‌ها که در محفظه خلأ نگهداری می‌شوند، هرکدام به‌طور جداگانه زمان را اندازه گیری می کنند و مراقب تفاوت‌های رندم بین خود و همسایه‌های اطراف هستند. قدم بعدی پژوهشگران، استفاده از درهم‌تنیدگی برای افزایش دقت است. اتم‌های درهم‌تنیده با همسایه‌های اطراف تفاوت رندم نخواهند داشت و هرکدام جداگانه زمان را اندازه‌گیری می کنند که به‌طور موثر انگاره یک آونگ در حال نوسان است. ساعت‌های درهم‌تنیده می‌توانند به هم متصل شوند تا یک شبکه جهانی را به‌وجود آورند که زمان را فارغ از موقعیت و مکان اندازه بگیرند.

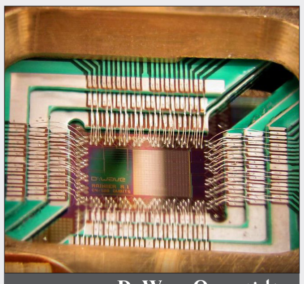
کدهای غیرقابل بازگشایی



در رمزنگاری سنتی، فرستنده با استفاده از یک کلید اطلاعات را رمزگذاری می‌کند و دریافت‌کننده با کلید دیگری پیام را رمزگشایی می کند. با این حال، همیشه کلیدها در معرض خطر لو رفتن هستند. این مشکل را می‌توان با استفاده توزیع کلید کوانتومی (QKD) که به صورت بالقوه غیر قابل بازگشایی است، حل کرد. در QKD، اطلاعات در مورد کلید به وسیله فوتون‌هایی که به صورت رندم قطبیده شده‌اند، فرستاده می‌شود. گیرنده به وسیله یک فیلتر قطبش گر می‌تواند کلید را دریافت کند و با استفاده از الگوریتم کلید، پیام را در حالت امن رمزگشایی نماید. در این روش اطلاعات باز هم از طریق کانال‌های ارتباطی نرمال انتقال داده می‌شوند ولی هیچ‌کس نمی‌تواند پیام را بازگشایی کند تا زمانی که کلید کوانتومی دقیق را داشته باشد. زیرا به خاطر قوانین مکانیک کوانتومی، خواندن قطبش فوتون‌ها باعث تغییر حالت آنها می‌شود. اگر این فوتون‌ها با فوتون‌های دیگری در محل ارسال و دریافت پیام درهم‌تنیده باشند هرگونه تغییر حالت به صورت آنی به مخابره کنندگان پیام اطلاع داده می‌شود و خطر لورفتن پیام به صفر می‌رسد.

ابر رایانه‌های قدرتمند

یک رایانه استاندارد اطلاعات را به صورت رشته‌ای از ارقام صفر و یک یا همان «بیت»ها ذخیره می‌کند ولی رایانه‌های کوانتومی از بیت‌های کوانتومی یا «کیوبیت»ها استفاده می‌کنند و تا زمانی که اندازه‌گیری شوند در حالت برهم‌نهی از صفر و یک قرار دارند. در واقع یک کیوبیت هم‌زمان هم می‌تواند صفر باشد هم



پردازنده D-Wave One

گفت‌وگو

دکتـر علی اکبـر صالحی ویژگی‌هـای متنوع و بسیاری دارد؛ از تخصص علمی گرفته تا حضور و نقش سیاسـی. فارغ از اینها، شـاید بارزترین ویژگی این استاد، مبادی آداب بودن و تواضعش باشد.
در دفتـرش در سـازمان پرطمطـراق انـرژی اتمی به گرمـی از ما اسـتقبال کرد و برایمان از دوران دانشـگاه و محاسن همکارانش در شریف گفت.
دکتر صالحی گفت در دوران ریاست در دانشگاه برای راه انداختن دوره دکتری فیزیک حسابی جنگیده؛ دوره دکترایی که خیلی‌ها راه انداختنـش را در توان ما نمی‌دانسـتند، اما حـالا ثمراتش ـ به خصوص دوره اولی‌ها ـ برای همه روشـن شـده اسـت. علی‌اکبر صالحی این روزها با محوریت سازمان انرژی اتمی، پای ایران را به یک حوزه نوین دانش و فناوری باز کرده اسـت؛ حوزه‌ای که باز هم بسـیاری آن را در توان ما نمی‌دانند، اما صالحی این بار هم معتقد است باید از جایی شروع کرد.

تجهیزات تهیه شـد. بالاخره آزمایش درهم‌تنیدگی را انجام دادند. البته در ابعاد آزمایشـگاهی و در مقیاس سانتیمتر. اما اصل این است که این دو تا فوتون را جدا کنند و این دو هم یکدیگر را احساس کنند.
اولین نتیجه در ماه رمضان گرفته شـد. دسـتگاه‌ها و تجهیزات جدیدتر هم پس از آن رسید و ما این آزمایش را به صـورت تکرارپذیر انجام دادیم. نـه اینکه یکبار و به شکل تصادفی انجام شـود. باید آنقدر یک آزمایش را تکرار کنید که کاملا مسـجل و مسـلم شود. الان هم یک گـزارش به انجمـن فیزیک داده‌ایـم. این هم که گفته می‌شود هیچ چیز مخفی در فیزیک نداریم حرف دقیقی نیست. در پروژه منهتن هنوز و بعد از گذر چند دهه اسناد منتشرنشده وجود دارد.

دانشـگاه‌ها و مراکز علمی کشور درگیر این پروژه نیستند؟

ما به سـمت درگیر کردن جامعه علمی کشـور حرکت کرده‌ایم. همایش ملی فناوری کوانتومی را سال گذشته در سـازمان انرژی اتمی برگزار کردیم که از دانشـگاه اصفهان، شریف و پژوهشگاه سازمان در این کنفرانس شـرکت کردند. تـلاش کردیم ایرانی‌هـای متخصص شناخته‌شـده در این حـوزه را چه در داخـل و چه در خارج جمع کنیم.

این فناوری، حوزه تخصصی فیزیک است؟

این فناوری، یک فناوری بسیار گسترده است و اینطور نیسـت که بگوییم فقط کسـی که فیزیک کوانتوم بلد است، در این فناوری است. لیزرمن هم می‌تواند باشد، در ارتباطاتش، برقی هم می‌تواند باشـد، مهندسـی کامپیوتر هم می‌تواند باشد. این فناوری میان‌رشته‌ای است. البته اساسش فیزیک کوانتوم است. باید فیزیک کوانتوم را خوب درک کنید. مباحث نظری‌اش فیزیک و شیمی است و در مباحث کاربردی حوزه‌های مختلف از برق و کامپیوتر و بیولوژی را در بر می‌گیرد.
این یـک آزمایش بود و بـرای کاربـرد آن راه درازی در پیش رو داریم و الان در حال برداشـتن قدم‌های اولیه هستیم. در دانشکده برق شریف، دکتر جواد صالحی روی ارتباطات کار می‌کند. آزمایشگاه خیلی مفصلی دارد. مـا هم گفته‌ایم آن نیازهایی را که شـما دارید که آزمایشـگاه‌تان تکمیل شـود به ما بگوییـد. در زمینه محاسـبات، با آی‌پی‌ام داریم کار می‌کنیم. به آنها هم گفتیـم نیازهاتـان را بگویید تا ما در حد وسـع‌مان در اختیارتان بگذاریم. با دانشگاه‌های دیگر هم صحبت کرده‌ایم. برای اینکه ما می‌خواهیم ایده جدید در همه جا منتشر شود. نمی‌خواهیم فقط یک جای خاص روی آن کار کند. در حوزه زیسـتی هم با رویان کار را شـروع کرده‌ایم. یک قرارداد هم با دانشکده فنی بسته‌ایم که یک کتاب تکست بنویسـیم. هدف‌مان چیست؟ اول اینکـه این پدیده را در دانشـگاه‌ها جـا بیندازیم. یک همایش ملی هم گذاشـتیم. بعد هم ریز پروژه‌هایی را که در این فناوری می‌توان تعریف کرد لیست کرده‌ایم.
اگر شـما به آدرس www.icqts.ir سر بزنید می‌بینید که پروژه‌ها را ریز کرده است. هر دانشگاهی بخواهد هر یک از این پروژه‌ها را انجـام دهد ما حمایت می‌کنیم. تقاضاهای زیادی هم داشته‌ایم.
حتی کتابی ساده و ترویجی برای سطح دبیرستان هم در دسـت نگارش داریم تا بچه‌ها از حالا با شوق و ذوق با این مبحث آشنا شوند زیرا این فناوری آینده است.
قدم دیگری هم که برداشـته‌ایم آزمایشـگاه مجازی است. ما که نمی‌خواهیـم یک آزمایشـگاه درست کنیم و همه این تجهیزاتی را که در دنیا هسـت با هزینه بالا یک جا جمع کنیم. اما هرکدام از این تجهیزات یک جایی اسـت. مثلا رویان تعدادی از تجهیزات را دارد. صنعتـی شـریف یـک تعداد دیگر، همچنین اصفهان و فنی تهران. اینها را شناسـایی کرده‌ایم. یک مدیریت مجازی درسـت کرده‌ایم. مثلا دانشجو از دانشگاه شریف است ولی باید برود اصفهان آزمایش را انجام دهد. ما هزینه را می‌دهیم. پول بلیت را می‌دهیم. پول آزمایشـگاه اصفهان و پول هتل را هم می‌دهیم. امکانات کشور را به صورت مجازی مدیریت می‌کنیم.
بنابراین ما بیشتر کار مدیریت پروژه را انجام می‌دهیم. مثلا درهم‌تنیدگی را انجام می‌دهیم، ولی نمی‌خواهیم همه کارها را خودمان انجام دهیم.

اینکه افرادی کار را واقعی نمی‌دانند به دلیل این نیست که درگیر آن نبوده اند؟

اتفاقـا بوده‌اند. حتی در همایش ملی هم سـخنرانی داشتند. حتی در پروژه‌های دانشگاه‌ها هم حاضرند.

چشم‌انداز این برنامه تحقیقاتی چیست؟

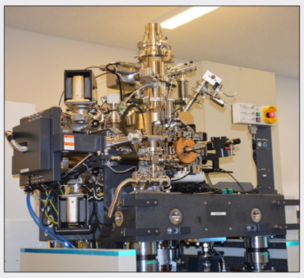
ما در مقیاس آزمایشـگاه ایـن کار را انجام دادیم. باید فاصله ایـن فوتون‌هـای درهم‌تنیده را بیشـتر کنیم. تلسـکوپ‌های خاصی بـرای این کار لازم اسـت. این تلسـکوپ‌ها را داریم آماده می‌کنیـم و گفته‌اند تا آخر سـال ممکن اسـت آزمایش در فاصله هفـت کیلومتر انجام شـود. تمام تلاش‌مـان را به کار بسـته‌ایم. بعد پانزده کیلومتـر می‌بریم و همین‌طـور قدم‌های بعد.
ولـی در حوزه ارتباطـات، دیگر شـریف مسـئول می‌شـود و در محاسـبات، IPM. ما هم کمک می‌کنیـم امـا آنها مسـئول می شـوند. در حسـگرها اصفهـان و در بایولـوژی، رویان مسـئول می‌شوند. ما مدیریت می‌کنیم. مثلا اگـر نیـاز باشـد هزینه‌ای بدهیم که دانشـجو بـه خارج از کشور برود یا آزمایشگاه را تکمیل کنیم یـا کمک‌های دیگـر. کار دیگری که انجام دادیم نوشـتن سیلابس درسی برای مقطع دکترا در فناوری کوانتومی برای سـال پیش رو در دانشـگاه صنعتی شریف و دانشکده فنی تهران است. یک سال است فوق لیسـانس شروع شده و دانشـگاه خاتم که غیـر انتفاعی اسـت روی آن سـرمایه‌گذاری کرده. با دانشگاهی در فرانسه هم قرارداد همکاری بسته است. ما آنها را تشـویق کردیم که در این حوزه وارد شوند و از پارسال شروع کردند. می‌خواهیم امسال دکترا را تحت این عنوان شروع کنیم. ما همه جوره داریم جلو می‌رویم. تکست و سیلابس آموزش می‌نویسیم. همه اینها را در عـرض هم جلو می‌بریم نه در طـول هم. اگر اول برویم آزمایـش انجام دهیم بعـد خوب یاد بگیریـم، هزاران مقاله بنویسـیم، بعد تکست بنویسـیم و بعد دانشجو بگیریم، تـا آن زمان خارجی‌ها جلـو می‌روند و صدها کیلومتـر از ما فاصله می‌گیرند. ما همه را با هم شـروع می‌کنیم. ممکن اسـت تکسـت ما ایده‌آل نباشد ولی شـروع خوبی است و ایده‌آل می‌شود. ویرایش و نسخه بعدی آن بهتر می‌شـود، مثل کاری که خود آنها انجام می‌دهند. دانشـجو می‌گیریم که زود نیروی انسـانی مورد نظر را تربیت کنیم. داریم آزمایشگاه‌ها را در داخل کشـور تجهیز می‌کنیم و رابطه با کشورهای خارجی را برقرار می‌کنیم تا بتوانیم با آنها همکاری داشته باشیم. خودمان هم داریم یک آزمایشگاه در حدی که نیاز باشد در سـازمان ایجاد می‌کنیم. در مجموع من وظیفه‌ام را این می‌بینم، همان‌طور که نانو در سطح کشور جا پیدا کرد و در دبیرسـتان‌ها و دانشـگاه‌ها جا بـاز کرد، این فناوری هم ان‌شاءالله عمومیت خواهدیافت. یعنی اگر فناوری کوانتومی برای یک دانش‌آموز هم خوب تبیین شود در همان دوران تحصیلی شروع به فکر کردن روی این موضوع می‌کند. وسایلی برای آزمایش‌های مرتبط با درهم‌تنیدگی داریم می‌سازیم و به دانشگاه‌ها هدیه خواهد شد تا این بحث به‌طور عملی مورد توجه ویژه قرار گیرد. هر کسی ممکن است در این راه نوآوری و ابتکار به خرج دهد. ما می‌خواهیم بخش وسیعی از جامعه علمی را درگیر این موضوع حساس و مهم کنیم.

در مجموع من وظیفه‌ام را این می‌بینم، همانطور که نانو در سطح کشور جا پیدا کرد و در دبیرستا ن‌ها و دانشگاه‌ها جا باز کرد، این فناوری هم انشاءالله عمومیت خواهدیافت

یک. این زمینه پژوهشـی همچنان در حال توسـعه اسـت ولی دنیا روز بـه روز به سـاخت رایانه کوانتومی نزدیک‌تر می‌شـود. در سـال ۲۰۱۱ کمپانی رایانه‌های کوانتومی D-Wave Systems، ادعا می‌کند که این پردازنده‌ها اولین رایانه‌های کوانتومی قابل خرید در جهان هستند. اما مطالعات نشان داد که تنها زیرمجموعه کوچکی از کیوبیت‌ها در حالت درهم‌تنیده قرار دارند. همچنین این پردازنده‌ها افزایش سرعتی که انتظار می‌رفت را نداشـتند. ناسا و گوگل لابراتوار هوش مصنوعی کوانتومی را با خرید D-Wave Two تشـکیل دادند تـا تحقیقات در این زمینه ادامه پیدا کند ولی همچنان نتیجه‌ای برای عموم از این لابراتوار بیرون نیامده است. محققان دانشگاه بریسـتول نیز یکی از پردازنده‌های قدیمی دو کیوبیتی خود را به اینترنت متصل نمودند تا مردم سراسـر جهان بتوانند برنامه‌نویسی کوانتومی را یاد بگیرند.

میکروسکوپ‌های با وضوح بالا

در سـال ۲۰۱۴ گروهـی از محققـان دانشـگاه هوکایدو ژاپـن، اولین میکروسـکوپ جهان را طراحـی کردند که با اسـتفاده از درهم‌تنیدگی قدرت آن چندبرابر شده بود. در این میکروسکوپ دو باریکه فوتون روی ماده تابیده می‌شـود و طرح تداخلی از روی باریکه‌های بازتاب‌شـده با میکروسکوپ مشاهده می‌شود. این طرح بسته به اینکه باریکه به سطح هموار یا غیرهموار برخورد کرده است، تغییر می‌کند.

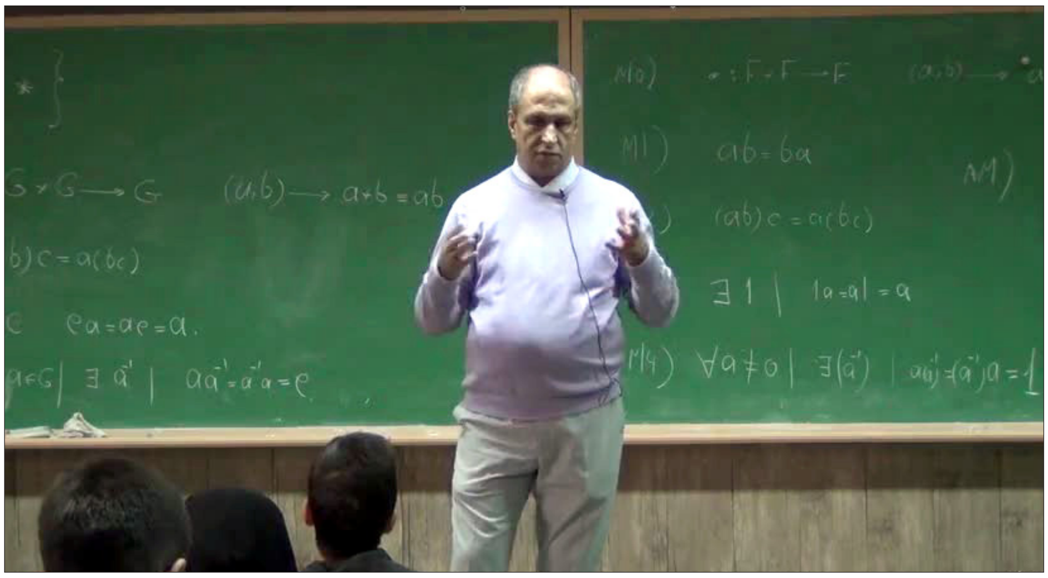


بـا اسـتفاده از فوتون‌های درهم‌تنیده اطلاعات طرح تداخلی که با میکروسکوپ جمع‌آوری می‌شود افزایش می‌یابـد کـه در نتیجـه آن وضـوح و دقـت تصویر بالا مـی‌رود. این گـروه ژاپنی موفق شـدند از حرف "Q" حکاکی‌شده که فقط حدود ۱۷ نانومتـر از زمینه بالاتر بود با وضوح بی‌سـابقه تصویربـرداری کنند. همیـن روش را می‌توان در مورد افزایش وضوح تصویر در تداخل‌سـنج‌های نجومی به کار برد. تداخل‌سنج‌ها برای مشاهده سـیارات فراخورشیدی و مطالعه در مورد ستاره‌های نزدیک‌شـان و همچنین برای جست‌وجوی امواج گرانشی به کار می‌روند.

قطب‌نماهای بیولوژیکی

بعضی پرندگان مثل سینه‌سرخ اروپایی از همان رفتار شبح‌وار درهم‌تنیدگی برای پیداکردن مسـیر خود در هنگام مهاجرت اسـتفاده می‌کنند. یک پروتئین حسـاس به نور به نام کریپتوکروم در چشـم ایـن پرندگان وجود دارد که شـاید شامل الکترون‌های درهم‌تنیده باشد. لحظه‌ای که فوتون وارد چشـم می‌شـود، به مولکول‌های ایـن پروتئین برخـورد می‌کند و انـرژی لازم برای تجزیه این مولکول و تشـکیل آن به دو مولکول رادیکال با الکترون‌های جفت‌نشـده ولی همچنان درهم‌تنیده را فراهم می‌کند. میدان مغناطیسی زمین تعیین می‌کند که چه مدت این رادیکال‌ها دوام می‌آورند. تصور می‌شود که سلول‌های شبکیه پرنده به این مولکول‌های درهم‌تنیده حسـاس است که به‌طور موثر باعث می‌شود پرنده یک نقشه مغناطیسی درک کند. البته این نظریه هنوز به‌طور کامل مورد تایید قرار نگرفته است و شاید گزینه‌های دیگر مثل وجود کریستال‌های حساس به میدان مغناطیسی در منقار باعث جهت‌یابـی پرندگان مـی‌گـردد. با ایـن حال اگر درهم‌تنیدگی در پیدا کردن جهت میدان مغناطیسـی برای پرندگان درست باشد، ایـن نظریـه را می‌تـوان به بعضـی مارمولک‌هـا، خرچنگ‌هـا، حشـرات و حتی بعضی پستانداران هم تعمیم داد.

سینه‌سـرخ اروپایـی یـک نمونـه درهم‌تنیدگی بیولوژیکی



دکتر کریمی‌پور* از نگاه خود به آزمایش در هم‌تنیدگی می‌گوید

یک گام رو به جلو؛ امیدها و نگرانی‌ها

یادداشت

این نوشته توضیحی است بر نوشته قبلی من با عنوان «چگونه از افتادن خود و کشور به چاه کوانتوم جلوگیری کنیم؟» سعی من آن است که با توجه به مکاتبه تفصیلی‌ام با کسی که آزمایش درهم‌تنیدگی فوتون‌ها را طراحی کرده و انجام داده است[1] و با مطالعه گزارش دقیقی که از آزمایش دیده‌ام، قضاوت قبلی خود را تصحیح کنم، و بر نگرانی‌هایی که همچنان به آنها معتقدم تاکید کنم. این نوشته به دو بخش امیدها و نگرانی‌ها تقسیم شده است.

امیدها

۱ اینکه سازمان انرژی اتمی، اگرچه با تاخیر متوجه اهمیت فناوری‌های کوانتومی شده و قصد حمایت از فعالیت‌های این رشته را دارد، یک گام مثبت در جهت پیشبرد فعالیت‌های پژوهشی این رشته در کشور است. اگرچه فعالیت‌های پژوهشی نظری در این رشته از هفده سال پیش در ایران آغاز شده ولی همراهی این پژوهش‌ها با فعالیت‌های تجربی آن چیزی است که دامنه و تاثیر پژوهش‌های انجام‌شده در ایران را در عرصه جهانی نمایان خواهد کرد. از این جهت ابتکاری که آقای دکتر صالحی در سازمان انرژی اتمی انجام داده‌اند این پتانسیل را دارد که به یک نقطه عطف در پژوهش‌های نوین علمی در کشور تبدیل شود. این کار البته لوازمی دارد که در پایان این نوشته به آن اشاره خواهم کرد.

۲ اگرچه نظر دقیق‌تر را متخصصان تجربه‌گر در حوزه اپتیک کوانتومی می‌توانند ارائه کنند، اما من با توجه به مکاتبه‌ای که به آن اشاره کردم و گزارشی که خوانده‌ام، به این قضاوت رسیده‌ام که آزمایش درهم‌تنیده کردن باریکه‌ای از فوتون‌ها واقعا در سازمان انجام شده است. بر جزییات نظری و تجربی این کار اشراف وجود داشته، و تست‌های لازم برای اثبات درهم‌تنیدگی به درستی انجام شده است و نتایج آن با تقریب قابل قبولی نشان‌دهنده درهم‌تنیدگی است.[2] شایان ذکر است که دقت علمی و تعهد حرفه‌ای آزمایشگر نیز قابل تحسین است چراکه در گزارش خود می‌نویسد: «اندازه‌گیری‌های انجام‌یافته فقط جنبه کیفی داشته و در حال حاضر امکان بررسی کمی و مقایسه آن با گزارش‌های فعلی دنیا به علت عدم وجود لیزر و ادوات اپتیکی مناسب وجود ندارد.» البته به نظر من نتایج به‌دست آمده تنها کیفی نیستند بلکه کمی هستند ولی میزان خطای آنها در حدود ۲۳ درصد است. به‌طور کلی این موفقیت تجربی برای جامعه پژوهشگران کشور در رشته اطلاعات کوانتومی یک پیشرفت قابل توجه است و در صورت همکاری‌های موثر نویدبخش نتایج بهتر و جدی‌تر در این حوزه است.

۳ باید اضافه کنم که برای اثبات ناموضعیت یا Non-Locality می‌بایست جهت اندازه‌گیری قطبش فوتون‌ها را با سرعت بسیار زیاد و به صورت تصادفی تغییر داد (به نحوی که هیچ علامت فوق نوری نتواند از یک دستگاه اندازه‌گیری به دستگاه دیگر برسد). این همان چیزی است که در نوشته اول خود به آن اشاره کرده بودم و در اولین آزمایش از این نوع در سال ۱۹۸۲ انجام شده. البته به این مسأله در آزمایش آقای صبح‌خیز توجه نشده ولی باید تاکید کنم که برای اثبات درهم‌تنیدگی چنین چیزی لازم نیست و همان تست‌های انجام‌شده با قطبش‌گرهای ثابت کفایت می‌کنند.

نگرانی‌ها

۱ آزمایش درهم‌تنیدن فوتون‌ها اگرچه برای اولین بار در ایران اتفاق می‌افتد (لااقل طبق اطلاعاتی که در دست است) ولی نخستین بار در سال‌های اولیه دهه ۸۰ میلادی یعنی بیش از ۵۰ سال قبل، استورات فریدمن و جان کلاوزر و سپس آلن اسپه، آن را انجام داده‌اند و تا به امروز بارها تکرار شده و توسعه یافته است به نحوی که امروزه تقریبا به صورت یک آزمایش درسی در آمده است. با یک جست‌وجوی ساده در یوتیوب (البته به کمک فیلترشکن!) می‌توان به موارد متعددی از فیلم‌های مرتبط به ایجاد درهم‌تنیدگی با عبور نور از کریستال‌های غیرخطی برخورد. البته این موضوع به این معنا نیست که ارزش آزمایش انجام‌شده در ایران کم است بلکه به این معناست که فاصله ما با کشورهای توسعه‌یافته، آنچنانکه گفته شده، سه سال نیست بلکه حداقل ۵۰ سال است. سه سال تنها فاصله آگاه شدن سیاستمداران ما نسبت به این علم از یک سو و ایجاد نقشه جامع فعالیت‌های اروپا با سرمایه‌گذاری میلیارد یورویی در این زمینه از سوی دیگر است. واضح است که به دلیل فقر فوق‌العاده زیرساخت‌های لازم در کشور ما این فاصله به صورت روزانه در حال افزایش است.

۲ در رسانه‌های ایران به تیترهایی برمی‌خوریم نظیر «ایران در آستانه کوانتوم» یا اینکه «دانشمندان ایرانی توانستند زمان ارسال اطلاعات به فضا را به صفر برسانند». اینها برداشت‌های نادرست رسانه‌ها از گفته‌های آقای دکتر صالحی است. گزاره اول یک گزاره تبلیغی ولی گزاره دوم یک گزاره علمی کاملا غلط است. هیچ فرایند کوانتومی، چه با درهم‌تنیدگی چه بدون آن، نمی‌تواند سرعت ارسال اطلاعات را از سرعت نور بیشتر کند. درهم‌تنیدگی آنچنانکه ادعا شده است به هیچ وجه به معنای ارسال اطلاعات از یک نقطه به نقطه دیگر نیست. تنها چیزی که می‌دانیم نوعی همبستگی بین نقاط دور از هم است. برای این گزاره‌ها اثبات‌های دقیق تحلیلی وجود دارد و آزمایش نیز تاکنون چیزی بیشتر از آن نشان نداده است. این گزاره‌های غلط و تاثیر ناگوار آن در جامعه محصول وقتی است که مسیر درست برای تبادل نظر علمی یعنی انتشار یافته‌ها در جامعه علمی را با مسیر رسانه‌ای جایگزین کنیم.

۳ سازمان انرژی اتمی ظاهرا علاقه‌مند است که خود را با پژوهش‌های حوزه اطلاعات کوانتومی در داخل کشور هماهنگ کرده و از آنها حمایت کند و شاید هم، مثل همین مورد اخیر، خود رأسا به پژوهش در این موضوع بپردازد. از اخبار منتشرشده در رسانه‌ها برمی‌آید که سازمان انرژی اتمی حتی علاقه‌مند است به عنوان متولی پژوهش در این حوزه شناخته شود. با توجه به امکانات گسترده سازمان، این علاقه‌مندی را می‌توان به فال نیک گرفت و از آن استقبال کرد. اما به نظر من برای پژوهشگران این رشته این خبر به همان اندازه که امیدوارکننده است نگران‌کننده نیز هست. دلیل آن هم روش حاکم بر این سازمان طی چند دهه گذشته است.

همکاری‌های علمی بین افراد فارغ از مرزهای سیاسی، مذهبی و ملی، از مشخصه‌های علم مدرن است. از طریق انتشار آزاد یافته‌ها به‌خصوص در محیط‌های علمی بین‌المللی است که پژوهش مورد نقادی قرار می‌گیرد، اشکالات آن برطرف می‌شود و راه برای پیشرفت باز می‌شود. از طریق مراوده و همکاری بین پژوهشگران و متخصصان است که دانش تخصصی به کشور راه می‌یابد، راه‌های نو به پژوهشگران ما آموخته می‌شود و آنها را از تکرار تجربه‌های کهنه بازمی‌دارد.

نگرانی اصلی این است که سازمان انرژی اتمی همچون گذشته پژوهش در این رشته را نیز با اموری چون اقتدار ملی پیوند داده و مجموعه پژوهشگران کشور را از برکات یک رابطه سازنده با دنیا محروم کند. این سازمان اگر می‌خواهد با علوم و فناوری نوین کوانتومی همگام شود، و اگر می‌خواهد که این همگامی با استقبال پژوهشگران این رشته روبه‌رو شود، می‌بایست آن بخش از فعالیت‌های خود را که به این موضوع مربوط است به صورت کاملا شفاف و با همکاری جامعه علمی بین‌المللی انجام دهد. اگر بخواهیم برای انتشار یک یافته در مورد درهم‌تنیدن دو فوتون آن هم با روش‌های قدیمی وسواس حفاظتی داشته باشیم و حال آنکه مقالات مربوط به روش درهم‌تنیدن همزمان ۱۸ فوتون در دسترس همگانی است[3] به این معناست که می‌خواهیم همان سیاست‌های گذشته را تکرار کنیم. در این صورت هم خود سازمان و هم کل کشور با اتلاف منابع عظیم مالی روبه‌رو خواهد شد، عرصه بر پژوهشگران دانشگاهی این رشته در داخل کشور تنگ شده، پیشرفت چندانی صورت نخواهد گرفت و ما به جای پیشرفت واقعی به توهم پیشرفت گرفتار خواهیم شد.

پی‌نوشت:

۱. این مکاتبه از طرف آقای نادر صبح‌خیز وایقان، دانش‌آموخته داخل کشور که مسئولیت انجام این آزمایش را به عهده داشته‌اند آغاز شده و ادامه یافته است و مطابق با گفته آقای صبح‌خیز اجازه انتشار نتایج این گفت‌وگو به ایشان داده شده است.

۲. برای زوج درهم‌تنیده کامل می‌بایست میزان نامساوی موسوم به CHSH مقدار ۲.۸۲ را به دست دهد. در آزمایش انجام‌شده این مقدار بین ۲.۱ و ۲.۲ متغیر است و خطایی در حدود ۲۳ درصد دارد. همین که این مقدار از ۲ بیشتر است نشانه خوبی برای درهم‌تنیدگی است به‌خصوص که در زوایایی که این عدد می‌بایست از دو کمتر باشد، آزمایش نیز مقداری کمتر از ۲ به دست داده است.

۳. https://arxiv.org/pdf/1801.04043.pdf

* استاد دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف

گفت‌وگو با دکتر جواد صالحی؛ استاد برق دانشگاه صنعتی شریف

یک قدم تا خالق

گفت‌وگو دکتر جواد صالحی استاد ممتاز دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف، فلوی IEEE، چهره ماندگار در مهندسی برق، جزو ۲۵۰ دانشمند برجسته جهانی در علوم کامپیوتر به انتخاب ISIHIGHLYCITED، عضو فرهنگستان علوم جهان اسلام و فرهنگستان علوم ایران است. او در زمینه مخابرات نوری و بی‌سیم تحقیق و پژوهش می کند و با همکاری تعدادی از استادان دانشگاه، به دنبال تأسیس یک پژوهشکده در دانشگاه برای فعالیت در زمینه علوم اطلاعات و فناوری‌های کوانتومی است. شور و شوق دکتر جواد صالحی هنگام بیان شگفتی‌های دنیای کوانتوم و کاربردهای آن در زندگی، از نکته‌های بارز گفت‌وگویی است که در ادامه می خوانید.

منظور از فناوری‌های کوانتومی چیست؟ پدیده‌های کوانتومی چه کاربردهایی برای بشر دارند؟

به نظر من در آفرینش کیهان، اطلاعات حرف اول را می‌زند. هر چیز مادی که در جهان وجود دارد، سخت‌افزاری به شمار می‌رود که یک برنامه نرم‌افزاری-محاسباتی را اجرا می کند. هر پدیده در فیزیک، شیمی، بیولوژی و... به نوعی پردازش و انتقال اطلاعات محسوب می گردد. یکی از دانشمندان مطرح به نام Seth Lloyd که در زمینه کوانتوم فعالیت می کند، در یک مقاله قدرت پردازش عالم را از مرتبه ده به توان ۱۲۰ محاسبه کرده که این پردازش روی ده به توان ۹۰ بیت انجام می‌شود!

در زبان کلاسیک، بیت فقط می تواند صفر یا یک باشد، ولی در زبان کوانتوم به دلیل برهم‌نهی یک بیت در آن واحد می‌تواند هم صفر باشد و هم یک. البته در اثر مشاهده بیت کوانتومی یکی از دو مقدار صفر یا یک را به خود می گیرد، یعنی واقعیت به مشاهده گر بستگی دارد و این یکی از عجایب کوانتوم است. یکی دیگر از عجایب کوانتوم مسأله ناموضعیت است. این اثر از درهم‌تنیدگی بین حالت دو ذره به وجود می آید، به این معنا که اگر حالت دو ذره در هم تنیده باشد و یکی از آنها در این سوی کیهان و دیگری در سمت دیگر کیهان باشد، اندازه گیری و آزمایش روی یکی از آنها بر دیگری هم به صورت آنی اثر می گذارد که با فیزیک کلاسیک در تناقض است.

یک کتاب معروف به اسم "Life on the Edge (Quantum Biology)" چاپ شده که در رابطه با کوانتوم و بیولوژی است. من در منزل مادرم مشغول مطالعه این کتاب بودم و اخوی بزرگوار بنده، دکتر علی‌اکبر صالحی، نیز آنجا بودند. برای ایشان در مورد این کتاب و فناوری‌های مهم وابسته به مفاهیم کوانتومی توضیح دادم. ایشان این کتاب را از بنده گرفتند و مطالعه دقیق و عمیقی کردند و از سال ۲۰۱۴ این موضوع مهم را در سطح کشور مطرح کرده‌اند.

پدیده‌های کوانتومی در کامپیوترهای محاسباتی، ارتباطات، رمزنگاری، بیولوژی، علم مواد و بسیاری زمینه‌های دیگر نقش ایفا می کند، در حقیقت می‌توان گفت در آفرینش کائنات کوانتوم مانند اطلاعات نقش بنیادین دارد.

اهمیت آزمایش انجام‌شده در سازمان انرژی اتمی چیست؟

عزیزان ما در آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی و در پژوهشکده لیزر توانسته‌اند فوتون‌های درهم‌تنیده را تولید و مشاهده کنند. این کار ابتدا در دهه هفتاد قرن بیستم در فرانسه انجام شد و از عمر آن ۴۰ سالی می گذرد، ولی فناوری پیشرفته‌ای نیاز دارد. در واقع نقطه آغازین فناوری کوانتومی اینجاست که شما بتوانید حالت‌های درهم‌تنیده تولید و نگهداری کنید و روی آنها اندازه‌گیری انجام دهید، زیرا این حالت‌ها به شدت ناپایدارند و به سرعت به حالت‌های کلاسیک فروپاشی می کنند. در دنیا حالت‌های درهم‌تنیده در فواصل چندین کیلومتر ایجاد شده‌اند، ولی ما در ایران فعلا قدم نخست را برداشته‌ایم. کشور چین در این زمینه پیشرو محسوب می‌شود و در سطح ماهواره‌ها این آزمایش را انجام داده است. ما قصد داریم با همکاری دانشکده‌های برق، فیزیک، ریاضیات و کامپیوتر یک مرکز برای فناوری‌ها و علوم کوانتوم و اطلاعات تأسیس کنیم.

کاربرد این پدیده در فناوری ارتباطی چه خواهد بود؟

انتقال اطلاعات از طریق حالت‌های کوانتومی در ذات خود یک نوع رمزنگاری دارد. در دنیای کلاسیک می‌توان از حالت یک سیستم کپی‌برداری کرد، ولی در دنیای کوانتوم این امر ممکن نیست، زیرا برای کپی‌برداری باید مشاهده و اندازه گیری انجام داد و در اثر مشاهده سیستم حالت کوانتومی خود را از دست می‌دهد و حالت کلاسیک به خود می گیرد. بنابراین کانال‌های ارتباطی که در آن بین دو نفر حالت‌های درهم‌تنیده کوانتومی به اشتراک گذاشته شده است، یک کانال امن به شمار می‌رود. البته تا ورود فناوری کوانتومی به زندگی روزمره فاصله زیادی داریم، ولی باید ما هم در کشور از الان شروع کنیم تا بتوانیم نقش‌آفرینی داشته باشیم.

نقش گروه‌ها و دانشکده‌هایی مثل دانشکده فیزیک دانشگاه در این زمینه چه خواهد بود؟

کوانتوم یک مبحث عمیق و دیرینه است که در دانشکده‌های فیزیک درس داده می‌شود. چیزی که الان مطرح شده کاربردهای آن در اطلاعات و محاسبه و ارتباطات است. ورود کوانتوم به فناوری‌های پیشرو مثل ارتباطات و اطلاعات نقطه هیجان‌انگیز ماجراست. الان در جهان اطلاعات حرف اول را می‌زند و کوانتوم این فناوری را متحول می کند. خوشبختانه در دانشکده‌های فیزیک و برق علاوه بر مباحث بنیادین کوانتوم، درس‌های کاربردی در زمینه اطلاعات و محاسبات کوانتومی ارائه می‌شود. در نتیجه دانشجویان علاوه بر آشنایی با مفاهیم بنیادین با کاربردهای آن در فناوری هم آشنا می‌شوند.

ما مشغول صحبت با سازمان انرژی اتمی هستیم تا دانشگاه شریف را به عنوان یک قطب بزرگ در زمینه فناوری‌های کوانتومی مطرح کنیم. در دانشگاه جمعی از نیروی انسانی جوان و با استعداد داریم که می‌توانند در این زمینه‌ها تحقیق و پژوهش کنند. اگر می خواهیم این علم و فناوری در ایران بومی شود، باید به دانشگاه بیاید و بچه‌های ما بتوانند هم به صورت تئوری این مباحث را آموزش ببینند و هم به صورت عملی آن را آزمایش و تجربه کنند تا بتوانند ایده‌های جدید را پرورش دهند و به فناوری تبدیل کنند، ثبت اختراع داشته باشند، مقاله علمی منتشر کنند و در نهایت یک چشمه جوشان علم و فناوری در این زمینه در کشور به وجود آید که همه از ثمرات آن بهره ببرند. ما جمعی از جوانان نخبه داریم که در لبه‌های علم تحقیق می کنند، جایی که به عقیده من مرز میان خالق و مخلوق است. چیستی علم از نظر من مرز مشترک خالق و مخلوق است، بنابراین علم مقدس است و تا سرحد الوهیت قابل تقدیس است. ما دوران بدی را پشت سر گذاشتیم که در نتیجه فساد حکومتی چند قرن اخیر عقب ماندیم، ولی الان در حال بازگشت به دوران درخشان خود هستیم و بچه‌های ما در سطح جهان کارهای بزرگی انجام می دهند.

> چیستی علم از نظر من مرز مشترک خالق و مخلوق است و خالق هنر و رمز و رموز خلقتش را از طریق علم به مخلوقش به نمایش می‌گذارد، بنابراین علم مقدس است و تا سرحد الوهیت قابل تقدیس است

برنامه عملیاتی و دورنمای ایران برای رشد و بومی‌سازی این فناوری چیست؟

علم مانند جنگ دو نوع است، نوع اول علم «آموزشی» است که مثل جنگ تدافعی است و نوع دیگر علم «پژوهشی» است که مانند جنگ تهاجمی است. علمی که از جنس تهاجمی است آرام و قرار ندارد و پیوسته می خواهد جلو برود. برای همین است که ما دوره دکتری داریم تا دانشجو از دانش قبلی خود برای پژوهش استفاده کند و به سرزمین ناشناخته‌ها قدم بگذارد. دانشگاه باید در آموزش قوی عمل کند، ولی هدف غایی دانشگاه نباید آموزش باشد و باید پژوهش را در روان و روح دانشجو نهادینه کند. در زمینه کوانتوم هم در اولین قدم باید آموزش قوی داشته باشیم که دانشکده‌های فیزیک این کار را انجام داده‌اند، ولی باید این دانش به دانشکده‌های برق و کامپیوتر و مواد و... ورود کند تا به سطح فناوری برسد. فیزیک پایه‌های بنیادین علم را فراهم می کند، ولی مهندسی آن را به فناوری می‌رساند. فیزیک مفاهیم کوانتوم را به مهندسی می‌دهد تا در تکنولوژی و کاربرد از آنها استفاده کند. صد سال از پیدایش کوانتوم می گذرد، ولی حدود بیست سال است که فناوری‌های کوانتومی مطرح شده‌اند. البته کوانتوم قبلا در تراشه‌های کامپیوتری و لیزر و... وارد فناوری شده بود، ولی اطلاعات کوانتومی به معنای پردازش و استفاده از حالت‌های کوانتومی برای اهداف محاسباتی و مخابراتی علم جدیدی است که به سرعت در حال پیشرفت است.

ما مشغول آماده کردن طرحی هستیم که دانشگاه به کمک سازمان انرژی اتمی یک مرکز در این زمینه تأسیس کند که بتواند دانشجوهای تحصیلات تکمیلی پذیرش کند. ولی باید قدم‌های بیشتری برداریم. ما حتما باید دانشکده‌ای در زمینه علوم زیستی داشته باشیم، چون در آینده علوم زیستی هم مثل کوانتوم نقش اساسی خواهد داشت و ترکیب این دو علم فناوری‌های آینده و فناوری‌های نوین را شکل خواهد داد. من امیدوارم تا چندماه آینده بتوانیم مجوز تأسیس این پژوهشکده را اخذ کنیم و بودجه مناسب هم از دولت و از طریق سازمان انرژی اتمی یا بنیاد نخبگان و... جذب نماییم. در این مرکز باید آزمایشگاه‌های پیشرفته داشته باشیم تا بتوانیم در این زمینه حرف برای گفتن داشته باشیم. انتظار آزمایشگاه در سطح دانشگاه‌های سطح اول جهان را نداریم، ولی حداقل‌ها را باید در اختیار ما بگذارند. اگر دولت در این زمینه حمایت نکند، بعدا جبران فاصله سخت خواهد بود. متاسفانه به دلیل نبود بیداری علمی در کشور، مسئولان ما با مسأله علم به طور عادی برخورد می کنند و احساس می کنند اگر بودجه هم تأمین نکنند، چیزی پیش نمی‌آید. در بدنه فرهنگ ما عشق به علم وجود دارد، ولی بیداری علمی در جامعه ما پدید نیامده است. به همین دلیل وقتی در سطوح مدیریتی قرار می گیریم، مسأله علم، مسأله دست چندم برایشان تلقی می‌شود. پایه‌های یک تمدن را علم شکل می‌دهد و پیشرفت علمی قدرت و ثروت می‌آورد، قدرت و ثروتی که پایدار خواهد بود. ما باید بیداری علمی را در جامعه ایجاد کنیم تا همه ارکان جامعه ما علمی تفکر کنند و علمی رفتار کنند تا بتوانیم توسعه و پیشرفت پایدار داشته باشیم. در سطوح بالای مدیریتی کشور باید علم مقدس به شمار آید، اگر اینگونه احساس و تفکری در بین مسئولان باشد، هنگام اختصاص بودجه به مسائل علمی و پژوهش کوتاه فکر نمی کنند. متأسفانه مسیر علمی کشور ما به سلایق افراد بستگی دارد و با تغییر یک فرد مسیر علمی کشور عوض می‌شود. این به خاطر نبود بیداری علمی است. اگر بیداری علمی در جامعه ما رسوخ کند، آن وقت چشمه‌های جوشان علم و فناوری جوشش می کنند و رودخانه‌های نیل را به راه می اندازند که باعث آبادانی و حاصل خیزی بیابان‌ها می‌شود. ما در فرهنگ و علم چشمه‌های بالقوه‌ای داریم که جوشش نکرده‌اند و فقط رگه‌هایی از آن بیرون زده است. شاید فکر کنید این چیزها فانتزی و خیالبافی است، ولی من خودم ۱۰ سال در یکی از بزرگ‌ترین مراکز تحقیقاتی آمریکا کار کرده‌ام و دیده‌ام که چنین مرکزی چگونه شکل می‌گیرد، سه عنصر مورد نیاز است: انسان‌های متفکر و تعلیم‌دیده و ساعی، بودجه حمایتی مناسب و مدیریتی که بتواند نقشه مسیر علمی را مشخص کند و نیروی انسانی و بودجه مادی را در راه درست هدایت نماید.

> ما حتما باید دانشکده‌ای در زمینه علوم زیستی داشته باشیم، چون در آینده علوم زیستی هم مثل کوانتوم نقش اساسی خواهد داشت و ترکیب این دو علم فناوری‌های آینده و فناوری‌های نوین را شکل خواهد داد

دکتر علیرضا بهرامپور از دنیای شگفت مکانیک کوانتومی و درهم‌تنیدگی می‌گوید:

اصولی با نتایج حیرت‌انگیز

ادامه از صفحه ۳

پدیده درهم‌تنیدگی از دهه هفتاد به بعد به روش‌های مختلف آزمایش شده و نشان داده که واقع‌گرایی موضعی نقض می‌شود. البته اشکالاتی هم به این آزمایش‌ها وارد کرده‌اند. یک اشکال این است که اگر دستگاه‌ها نزدیک و یا به نحوی با هم مرتبط باشند، احتمال آزمایش‌ها با یکدیگر همبسته است و نمی‌توان در مورد نامساوی بل اظهار نظر کرد. یک اشکال دیگر مربوط به آشکارسازها است. آشکارسازها راندمان کمتر از یك و جریان تاریك (نویز) دارند. راندمان آشکارسازهای نیمه‌رسانا بین ده تا سی درصد و آشکارسازهای ابر رسانا بیش از نود درصد است. ولی در سال‌های اخیر محققین با ارائه آزمایش‌های جدید گزارش کرده‌اند که این دو مشکل حل شده است و نامساوی بل با دقت خوبی نقض شده است. تعداد فتون‌های دو فیبر مثال سؤال قبل درهم‌تنیده‌اند. قبل از اندازه گیری، فتون در هر دو فیبر هم هست و هم نیست! بعد از اندازه گیری یکی از فتون‌ها حامل فتون و دیگری فاقد فتون است! این به این معنی نیست که قبل از اندازه گیری فتون یکی از این مسیرها را انتخاب کرده و ما با اندازه گیری آن مسیر را درك کرده‌ایم، بلکه به این معنی است که اندازه گیری است که به‌صورت تصادفی فتون را در یکی از این دو مسیر قرار می‌دهد! حتی اگر فیبرها کیلومترها از یکدیگر فاصله بگیرند.

تقریبا همه نتایج حیرت انگیز مکانیك کوانتومی ناشی از اصول اول و سوم آن است، اصل اول منطق جدیدی را تحمیل می کند و از اصل سوم نتیجه می گیرند که امکان کپی کردن حالات کوانتومی غیر معین ناممکن است. این نتیجه به قضیه عدم امکان کپی کردن حالات کوانتومی یا کپی ممنوع مشهور است و کاربردهای وسیعی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده است.

این پدیده‌ها کاربردهای فناوری مهمی نیز دارند. توزیع کلید مخابراتی امن بین کاربران یک شبکه ارتباطی یک نمونه از آن است. الان شرکت‌های مختلفی در سطح دنیا این دستگاه‌ها را تولید می کنند و می‌فروشند. پروتکل‌های فراوان توزیع کلید کوانتومی مانند ۹۲B. اکرت و پینك پونك را می‌توان نام برد که در طراحی آنها از برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی استفاده شده است. از جمله کاربردهای دیگر به حسگرهای کوانتمی، کامپیوترها و رادارهای کوانتومی می‌توان اشاره کرد که پارازیت روی آنها بسیار کمتر از رادارهای معمولی اثر می گذارد. از اندازه گیری‌های بسیار دقیق تا ارتباطات و...، فناوری کوانتومی نقش ایفا می کند و اثرگذار است.

وضعیت این فناوری در ایران چگونه است؟

مکانیک کوانتومی از سال‌ها قبل در ایران تدریس شده اما اطلاعات کوانتومی حدود بیست سالی است که وارد فضای علمی کشور شده است. بنده از سال ۸۴ اپتیک کوانتومی را که مبنای فناوری این پدیده‌ها محسوب می‌شود، ارائه داده‌ام، ولی متاسفانه امکانات آزمایشگاهی ما در این زمینه بسیار محدود است و نیاز به تجهیز و تکمیل آزمایشگاه‌ها داریم تا بتوانیم فارغ التحصیلان کارآمدی پرورش دهیم. البته شنیده‌ام در بعضی دانشگاه‌ها آزمایش‌هایی انجام می‌شود. گزارش اخیر سازمان انرژی اتمی ایران هم که همه از آن مطلع شده‌اند.

اگر بخواهیم این موضوع در کشور به شکوفایی برسد، نقش دانشگاه‌ها و سازمان‌ها و دولت و... چیست؟

اجازه دهید کمی در مورد نقاط عطف فناوری و نقش آنها در توسعه کشور صحبت کنیم. در تاریخ فناوری زمان‌هایی وجود دارد که یك فناوری جای خود را به فناوری جدید می‌دهد. مثلا در صنایع الکترونیك وقتی لامپ‌های دیود، تریود، پنتود و... جای خود را به قطعات نیمه هادی (ترانزیستور) می‌دهد، یکی از این نقاط عطف است. شناخت این نقاط عطف و رفتار مناسب کشورها می‌تواند نقطه عطفی در توسعه اقتصادی کشورها باشد. مثال‌های فراوانی برای این موضوع می‌توان مطرح کرد.

کره جنوبی یکی از مثال‌های مشهور در این زمینه است، وقتی که فناوری نمایشگرهای لامپ کاتودیك جای خود را به پلاسما، LED و... می‌داد این فرصت را دانشمندان و مهندسان و در نتیجه دولت کره جنوبی به خوبی تشخیص دادند. سپس با استفاده از این فرصت با یک برنامه‌ریزی جدی جایی برای خود در میان کشورهای توسعه‌یافته باز کردند. این نقاط در طول تاریخ فناوری کم نیستند، فناوری لیزر، فناوری فیبر نوری را می‌توان در شمار این نقاط پنداشت، اگرچه باید حساب و کتاب کرد لیکن به جرات می‌توان گفت که فناوری کوانتومی حال را به یکی از این نقاط تاریخی تبدیل کرده است، این فرصت را باید غنیمت شمرد و خیلی جدی گرفت.

بد نیست برای مقایسه، تاریخ لیزر و فیبر نوری کشور را برای شما بیان کنم. وقتی سال ۵۱ دانشجوی سال دوم بودم، برای کار به سازمان انرژی رفتم. آن موقع دانشگاه برای دانشجوها فرصت شغلی مهیا می‌کرد. دانشجویانی که مشکل مالی یا علاقه به کار داشتند، با مراجعه به دانشگاه می‌توانستند از وام‌ها یا فرصت‌های شغلی پیشنهادشده استفاده کنند. خود من از این طریق وارد سازمان انرژی اتمی شدم. آن زمان فناوری لیزر تازه معروف شده بود. یکی از مجلات علمی مقالاتی برای ساخت لیزر با وسایل در دسترس در همه جا چاپ می‌کرد. ما در سازمان انرژی اتمی از روی این مقالات لیزر می‌ساختیم، ولی این فناوری در ایران به رشد مطلوبی نرسید و به صنعت تبدیل نشد. از طرف دیگر در سال ۵۹ که در دانشگاه‌ها انقلاب فرهنگی اعلام شد، من در مرکز تحقیقات مخابرات دو پروژه در رابطه با فیبر نوری تعریف کردم. یک پروژه خرید فیبر نوری از خارج و برقراری ارتباط از طریق آن بین مرکز تحقیقات مخابرات و مرکز تلفن قدس و پروژه دیگر برای ساخت فیبر نوری بود. با شدت گرفتن جنگ من برای شرکت در برخی پروژه‌های موشکی این دو پروژه را رها کردم. سرانجام با انتقال تکنولوژی از خارج کارخانه ساخت فیبر نوری شکل گرفت، ولی بعدا متوجه شدیم که ساخت فیبر نوری در کشور اقتصادی نیست؛ بنابراین فاصله بین دانش و صنعت زیاد است و صرف توانایی ساخت یک محصول به معنای داشتن صنعت آن نیست. متأسفانه در دانشگاه این ذهنیت القا می‌شود که با این دانش شما صاحب صنعت شده‌اید، در حالی که مراحل مختلفی برای رسیدن از دانش به صنعت باید طی شود. این بدان معنی نیست که فارغ‌التحصیلان ما توانایی ندارند یا اینکه برای حل مشکلات کشور مناسب نیستند، خیر! باید یادمان باشد که دانشجویان و دانشمندان هر کشوری ثروت‌های واقعی بالقوه آن کشور هستند، برای به فعل در آوردن این ثروت ملی باید سیستمی علمی ایجاد کرد، زیرا در این راه به مجموعه‌ای از دانش‌های مختلف و پول نیاز است که در یك فرد کمتر امکان جمع شدن آنها وجود دارد. یادمان باشد همیشه وقتی به این مشکل رسیدیم راه حل را در تأسیس دفتر ارتباط با صنعت دیدیم! اگرچه شاید لازم باشد اما تجربه نشان داده که کافی نیست. باید دانشگاه‌های ما از آموزش و محاسبات صرف خارج شوند که لازمه آن تغییر روش‌های آموزشی و در اختیار داشتن آزمایشگاه‌های مجهز است. باید دانشجویان ما در دانشگاه روش‌ها و آزمایش‌های تجربی را بیاموزند تا بتوانیم از فارغ التحصیلان خود انتظار حل مشکلات را داشته باشیم. فارغ التحصیلان ما باید توانایی ایجاد شغل و کارآفرینی برای خود و دیگران را داشته باشند. برای رسیدن به این هدف، باید استادان ما توانایی تبدیل دانش به صنعت را در یک بستر جمعی داشته باشند و نگاهشان به دانشجوهای تحصیلات تکمیلی و به خصوص دانشجوی دکتری به عنوان همکار باشد، استاد باید طبق نیاز خود دانشجویی با مشخصات مطلوب را پذیرش نماید و به عنوان همکار، هزینه‌های تحصیلی او را پرداخت نماید. اگر قرار است به توسعه و پیشرفت برسیم، این راه که در پیش گرفته‌ایم ما را به مقصد نمی‌رساند. بعضی از علوم نفعشان کوتاه‌مدت یا مستقیم نیست مانند ریاضیات محض، فیزیك محض و... هزینه تحقیق و توسعه در اینگونه رشته‌ها به عهده دولت است، به عنوان مثال مبانی مکانیك کوانتومی در شمار علوم محض است. اگر چه بار تجربی هم دارند اما هزینه‌های این حوزه را دولت باید بپذیرد.

> **شناخت نقاط عطف و رفتار مناسب کشورها می‌تواند نقطه عطفی در توسعه اقتصادی‌شان باشد. کره جنوبی یکی از مثال‌های مشهور در این زمینه است. وقتی که فناوری نمایشگرهای لامپ کاتودیك جای خود را به پلاسما، LED و... می‌داد این فرصت را دانشمندان و مهندسان و در نتیجه دولت کره جنوبی به خوبی تشخیص دادند. سپس با استفاده از این فرصت با یک برنامه‌ریزی جدی جایی برای خود در میان کشورهای توسعه‌یافته باز کردند**

اکنون به دلیل نوپا بودن فناوری کوانتومی، رقابت در این زمینه با دنیا راحت‌تر است. کوانتوم شاخه‌ای است که لازم نیست زیاد دنبال دنیا بدویم. اگر قرار باشد دنبال دنیا بدویم، جبران فاصله امکان‌پذیر نیست. مثلا چین سال گذشته مخابرات کوانتومی را در فاصله ۲۰۰۰ کیلومتر آزمایش کرده و امسال بین کشور خود و اتریش این کار را انجام داده است. ما باید از راه میانبر استفاده کنیم که نیازمند همت ملی است. دانشگاه باید علاوه بر تربیت نیروی متخصص، تا مرحله شکل گیری شرکت‌های دانش‌بنیان حمایت کند. نقش دولت تسهیل این فرآیند است؛ بودجه فعلی دانشگاه‌ها فقط جوابگوی حقوق و دستمزد است. تاسیس و تجهیز آزمایشگاه‌ها باید به صورت جدی دنبال شود. همچنین راه‌های سالم و بدون فساد برای شکل گیری و رشد آسان شرکت‌های دانش‌بنیان در نظر گرفته شود.

دانشگاه ما در این حوزه چه کاری انجام می‌دهد؟

ما از سال ۱۳۹۳ یک مرکز تحقیقات مهندسی کوانتومی و فتونیک تأسیس کرده‌ایم که در آن فارغ التحصیلان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی مشغول فعالیت هستند. در این مرکز سعی می کنیم بودجه را از طریق پروژه‌ها و کارهایی که انجام می‌دهیم، تأمین کنیم و از بودجه دانشگاه استفاده نکنیم چراکه به عقیده من وقتی از بودجه‌های دولتی زیاد استفاده شود، دلیلی برای انجام کار خوب نداریم و عافیت‌طلب می‌شویم.

دانشگاه صنعتی شریف
• مدیرمسئول: **محسن رستمی** • سردبیر: **محمدصالح انصاری**
• تحریریه: **رضا کاردررستمی، حسین رجبی، امین محمدی، محمدصالح سلطانی، مرتضی محمودی، عمادالدین کریمیان، ابوذر تمسکی، سحر بختیاری، محمد جوانمرد، صالح رستمی، نوید حسینی، محمد فلاحی، سید حسین علوی، هاتف محقق، محمدحسین هوائی، آرمان پورزین‌العابدین، حسین شاهرخی و اسماعیل قاسمی**
• مدیرفنی و هنری: **سامان موحدی** • سرویس عکس: **علی‌سینا اسلامی** • صفحه‌آرا: **سیدسبحان علی ثابت** • ناظر چاپ: **وحیدملک** • ویراستار: **مریم پورعسکری** • مدیر اجرایی: **صابر حشمتیان** • مدیر داخلی: **سیمین آبادی**

تلفن: ۶۶۱۶۶۰۰۶
daily@sharif.ir
آدرس: دانشگاه صنعتی شریف، جنب معاونت پژوهش و فناوری، طبقهٔ منفی یک