ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر
مواد پیشرفته و ساخت

ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

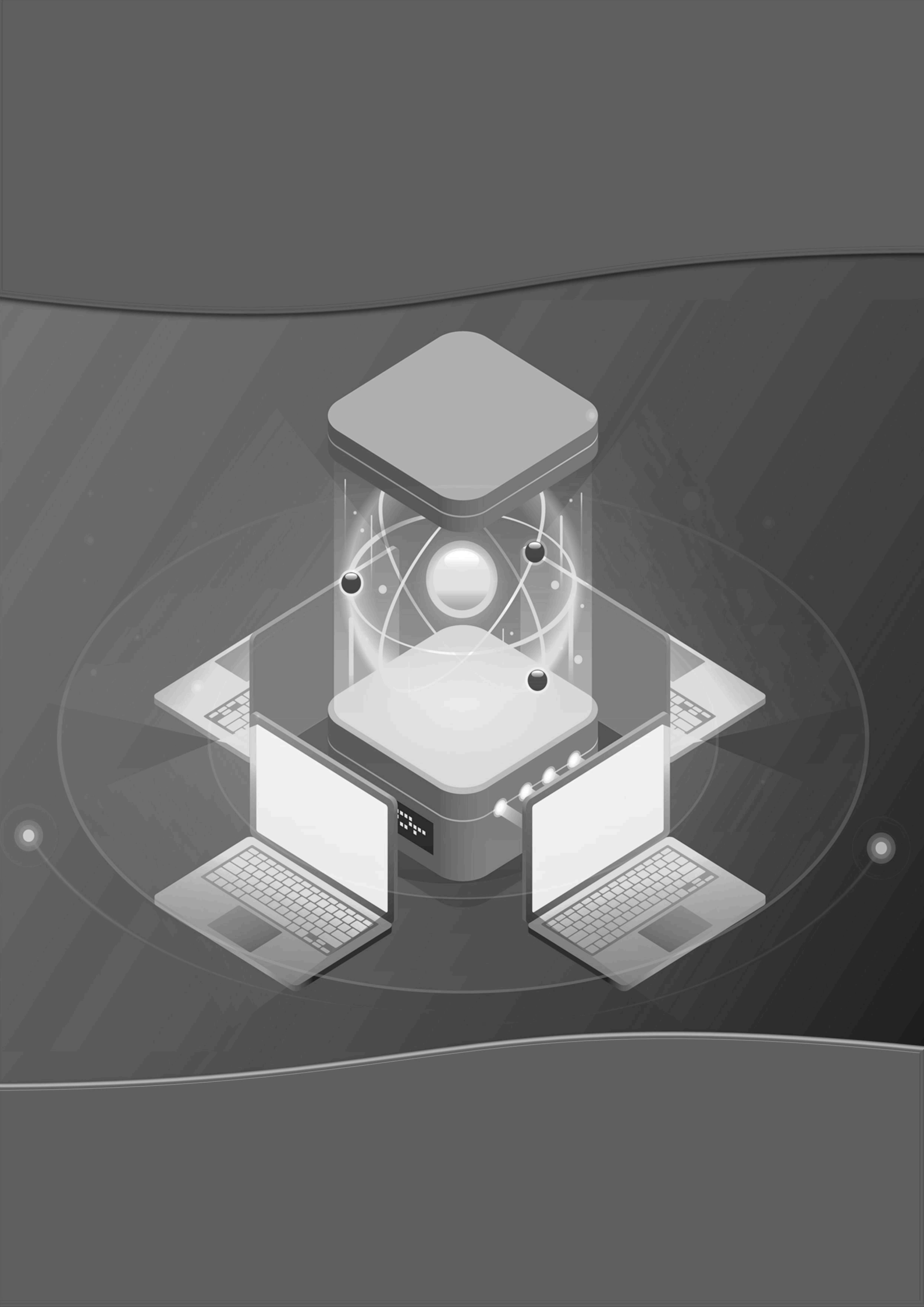
سال اول. شماره ۴. اسفند ۱۳۹۸

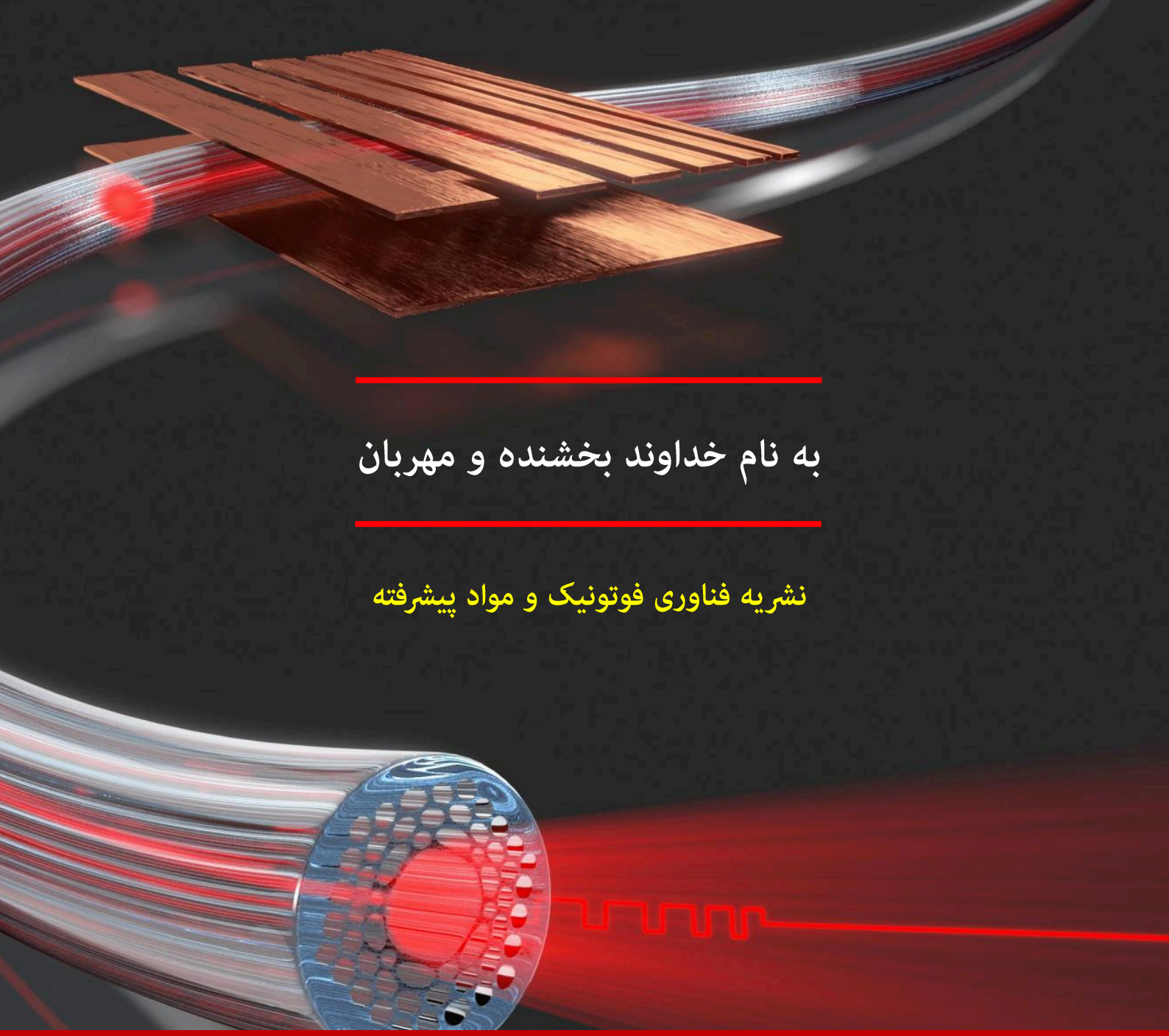
گفتگوی اختصاصی
با رئیس
مرکز فناوری‌های کوانتومی

نقاط کوانتومی کربنی
در حسگرهای دارویی
و آنالیزهای شیمیایی

آینده‌ای روشن
برای
لیزرهای کوانتومی

تقسیم یک فوتون
به ۳ فوتون
برای اولین بار





به نام خداوند بخشنده و مهربان

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

صاحب امتیاز: ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

مدیر مسئول و سردبیر: محمدحسین مجلس‌آرا

جانشین سردبیر: بابک عفافی

ویراستار و ناظر علمی: سیده ثریا موسوی

تحریریه: سیامک میرزازاده، زینب ملکشاهی، مهرناز سیم‌دار، فائزه جدیدی علی معتضدی، سیده ثریا موسوی، بابک عفافی

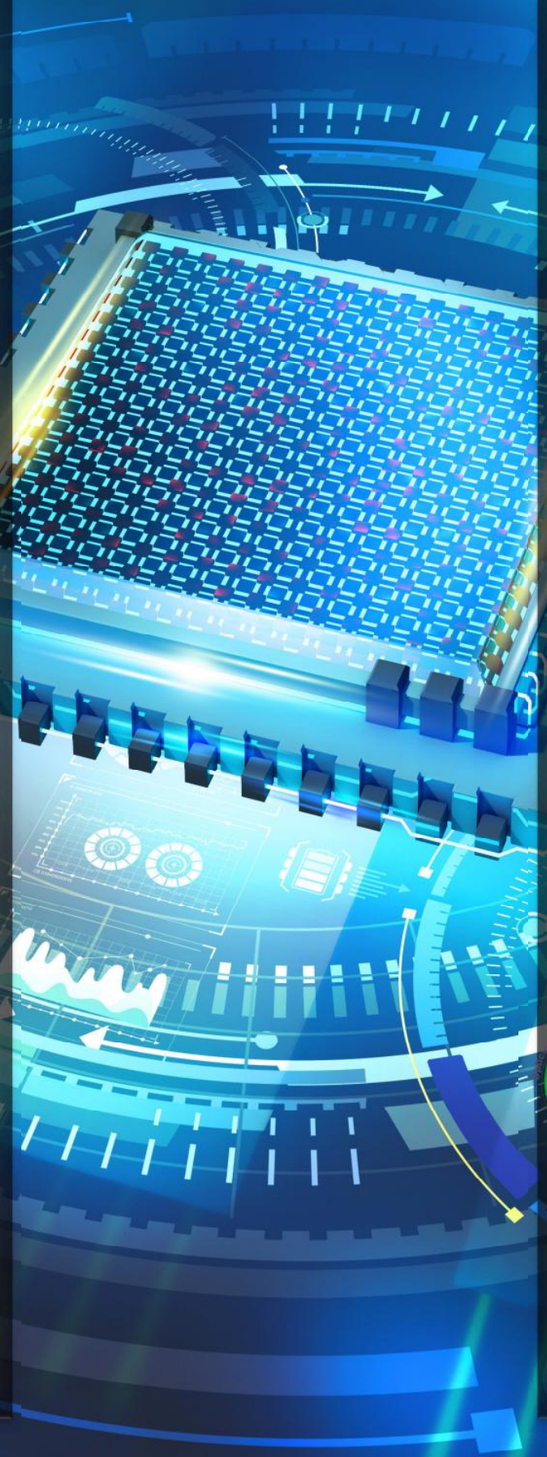
روابط عمومی: کیوان حصاری

طرح روی جلد و صفحه آرایی: بابک عفافی

گروه مشاورین: آرین گودرزی، محمدجعفر نظری، مریم بهرامی کهیش‌نژاد، زهرا عربگل، سید حسین نکومنش‌فرد، سید محمد قریشی
پشتیبانی: کیومرث مهدی‌نیا گتابی

با همکاری انجمن اپتیک و فوتونیک ایران

تارنما: pam.isti.ir
پست الکترونیک سردبیر: deputy@pam.isti.ir
پست الکترونیک جانشین سردبیر: babak.efafi@gmail.com
تلفن: ۰۲۱۲۲۱۸۳۱۱۳
نشانی: تهران، خیابان زعفرانیه، خیابان شهید سرلشکر فلاحی، کوچه شیرکوه، پلاک ۱۱، ساختمان شماره دو معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری



سخن سردبیر

کوانتوم واژه‌ای آشنا برای بشر هزاره سوم است. جهان امروز مسحور آینده‌ای است که کوانتوم پیش رویش به تصویر کشیده است! بی‌شک شما نیز تاکنون مطالب زیادی را در ارتباط با علوم کوانتومی دیده و شنیده‌اید و صحبت از مبانی آن شاید قدری تکراری باشد. اما بهره‌گیری عملی از نظریه‌های محض کوانتومی و ورود این علم به حوزه‌های فناوری یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورهای صنعتی و پیشرفته دنیا است. اهمیت دستیابی به این فناوری و توسعه آن به قدری است که در سال‌های اخیر اتحادیه اروپا بیش از ۱ میلیارد دلار صرف سرمایه‌گذاری این حوزه منحصر به فرد کرده و بر آن است که طی یک برنامه بلند مدت ۱۰ ساله گام بزرگی در جهت توسعه فناوری‌های کوانتومی بردارد.

اگر بدانیم در سال‌های آینده برای حفظ امنیت اطلاعات در زمان تبادل آن‌ها، راهی جز استفاده از فناوری‌های کوانتومی از طریق رمزنگاری اطلاعات وجود ندارد، بیش از پیش به اهمیت بهره‌گیری از فناوری‌های کوانتومی پی می‌بریم. در همین راستا کشورهای صنعتی با اهداف استراتژیک از پیش تعیین شده در این عرصه قدم گذاشته و با سرعتی باور نکردنی در حال فراهم کردن زیرساخت‌های لازم جهت تولید محصولات کوانتومی هستند. با رشد و توسعه این فناوری، تقریبا تمام صنایع موجود ناگزیر به ایجاد تحول در شیوه تولید محصولات خود خواهند بود.

تولید کامپیوترهای کوانتومی با قدرت پردازشی به اندازه مغز انسان، ارتقا هوش مصنوعی و ساخت مغز مصنوعی در حوزه پزشکی، افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها در حدود کوانتومی، تولید ساعت‌های اتمی و انجام شبیه‌سازی‌های بسیار دقیق مواد پیشرفته، تنها بخشی از دست‌آوردهای این حوزه جذاب در سال‌های آینده خواهد بود. این فناوری انقلابی شگرف در حریم خصوصی زندگی دیجیتال بشر ایجاد خواهد نمود و با رمزنگاری غیرقابل هک اطلاعات، دسترسی به حریم شخصی افراد را غیرممکن خواهد ساخت.

لذا با توجه به موارد مذکور، لزوم ورود به حوزه فناوری کوانتومی بیش‌تر از هر زمان دیگری احساس می‌شود و لازم است فناوران کشور ما همگام با سایر کشورهای دنیا در این جهت گام بردارند تا ضمن بهره‌گیری از تمام ظرفیت‌های موجود هرچه سریع‌تر به این حوزه استراتژیک ورود نمایند. در آینده‌ای نه چندان دور حفظ امنیت کشورها در گرو توسعه این فناوری خواهد بود. امروزه که ابر قدرت‌های دنیا، به جای جنگ‌های فیزیکی در حال جایگزین نمودن سلاح‌های بیولوژیکی همچون کرونا هستند، برای حفظ نیروی کار و ادامه راه توسعه کشور چاره‌ای جز دستیابی به پیشرفته‌ترین فناوری‌ها وجود ندارد. به لطف پروردگار، امید است همچون گذشته بتوانیم با بهره‌گیری از ظرفیت‌های علمی موجود در داخل کشور و ارتقا دانش فنی خود، ضمن هم‌افزایی هرچه بیشتر، در این عرصه نیز محصولات دانش‌بنیان را برای کشور به ارمغان آوریم.

فهرست مطالب

اخبار فناوری

اخبار فناوری داخلی----------۸
کاهش اصطکاک ماشین‌های صنعتی با روانکارهای نقاط کوانتومی کربنی
بکارگیری نقاط کوانتومی در تشخیص سرطان
حذف مواد سمی آب با استفاده از فوتوکاتالیست‌ها و دانش کوانتومی
نقاط کوانتومی کربنی در حسگرهای دارویی و آنالیزهای شیمیایی
اخبار فناوری خارجی----------۱۲
کشت محصولات کشاورزی در فضا با استفاده از نقاط کوانتومی
ساخت نمایشگرهای نقطه کوانتومی با کارایی بالاتر، بدون فلزات سنگین
آشکارسازی فروسرخ با حسگرهای نقطه کوانتومی
بیشترین دقت در اندازه‌گیری انرژی با آشکارساز کوانتومی
اخبار علمی----------۱۸
ترابرد الکترون‌ها بین نقاط کوانتمی به کمک مدلسازی کامپیوتری
جایزه جهانی به پژوهشگران ایرانی برای درک گرانش کوانتومی

دورنما

کوانتوم از علم تا عمل!----------۲۰
رایانه‌های کوانتومی، حسگرهای کوانتومی، لیزرهای کوانتومی و ساعت‌های اتمی

آموزش کاربردی

معرفی نرم‌افزارهای کاربردی در زمینه شبیه‌سازی کوانتومی ----------۳۴
برنامه شبیه‌سازی Quantum ESPRESSO
نرم‌افزار QuTiP
مدل‌ساز APSYS
نرم‌افزار quantumATK

گفتگو

مصاحبه اختصاصی با رئیس مرکز فناوری‌های کوانتومی ایران و ارائه گزارش عملکرد-----۴۰
گزارش تصویری از مرکز فناوری‌های کوانتومی و جدیدترین ستاپ‌های آزمایشگاهی این مرکز-------۵۰

از علم تا ثروت

نقاط کوانتومی کربنی، از تولید به مصرف!----------۵۴
روانکارهای کوانتومی
پلاسمونیک کوانتومی
سلول‌های خورشیدی

نوآورانه

آینده‌ای روشن برای لیزرهای نقطه کوانتومی----------۶۴
تولید دیود لیزری نقطه کوانتومی با پمپاژ نوری LED نقطه کوانتومی
امید به استفاده از لیزرهای نقطه کوانتومی در مدارهای یکپارچه فوتونیک
لیزرهای مورد استفاده در انتقال داده‌های نوری توسط شرکت آلمانی اینولوم

دروازه‌های علم

مولکول‌ها ابزار طراحی بر روی مواد کوانتومی! ----------۷۴
تغییر مشخصه‌های یک سطح با استفاده از مولکول‌های حلقوی توسط محققان کانادایی
تقسیم یک فوتون به ۳ فوتون----------۸۰
محققان برای اولین بار موفق شدند یک فوتون را به سه فوتون تقسیم کنند!

کاهش اصطکاک ماشین‌های صنعتی با روانکارهای نقطه کوانتومی کربنی ایرانی

کشت محصولات کشاورزی در فضا با استفاده از نقاط کوانتومی

ساخت نمایشگرهای نقطه کوانتومی با کارایی بالاتر، بدون فلزات سنگین

بکارگیری نقاط کوانتومی در تشخیص سرطان توسط پژوهشگران ایرانی

حذف مواد سمی آب با استفاده از فوتوکاتالیست‌ها و دانش کوانتومی

اخبار داخلی

به قلم مهرناز سیم‌دار
mehrnaz.simdar@gmail.com

کاهش اصطکاک ماشین‌های صنعتی با روانکارهای نقاط کوانتومی کربنی

شرکت «شیمی صنعت رشد سهند» مستقر در مرکز فناوری‌های پیشرفته دانشگاه شهید مدنی یکی از تولیدکنندگان نقاط کوانتومی کربنی در کشور است. نقاط کوانتومی پایه کربنی علاوه بر ویژگی فلورسانسی دارای ویژگی‌هایی مانند هدایت حرارتی و الکتریکی بالا و خواص نوری قوی‌تری است.

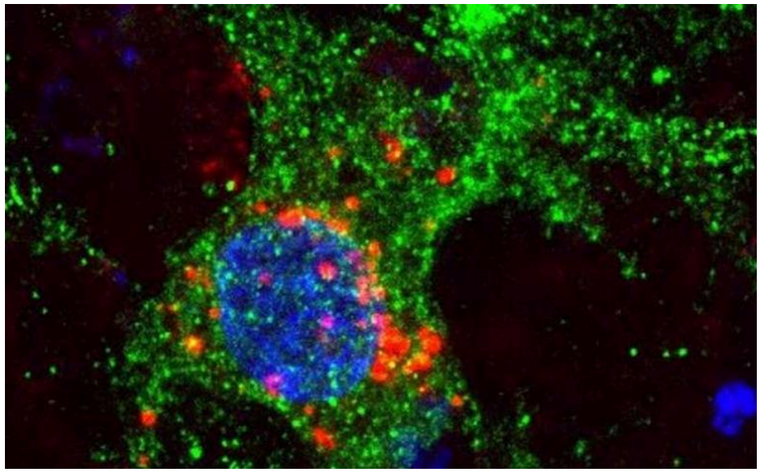
این ویژگی‌ها باعث کاربرد گسترده این محصول در علوم بین رشته‌ای مانند پزشکی و تصویربرداری، فیزیک، شیمی و الکترونیک شده است. این شرکت به دنبال ورود این نانوماده به صنعت بوده، از این رو اقدام به تولید محصولاتی با استفاده از این نقاط کوانتومی کرده است که روانکار دستگاه‌های مکانیکی یکی از این مصادیق صنعتی‌سازی نقاط کوانتومی کربنی است و به گفته آن‌ها این روانکار موجب کاهش اصطکاک قطعات ماشین‌های صنعتی خواهد شد.

این شرکت از نقاط کوانتومی کربنی برای ایجاد ویژگی انتقال حرارتی بالا در روانکارهای صنعتی استفاده کرده که موجب کاهش اصطکاک قطعات ماشین‌های صنعتی شده است. این محصول بخش زیادی از مشکلات مربوط به دستگاه‌های ماشین‌کاری را برطرف کرده و از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی نیز شرایط مناسبی را برای مصرف‌کننده فراهم می‌کند.

این روانکار دچار فساد و بوگرفتگی نمی‌شود و به دلیل فرمولاسیون خاص، هیچ نوع باکتری توان رشد در این محیط را ندارد. همچنین طول عمر این روانکار یک سال برآورد شده است، در حالی که اکثر روانکارهای موجود در بازار طول عمر کمتر از دو ماه دارند.

دکتر اشکان شمالی مدیرعامل شرکت شیمی صنعت رشد سهند درباره تاریخچه تولید نقاط کوانتومی کربنی می‌گوید: «چند سال قبل تولید نیمه‌صنعتی نقاط کوانتومی کربن را آغاز کردیم اما به دلیل ناشناخته بودن این نانومواد در صنعت، بیشتر فروش ما به دانشگاه‌ها و استفاده‌های پژوهشی محدود بود. در ابتدا ما روزانه ۱۵ کیلوگرم تولید داشتیم که البته با توجه به ارزش بالای نقاط کوانتومی کربنی، این حجم تولید نیز صنعتی محسوب می‌شد. در سال ۱۳۹۷ موفق به دریافت گواهی نانومقیاس شدیم و با کمک این گواهی‌نامه برای دانش‌بنیان شدن اقدام کردیم. در ادامه از صندوق نوآوری و شکوفایی حمایت مالی برای طراحی و ساخت راکتور صنعتی دریافت کردیم و در حال حاضر راکتوری با ظرفیت تولید روزانه ۴۰۰ کیلوگرم نقاط کوانتومی کربنی داریم. با شرایط فعلی ماهانه دو تن نقاط کوانتومی تولید می‌کنیم».

شرح این خبر را می‌توانید در بخش از علم تا ثروت مطالعه نمایید.



بکارگیری نقاط کوانتومی در تشخیص سرطان

پژوهشگرانی از دانشگاه کرمان با همکاری پژوهشگرانی از چین و آمریکا موفق شدند از نقاط کوانتومی کربنی، سنتز شده به روش هیدروترمال تک مرحله‌ای، برای نشانه‌گذاری سلول‌های سرطانی استفاده کنند.

سرطان یکی از شایع ترین بیماری‌هایی است که امروزه طیف وسیعی از افراد جامعه را درگیر کرده است. روش های متداول کنونی در درمان این بیماری شامل شیمی درمانی و اشعه درمانی هستند که در آن‌ها بافت‌های سالم اطراف تومور نیز آسیب خواهند دید. به همین دلیل استفاده از روش‌هایی که کمتر تهاجمی باشد، بسیار مورد توجه است. یکی از این روش‌های نوین، به کارگیری نانوذرات نقاط کوانتومی به منظور ردیابی و تصویربرداری توده‌های سرطانی است. امکان تابش در طول موج‌های دلخواه، نقاط کوانتومی را به ابزاری کارآمد برای نشانه‌گذاری و تصویربرداری از سلول‌های موجودات زنده تبدیل کرده است. می‌توان نقاط کوانتومی را به انتهای بیومولکول‌های بزرگ متصل کرد و از آنها برای شناسایی و ردیابی بیماری‌های درون بدن موجودات زنده استفاده کرد.

پژوهشگران ایرانی در روشی نوین با بیان اینکه تغییرات مولکول‌های RNA در بدن موجودات زنده زنده با انواع سرطان، مراحل رشد تومور و پاسخ به درمان ارتباط دارد، توانستند از نقش مولکول‌های میکرو-RNA در بروز سرطان، به عنوان نشانگر در تشخیص این بیماری بهره گیرند. با این حال، مطالعه دقیق این مولکول به دلیل ویژگی‌هایی از جمله طول دنباله جزئی آن‌ها، فراوانی کم و تخریب شدن در حین بررسی دشوار است. برای نشانه‌گذاری این مولکول‌ها از روش‌های متفاوتی استفاده می‌شود اما بیشتر آن‌ها در محیط‌های همگن پاسخ می‌دهند. پیش از این از مولکول‌های رنگی برای این کار استفاده می‌شد که تنوع کمتری نسبت به نقاط کوانتومی از نظر رنگ دارند، مدت زمان تابش آن‌ها کوتاه است، باعث اختلال در فعالیت سلول‌های زنده می‌شوند و برای به‌کارگیری در درون بدن موجودات زنده مناسب نیستند. نقاط کوانتومی کربنی استفاده شده توسط این گروه پژوهشی به دلیل خواص منحصربفردی که دارد می‌تواند جایگزین خوبی برای مواد فلورسنت باشد. هزینه کم، سازگاری با بدن، نشان دادن اثرات کوانتومی قوی، سمیت کم، مدت زمان تابش طولانی‌تر و مقاومت در برابر سفید شدن از جمله ویژگی‌های مهم این نقاط کربنی است.

این پژوهشگران نتایج کار خود را در نشریه Microchimica Acta به چاپ رسانند.

نتایج کار این پژوهشگران در مجله Nanotechnology به چاپ رسیده است.

حذف مواد سمی آب با استفاده از فوتوکاتالیست‌ها و دانش کوانتومی

ماده رنگی آزو یکی از انواع مواد رنگی طبیعی است که کاربرد فراوانی در صنایع مختلف دارد. بیش از ۶۰ تا ۷۰ درصد از تولید سالانه رنگ‌های صنعتی متعلق به آزو است. در سال‌های اخیر، پیشرفت سریع صنایع به خصوص صنایع نساجی و ابریشم‌بافی منجر به تخلیه حجم بالای فاضلاب سمی به منابع آبی مانند آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و منابع آب آشامیدنی شده است که در این بین حدود ۱۷ تا ۲۰ درصد آلودگی آب‌ها متعلق به رنگ‌های صنعتی است. یکی از روش‌های تصفیه فاضلاب‌ها استفاده از مواد فوتوکاتالیست است.

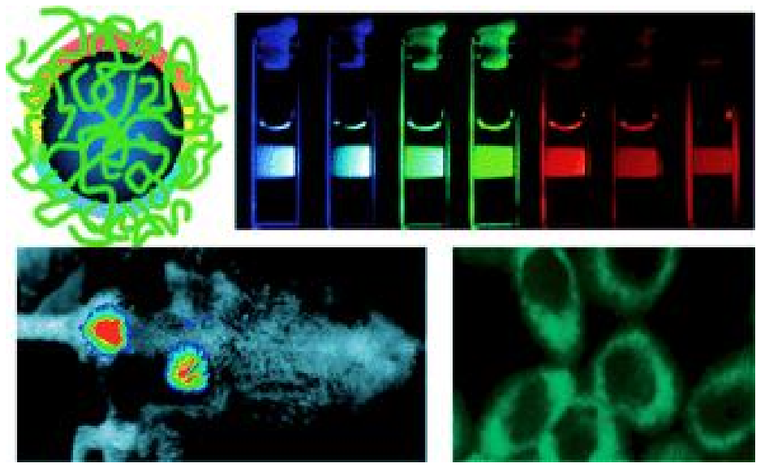
فوتوکاتالیست ماده‌ای است که با جذب نور باعث ایجاد یک واکنش شیمیایی در محیط می‌شود. وقتی اشعه فرابنفش موجود در نور خورشید یا لامپ UV به سطحی حاوی فوتوکاتالیست برخورد می‌کند، مواد آلی اطراف آن اکسید شده و از بین می‌رود. به این ترتیب گرد و غبار، بوی نامطلوب و باکتری‌ها حذف می‌شوند و خاصیت خودپاک‌کنندگی بوجود می‌آید. توسعه سریع روش‌های تولید نانوذرات موجب پدید آمدن انواع مواد نیم‌رسانا شده است که نسبت سطح به حجم بالایی دارند و بسته به اندازه ذراتشان اثرات کوانتومی از خود بروز می‌دهند. هنگامی که انرژی نور تابیده شده به مواد نیم‌رسانا بیشتر یا به اندازه گاف انرژی آنها باشد، جابه‌جایی الکترون و حفره در بین نوار رسانش و ظرفیت می‌تواند یک رادیکال آزاد بوجود آورد و عمل اکسیداسیون صورت گیرد. در بین مواد نیم‌رسانا، اکسید تیتانیوم به دلیل ارزان و غیر سمی بودن به صورت گسترده در ساخت فوتوکاتالیست‌ها استفاده می‌شود. اگرچه نقاط ضعفی که دارد استفاده بهینه از آن را برای مصارف فوتوکاتالیستی مشکل می‌سازد. نقاط ضعفی مانند نرخ بازترکیب بالا و گاف انرژی پهن که باعث می‌شود این ماده تنها با اشعه فرابنفش تحریک شود. پژوهشگران دانشگاه کاشان با استفاده از نقاط کوانتومی کربنی توانستند این مشکلات را برطرف نمایند و حتی در محدوده نور مرئی از اثرات فوتوکاتالیستی این نیم‌رسانا بهره برند. نقاط کوانتومی کربنی به دلیل داشتن گروه‌های عاملی زیاد، سمیت کم و تابش قابل تنظیم برای ساخت مواد فوتوکاتالیست بسیار مناسب هستند. همچنین آلایش $QCDs/TiO_2$ با اتم‌های نیتروژن و گوگرد خواص الکتریکی فوتوکاتالیست‌ها را افزایش می‌دهد. از فوتوکاتالیست‌ها در حوزه‌هایی نظیر محیط زیست، کنترل بو، استریل کردن و انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود.

نقاط کوانتومی کربنی در حسگرهای دارویی و آنالیزهای شیمیایی

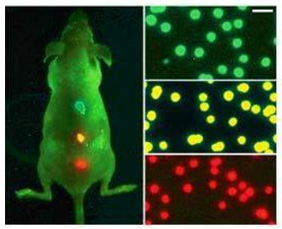
اخیرا نانوذرات کربن مانند نقاط کوانتومی کربنی و گرافن کاربردهای متعددی در زمینه‌های متفاوت نشان داده‌اند. نقاط کوانتومی کربنی ویژگی‌های منحصربفردی از جمله سطوح انرژی کوانتیده، خواص اپتیکی و الکتریکی قابل توجه‌ای از خود بروز می‌دهند که به علت اثرات کوانتومی ظاهر می‌شود. روش های سنتز متعددی برای ساخت نقاط کوانتومی کربن وجود دارد. این ساختارها را می‌توان از پیش ماده‌های متعددی نظیر سیتریک اسید و گلوکز یا ساختارهای بزرگ‌تر کربنی مثل گرافیت و دوده تهیه کرد. تهیه نانوکامپوزیت‌های جدید و بهبود حدود آشکارسازی از نتایج استفاده از نانوذرات کوانتومی کربنی است که منجر به ساخت و ارائه دستگاه‌های جدید با توانایی بالا در اندازه گیری‌های پزشکی شده است. نانوذرات کربنی برخلاف نانوذرات فلزی سمیت کمتری دارند بنابراین برای مصارف پزشکی مناسب هستند. یکی از کاربردهای جالب و ارزشمند این ماده در الکتروآنالیز ترکیبات مختلف بیولوژیکی، زیست محیطی و دارویی است که باعث ظهور سنسورهای بسیار حساسی برای این ترکیبات شده است. الکتروآنالیز، یک روش آسان و مقرون به صرفه است که قابلیت‌های اندازه گیری کمی و کیفی طیف گسترده‌ای از مواد را دارد.

در کار مروری ارزشمندی که در شماره جدید مجله Chemical Society Reviews از انتشارات معتبر RSC توسط دکتر ماندانا امیری، عضو هیات علمی گروه شیمی دانشگاه محقق اردبیلی با همراهی دانشجوی دکتری وی و با همکاری محققانی از دانشگاه بس انگلیس، لیل فرانسه و لاپنرانتای فنلاند منتشر شده است، حسگرهایی بر پایه نانوذرات کربن و نانوساختارهای کربنی اصلاح شده برای اندازه گیری ترکیباتی مانند دوپامین (انتقال دهنده عصبی)، داروی سیپروفلوکسازین، مشتقات هیدروکسی بنزن (آلاینده محیط زیست) و کلرید موجود در نمونه‌های مختلف آب، ارائه شده است.

پیش از این دکتر ماندانا امیری در سال ۲۰۱۱ در کنفرانس آسیایی علوم و فناوری نانو که در کشور ژاپن برگزار شد برای تحقیقی در مورد ساخت حسگری برای رزورسینول با استفاده از نانوذرات کربن، جایزه محقق جوان کنفرانس را دریافت کرده بود و در سال ۲۰۱۵ به پاس تحقیقاتشان در زمینه اصلاح نانوذرات کربن و استفاده از آن‌ها در ساخت حسگرهای الکتروشیمیایی جایزه «راجر تیلور» را از گروه کربن بریتانیا که زیر شاخه‌ای از RSC و IOP می‌باشد به خود اختصاص داده بود.



توسعه سیستم‌های حسگر دارویی برای بهبود شیمی درمانی و کاهش مسمومیت‌های دارویی همچنین ثبت تصاویر زیستی با کیفیت بسیار مطلوب از دیگر کاربردهای نقاط کوانتومی کربنی است.



اخبار خارجی

کشت محصولات کشاورزی در فضا با استفاده از نقاط کوانتومی

نقاط کوانتومی موادی ایده‌آل برای بهینه‌سازی طیف نور جهت رشد گیاه هستند. زیرا این مواد با جذب انرژی و بازگرداندن مجدد نور در طول موج‌های متفاوت با توجه به اندازه ذراتشان، می‌توانند به راحتی هر رنگی در طیف نور مرئی ایجاد نمایند. صفحات نقطه کوانتومی که در بالای گیاهان در گلخانه نصب می‌شوند، بخش‌هایی از نور خورشید (عمدتاً ماوراء بنفش، نور آبی و سبز) را جذب می کنند و آن را به نور نارنجی و قرمز که برای رشد گیاه موثر است، تبدیل می کنند. ناسا با همکاری یک شرکت فعال در زمینه فناوری‌های نانو، از نقاط کوانتومی برای افزایش بازده محصولات کشاورزی در فضا استفاده می‌کند. در این روش، نقاط کوانتومی موجب افزایش جذب نور شده و در نهایت بهره تولید محصولات را ارتقا می‌دهد.

«یوبی‌کیودی» (UbiQD) که یک شرکت فعال در توسعه فناوری نانو واقع در نیومکزیکو است، اعلام کرد که با سازمان هوانوردی و فضایی آمریکا، ناسا، قراردادی ۲۴ ماهه با بودجه ۷۵۰ هزار دلار بسته است. به موجب این قرارداد که با همکاری شرکت یوبی‌کیودی و مرکز کنترل محصولات کشاورزی دانشگاه آریزونا انجام خواهد شد، پژوهش‌هایی پیرامون استفاده از نقاط کوانتومی برای افزایش بهره محصولات کشاورزی صورت خواهد گرفت. به طوری که نقاط کوانتومی با جذب بهتر طیف‌های مختلف نور خورشید، امکان رشد بهینه محصولات کشاورزی را در فضا فراهم کنند. این کار به ناسا کمک می‌کند تا در رشد محصولات کشاورزی در تحقیقات فضایی و اکتشافات سیاره‌ای عملکرد بهتری داشته باشد.

پیش‌تر در آگوست سال ۲۰۱۸ برای اولین بار قراردادی از ناسا به شرکت یوبی‌کیودی اعطا شد که این شرکت را به‌عنوان بخشی از ماموریت‌های راهبردی ناسا برای پیشبرد قابلیت‌های پیشرفته این سازمان در حوزه فناوری‌های فضایی و تولید مواد غذایی انتخاب کرد. یکی از محصولاتی که در این پژوهش با بهره بیشتری در فضا کشت شد، گیاه کاهو بود. با استفاده از دستورالعمل مورداستفاده در این مطالعه، محصولاتی در گلخانه‌های لومینسانس یوبی‌کیودی موسوم به UbiGro به عمل آمدند که افزایش ۱۳ درصدی در وزن سبزیجات و افزایش ۸ درصدی سطح برگ را به ارمغان آورد.

گیاکوملی» از محققان دانشگاه آریزونا و رهبر تیم تحقیقاتی می‌گوید: «در ماموریت‌های فضایی طولانی مدت، جایی که فضانوردان باید بیشترین استفاده از منابع را داشته باشند، افزایش تولید مواد غذایی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد. قطعاً در این ماده و همچنین روشی که یوبی‌کیودی پیاده‌سازی کرده است، نکات مثبتی وجود دارد که می‌تواند به ما در رسیدن به این هدف کمک کند».

شرکت یوبی‌کیودی پس از دریافت بودجه از آزمایشگاه بریک‌اوت در سال ۲۰۱۷ تحقیقات خود را آغاز کرد و موفق شد صفحات کشاورزی نقطه کوانتومی را تولید کند. این صفحات جدید با فراهم کردن طیف نور ایده‌آل برای تولید سبزیجات و تسریع در رشد گیاهان طراحی شده است. این شرکت با گلخانه‌های تجاری همکاری کرده است تا محصول خود را در ۱۵ مکان در شش کشور، از جمله در کشور خود در نیومکزیکو، نصب کند. این فناوری در چند کشور مختلف مورداستفاده قرار گرفت و نتایج مثبتی به‌دست آمد.

«برگن» مدیر ارشد محصولات در شرکت یوبی‌کیودی می‌گوید: «ما از ادامه همکاری با ناسا بسیار خرسندیم. فناوری ما نه تنها می‌تواند به تهیه میوه و سبزیجات تازه به فضانوردان آینده در مأموریت‌های ماه یا مریخ کمک کند بلکه مزرعه‌داران این‌جا در زمین نیز از آن بهره می‌برند».

طبق آخرین داده‌های تجاری منتشر شده از شرکت یوبی‌کیودی در نوامبر ۲۰۱۹ از صفحات نقطه کوانتومی این شرکت برای افزایش وزن گوجه فرنگی تا ۲۱% استفاده شده است.

اخبار فناوری
فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
شماره چهارم اسفند ماه ۱۳۹۸

بازار نقاط کوانتومی در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ با رشد ۶۱/۴ درصد به رقم ۸/۴۷ میلیون دلار خواهد رسید. بیشترین تقاضا در بازار مربوط به صنعت ساخت نمایشگر و تلویزیون است.

ساخت نمایشگرهای نقطه کوانتومی با کارایی بالاتر، بدون فلزات سنگین

استفاده از دیودهای نور گسیل نقطه کوانتومی (QLED) به دلیل کارآیی بالا، خلوص رنگ و مقرون به صرفه بودن برای نمایشگرهای بزرگ ایده‌آل هستند. اما هنوز هم تلاش‌ها برای بهبود و پایداری عملکرد دستگاه‌ها و همچنین جایگزینی ترکیبات سمی آن‌ها ادامه دارد.

یک تیم تحقیقاتی در موسسه پژوهشی فناوری پیشرفته «سامسونگ» اعلام کرده است که با تولید و توسعه انواع جدیدی از نقاط کوانتومی، این فناوری را برای استفاده در نمایشگرهای بزرگ بهبود داده‌اند. این نقاط کوانتومی نسبت به انواع رایج آن که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند کارایی بالاتری دارند و عاری از فلزات سنگین هستند.

این گروه در مقاله خود که در نشریه «Nature» منتشر شده است، کار و برنامه‌های آینده خود را شرح داده‌اند. «الکساندر افروس» از آزمایشگاه تحقیقات نیروی دریایی در واشنگتن، یک مقاله ضمیمه در همان شماره مجله منتشر کرده است که به تشریح کار این تیم در سامسونگ می‌پردازد.

نقاط کوانتومی در واقع بلورهای نیم‌رسانای نانومقیاس هستند که به دلیل وجود ویژگی‌های مکانیک کوانتومی در ساختار آن‌ها، دارای خواص نوری و الکترونیکی منحصربه‌فرد هستند. از زمان توسعه این فناوری در ۱۹۸۰ میلادی، دانشمندان کاربردهای بسیار زیادی برای آن‌ها در ادوات نوری مختلف کشف کرده‌اند اما متاسفانه این نقاط کوانتومی همواره دو مشکل اساسی داشته‌اند که مانع استفاده گسترده از آن‌ها شده است: اول اینکه بر پایه ترکیبات کادمیومی بوده که از فلزات سنگین و سمی است و دومین مشکل آن‌ها این است که فسفرهای نقطه کوانتومی که در نمایشگرها استفاده می‌شوند قابلیت خود گسیلی (self-emissive) ندارند یعنی باید با دیودهای نورگسیل نقطه کوانتومی (QLED) جایگزین شوند تا از این طریق کارایی آن‌ها افزایش یابد.

البته لازم به ذکر است که تلویزیون‌های فعلی QLED از نقاط کوانتومی به‌عنوان منبع نور استفاده نمی‌کنند و به جای آن از LCD استفاده می‌شود تا نور پس‌زمینه تولید کنند. سپس این نور با استفاده از صفحاتی از جنس نقاط کوانتومی جذب می‌شوند. در این پژوهش جدید، شرکت سامسونگ تلاش کرده است تا هر دوی این مشکلات رفع شوند. این دستاورد تنها یک ماه پس از اینکه سامسونگ اعلام کرد برای ۵ سال آینده ۱۱ میلیارد دلار برای پژوهش‌های جدید سرمایه‌گذاری می‌کند، به‌دست آمده است.

رویکرد جدیدی که توسط این محققان استفاده شده این است که ساختار جدیدی ارائه کنند تا از نابودی هسته نقاط کوانتومی در اثر اکسیداسیون جلوگیری کند. همچنین، پوسته‌ای در اطراف نقاط کوانتومی ایجاد می‌شود تا از نشت انرژی جلوگیری شود. این گروه کادمیوم را با ایندیوم فسفید جایگزین کردند که ماده‌ای سازگار با محیط زیست است و اثرات مخرب کادمیوم را ندارد.

پژوهشگران اعلام کردند که این تغییرات موجب شده تا بازده کوانتومی ۲۱/۴ درصد بهبود یافته و عمر نقاط کوانتومی تقریبا یک میلیون ساعت افزایش یابد. آنها پیش‌بینی کرده‌اند که این نتایج نشانگر این است که به زودی استفاده از نقاط کوانتومی با فناوری خود گسیلی در نمایشگرها قابل استفاده خواهد بود.

آشکارسازی فروسرخ با حسگرهای نقطه کوانتومی

حسگرهای نوری که در محدوده فروسرخ میانی تا فروسرخ دور طیف الکترومغناطیسی کار می‌کنند، کاربردهای بسیار زیادی از جمله سنجش گازها، تصویربرداری حرارتی و تشخیص خطرات موجود در محیط دارند. با این وجود چنین حسگرهایی پرهزینه و حاوی ترکیبات سمی جیوه‌ای هستند. ساختار آن‌ها یا چاه‌های کوانتومی اپیتاکسیال است یا حسگرهای نوری فروسرخ مبتنی بر نقاط کوانتومی هستند که ساخت آن‌ها دشوار و زمانبر است. پژوهشگران موسسه علوم فوتونیک در اسپانیا اکنون در تلاش هستند تا با ساخت ادوات نوری با ساختار نقاط کوانتومی کلوئیدی (CQD) بدون جیوه که قادر به تشخیص نور در طول موج‌های مختلف هستند، این نواقص را برطرف کنند. این حسگرهای جدید مبتنی بر سرب سولفید (PbS) است و با فناوری‌های استاندارد تولید CMOS سازگاری دارد.

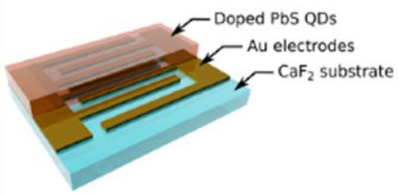
«کنستانتاتوس» سرپرست این گروه تحقیقاتی می‌گوید: «اگرچه حسگرهای نوری پیشین PbS CQD عملکرد مطلوبی در محدوده فروسرخ نزدیک و نور مرئی (VIS/SWIR) نشان داده بودند، اما اکنون می‌توانیم بگوییم که آن‌ها می‌توانند محدوده طول موج فروسرخ میانی و فروسرخ دور(MWIR/LWIR) را نیز پوشش دهند. این بدین معناست که PbS CQD تنها ماده نیم‌رسانا برای پوشش چنین محدوده وسیعی از طیف امواج الکترومغناطیسی است».

نقاط کوانتومی، ذرات نیم‌رسانایی هستند که اندازه آن‌ها تنها چند نانومتر است. این ذرات می‌توانند در محلول‌ها سنتز شوند، یعنی می‌توان لایه‌های نقاط کوانتومی را به راحتی روی طیف وسیعی از بسترهای انعطاف‌پذیر یا سخت لایه‌نشانی کرد. این سهولت در ساخت باعث می‌شود این مواد برای ساخت حسگرهای نوری با کارایی بالا بسیار مناسب باشند که به راحتی با فناوری‌های CMOS ادغام می‌شوند.

برای آشکارسازی طول موجی خاص از محدوده امواج الکترومغناطیسی لازم است که انرژی فوتون‌های نور فرودی به اندازه‌ای باشد که بتواند حامل‌های بار الکتریکی (الکترون) را به اندازه باند انرژی هر ماده برانگیخته کند. به بیان دیگر مقدار این انرژی باید به اندازه‌ای باشد که الکترون از باند رسانش به باند ظرفیت مواد منتقل شود. نقطه ضعف این لایه‌های ساخته شده از نقاط کوانتومی سرب سولفید آن است که گاف انرژی آن‌ها حدود ۰/۳ الکترون ولت است که معادل انرژی امواج فروسرخ نزدیک (با طول موج حدود ۱ تا ۲ میکرومتر) است. اما کنستانتاتوس و همکارانش اکنون با آلایش نقاط کوانتومی سرب سولفید خود با ید این مقدار را به ۰/۱ الکترون ولت کاهش دادند که معادل با انرژی محدوده فروسرخ میانی و دور است (با طول موج حدود ۵ تا ۱۰ میکرومتر). وجود مقادیر زیاد ید باعث می‌شود که انتقال الکترون بین حالت‌های برانگیخته که به عنوان انتقال زیرباند (یا داخل باند) شناخته می شوند، به جای آنکه انتقال بین باند باشد، انجام شود. این امر باعث می شود تا بتوانیم الکترون‌ها را با استفاده از فوتون‌هایی با انرژی بسیار کمتری نسبت به گذشته برانگیخته کنیم.

محققان در جدیدترین آزمایشات خود، لایه‌های PbS CQD را با استفاده از یک روش شیمیایی سنتز کردند که باعث ایجاد سوسپانسیون نقاط کوانتومی در محلول می‌شود. لایه‌نشانی با روش لایه‌نشانی چرخشی انجام شده و لایه‌ها را با ید آلاییدند که همین امر موجب رسانش آسان‌تر آن‌ها شده است. کنستانتاتوس می گوید: «با توجه به اطلاعات ما، این اولین بار است که آلایش الکترونیکی بسیار موثر در این ماده حاصل می شود».

آلایش در نقاط کوانتومی بزرگ‌تر موثرتر است زیرا این مواد حاوی اتم‌های گوگرد بیشتری هستند. در واقع، برای نقاط کوانتومی با قطر کوچکتر از ٤ نانومتر، باند $1S_e$ تقریبا خالی است، در حالی که برای نقاط با قطر بین ٤ تا ٨ نانومتر، آلایش بیشتری رخ می‌دهد و باند 1Se تا اندازه‌ای پر است. این بدان معناست که هر چه نقاط کوانتومی بزرگ‌تر باشند، طول موج‌های فروسرخ بلندتری آشکارسازی می‌شوند.



آشکارسازی این محدوده از امواج الکترومغناطیس می‌تواند در تصویربرداری‌های ابرطیفی (Hyperspectral Imaging) نیز کاربردی باشد و علاوه بر اطلاعات تصویری و ظاهری، اطلاعاتی از ساختار و ترکیبات مواد ارائه دهد. همچنین دمای اجسام و مواد را به راحتی برای انسان آشکارسازی کند.

بیشترین دقت در اندازه‌گیری انرژی با آشکارساز کوانتومی

فیزیک کوانتومی در حال بیرون آمدن از آزمایشگاه و ورود به زندگی روزمره ما است. اگرچه نتایج مقاله‌های مهم از رایانه‌های کوانتومی و حل مسائلی که برای کامپیوترهای کلاسیک غیرممکن است خبر می‌دهند، اما چالش‌های فنی در راه ورود فیزیک کوانتومی به دنیای واقعی ایستاده‌اند. تحقیقات جدید منتشر شده از گروه‌های پژوهشی در دانشگاه «آلتو» و دانشگاه «لوند» نویدبخش ابداع ابزاری مهم در هموار ساختن این مسیر است.

یکی از سؤالات مطرح شده در تحقیقات کوانتومی این است که چگونه گرما و ترمودینامیک با فیزیک کوانتومی همخوانی دارند. «ترمودینامیک کوانتومی» یکی از موضوعاتی است که پروفسور «جوکا پکولا»، رئیس مرکز عالی آکادمی فنلاند (QTF)، در حرفه خود روی آن متمرکز است. پروفسور پکولا می‌گوید: «این مبحث پیش‌تر از نظر تئوری اثبات شده است و اکنون آزمایش‌های مهم آن شروع شده است». گروه تحقیقاتی وی بر روی ساخت نانودستگاه‌های ترمودینامیکی کوانتومی کار می‌کنند که می‌تواند سوالات مطرح در این زمینه را به صورت تجربی پاسخ دهند.

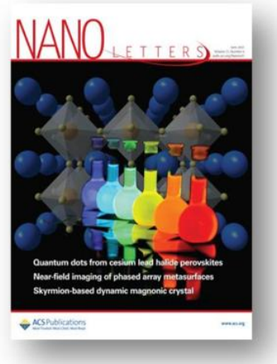
حالت‌های کوانتومی - مانند کیوبیت‌هایی که توان مورد نیاز کامپیوترهای کوانتومی را تامین می‌کنند - با دنیای اطراف خود تعامل انرژی دارند و این تعامل‌ها همان چیزی است که ترمودینامیک کوانتومی با آن سروکار دارد.

اندازه‌گیری این سیستم‌ها نیاز به تشخیص تغییرات بسیار کوچک انرژی دارد که به سختی می‌توانند از نوسانات پس زمینه تمییز داده شوند، مانند اینکه بخواهیم تنها با استفاده از یک دماسنج معمولی تشخیص دهیم آیا شمعی در یک اتاق روشن است یا خیر. مشکل دیگر این است که اندازه گیری می‌تواند باعث تغییر یک حالت کوانتومی شود. مانند اینکه قرار دادن دماسنج در یک فنجان آب سرد باعث شود آب شروع به جوشیدن کند. بنابراین این پژوهشگران مجبور بودند دماسنجی طراحی و تولید کنند که بدون دخالت در هیچ یک از حالت‌های کوانتومی که قصد سنجش آن را دارند، تغییرات بسیار ناچیز را اندازه بگیرد.

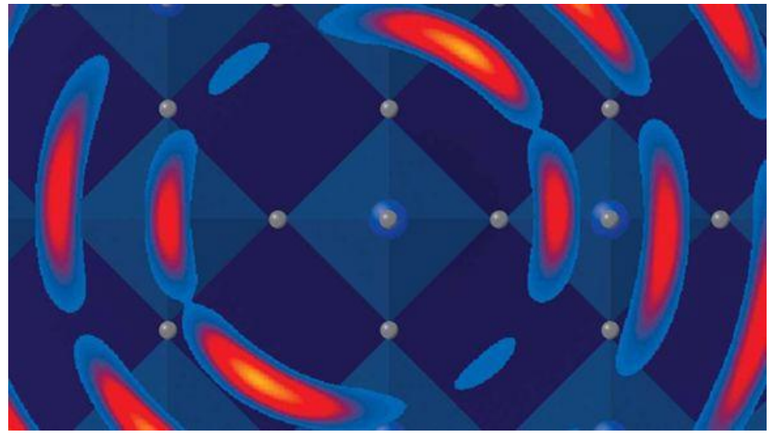
«بیان کریمی» دانشجوی ایرانی از اعضای این گروه تحقیقاتی است که در مرکز آموزشی QTF و شبکه آموزشی «ماری کوری QuESTech» فعالیت می‌کند. دستگاه او یک کالریمتر است که گرما را در یک سیستم کوانتومی اندازه‌گیری می‌کند. این دستگاه از یک نوار مسی حدود هزار بار نازک‌تر از موی انسان ساخته شده است. کریمی درباره این دستگاه می‌گوید: «آشکارساز ما تابش را از حالت‌های کوانتومی جذب می‌کند و انتظار می‌رود که بتواند میزان انرژی آن‌ها و چگونگی تعامل با محیط اطراف را تعیین کند. یک حد نظری در مورد میزان دقت یک کالریمتر وجود دارد و دستگاه ما اکنون به آن حد رسیده است».

این پژوهش در ژانویه ۲۰۲۰ در مجله Nature communications منتشر شده است.

این پژوهشگران گزارش کار خود را در نشریه «Nano Letter» منتشر کرده‌اند.



اخبار علمی

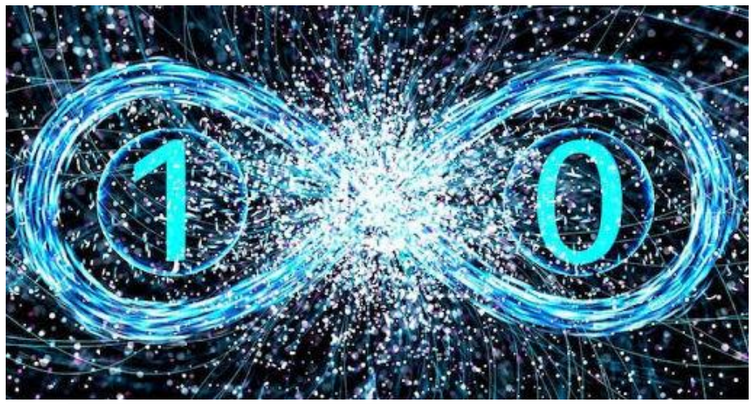


ترابرد الکترون‌ها بین نقاط کوانتمی به کمک مدلسازی کامپیوتری

پژوهشگران دانشگاه شهید بهشتی به بررسی دستکاری و قرار دادن برخی اتم‌های فلزی در نقاط خاصی از شبکه‌های خودسامان‌ده آلی بر سطوح فلزی پرداختند. هدف آن‌ها مهندسی ترابرد الکترون‌ها بین نقاط کوانتمی است.
این تیم پژوهشی در این کار به بررسی بلورهای مصنوعی دو بعدی پرداختند که آرایه‌ای منظم از حصارهای کوانتومی است. این ساختار به شکل یک شبکه لانه زنبوری است. طیف‌سنجی فوتون گسیلی با تفکیک زاویه‌ای نشان می‌دهد که وجود تک اتم‌های فلز در موقعیت‌های خاص منجر به گشوده شدن کانال‌های ترابرد الکترون بین حفره‌ها می‌شود و سامانه را می‌توان با الگوی الکترون‌های تقریباً آزاد با جرم مؤثر کاهش یافته توصیف کرد. با تفسیر مشاهدات تجربی به کمک مدلسازی کامپیوتری و حل معادله شرودینگر، مشخص شده است که سدهای پتانسیل الکترواستاتیک که در صفحه گاز الکترونی لایه مولکولی دوبعدی ایجاد می‌کنند در موقعیت تک اتم‌های جا داده شده به شدت تضعیف شده و دریچه‌هایی برای نشت الکترون‌ها بین حصارهای کوانتمی باز می‌شود. این پژوهش روشی را پیشنهاد می‌دهد که بتوان ساختار الکترونی یک گاز الکترونی دوبعدی را به دلخواه مهندسی کرد. گاز دو بعدی مجموعه‌ای از الکترون‌های آزاد است که در سطحی بسیار نازک حرکت می‌کنند.

تهی‌جای مرکزی نیتروژن و حفظ اطلاعات کوانتومی

تهی‌جای مرکزی نیتروژن (NV) یکی از نواقص شبکه در ساختار بلور الماس است. بیشترین تاثیر این تهی‌جاها در پیشرفت علم، بررسی تابش نور از آن‌ها است. اسپین الکترون در تهی‌جای نیتروژن با استفاده از تابش نور و قرار گرفتن در یک میدان مغناطیسی یا الکتریکی قابل تغییر است.
این تغییرات اسپینی می‌تواند باعث تشدید و تغییر طول موج تابش شده از NV مرکزی شود. این تشدیدها در درک مباحث مختلف کوانتومی مانند درهم تنیدگی کمک شایانی به دانشمندان کرده. علاوه بر این، کاربردهای بسیار زیادی در فناوری‌های کوانتومی مانند کامپیوترهای کوانتومی، رمزنگاری کوانتومی، مخابرات کوانتومی و تصویربرداری‌های کوانتومی دارد. «خشایار خازن» پژوهشگر ایرانی در جدیدترین پژوهش خود بیان کرده: «اگرچه NV مرکزی در الماس گزینه مورد علاقه بسیاری از پژوهشگران در چنین کاربردهایی است، اما خواص ماده الماس برای استفاده در مقیاس بزرگ مطلوب نیست و اخیراً سیلیکان کاربید (SiC) به دلیل خاصیت میکروالکترونیکی خود و شباهت‌های ساختاری، نوری و اسپینی با الماس به عنوان یک جایگزین مناسب پیشنهاد شده است».

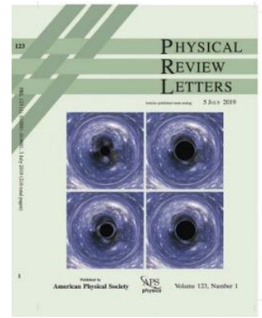


جایزه جهانی به پژوهشگران ایرانی برای درک گرانش کوانتومی

«جاهد عابدی» دانش آموخته‌ی دکترای دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف و «نیایش افشردی» دانش آموخته دوره کارشناسی دانشکده فیزیک دانشگاه شریف و دکتری دانشگاه پرینستون با مقاله خبرساز و مهم‌شان «پژواکی از مغاک؛ سیاهچاله فوق چرخان باقی مانده از دوتایی ستاره نوترونی رویداد ۱۷۰۸۱۷GW» این جایزه را دریافت کردند.
جایزه «بوکالتر» هر سال به ایده‌های جدید و پیشرو در زمینه کیهان شناسی و گرانش نظری و رصدی داده می‌شود. هیات داوران جایزه معتبر «بوکالتر» پژوهش این جوانان را پژوهشی جسورانه و قدمی نوآورانه در درک پدیده گرانش کوانتومی نامیده‌اند. ایده‌ای که امواج گرانشی ساطع از دو ستاره نوترونی چرخان می‌تواند اطلاعات جدیدی از درون سیاهچاله و گرانش کوانتومی به دست دهد.
گفتنی است، پیش از این نیز این دو اختر فیزیکدان ایرانی با مقاله " پژواک هایی از مغاک: سیاه چاله ای با چرخش زیاد برای پسماند ادغام ستاره نوترونی" در سال ۲۰۱۸ موفق به کسب این جایزه شدند.

این تیم تحقیقاتی با انجام طیف‌سنجی‌های دقیق نوری و طیف سنجی رزونانس پارامغناطیسی الکترون، همچنین با استفاده از محاسبات دقیق توانستند شش تهی‌جای متفاوت و خطوط مربوط به فوتولومینسانس فونون صفر مرتبط با آن‌ها را در ساختار سیلیکان کاربید شناسایی کنند. درک این ویژگی‌های دقیق برای استفاده در دستگاه‌های اطلاعاتی کوانتومی بسیار کاربردی است. نتایج کار این پژوهشگر ایرانی در مجله physical review b به چاپ رسیده است.

نتایج این کار در مجله Physical Review Letters به چاپ رسیده است.



نتایج کار این پژوهشگران در مجله Journal of Cosmology and Astroparticle Physics به چاپ رسیده است.

دورنما

رایانه‌های کوانتومی

ساعت‌های اتمی

لیزرهای کوانتومی

حسگرهای کوانتومی

اندازه‌گیری کوانتوم-اپتیک

نقاط کوانتومی

کوانتوم از علم تا عمل!

کوانتوم از علم تا عمل!

به قلم سیده ثریا موسوی

s.soraya.mosavy@gmail.com

فیزیک و فناوری‌های کوانتومی اغلب مملو از روابط پیچیده ریاضی است و اسرارآمیز به نظر می‌رسد، اما در حقیقت این گونه نیست. هر چند که فیزیک کوانتومی در قالب کلمات خشک و انعطاف‌ناپذیر است، اما وقتی با بیان ریاضی همراه می‌شود، قادر است بسیاری از رویدادها و پدیده‌های فیزیکی را به درستی پیش‌بینی کند. تاکنون شماری از پیش‌بینی‌های فیزیک کوانتومی آزمایش شده و نتایج آن درست از آب در آمده است!

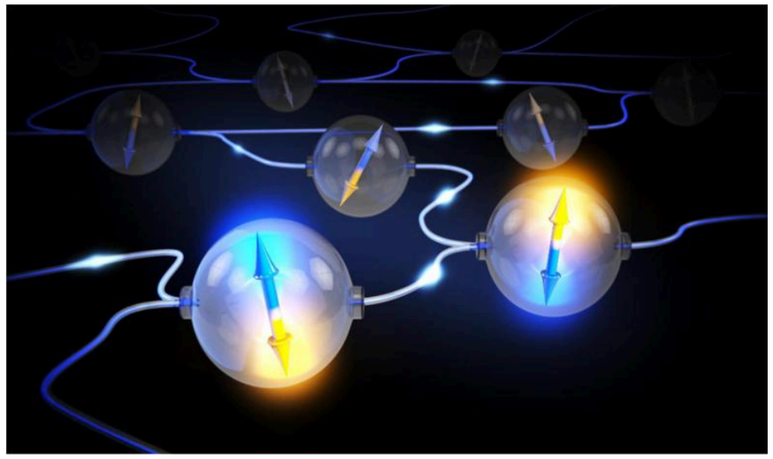
امروزه علم فیزیک کوانتوم دیگر نه تنها به صورت نظریه‌های محض علمی مورد توجه قرار گرفته است، بلکه رد پای آن به صورت عملی در بسیاری از فناوری‌های نوین به چشم می‌خورد. در واقع ما این روزها توسط فناوری‌های کوانتومی محاصره شده‌ایم، از میکروپردازنده‌ها گرفته تا دوربین‌های دیجیتال و لیزرها (عملکرد این فناوری‌ها بر رفتار کوانتومی الکترون‌ها در جامدات و گسیل تحریک شده تشعشعات همدوس متکی است) همه و همه بر مبنای این علم جالب توجه گسترش یافته‌اند. پیشرفت روش‌های تجربی و تجهیزات طی دهه‌های گذشته امکان دستکاری اختصاصی اجسام کوانتومی (اعم از اتم‌ها و فوتون‌ها) را برای مهار جنبه‌های پیشرفته‌تر و ظریف‌تر مکانیک کوانتومی یعنی برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی فراهم کرده است. به لطف همین ویژگی‌ها، عصر جدیدی مملو از فناوری‌های کوانتومی در حال ظهور است:

داده‌های بزرگ، همگام‌سازی ساعت و شبکه، شبیه‌سازی‌های کوانتومی، تشخیص امواج گرانشی، ارتباطات کوانتومی، اندازه‌گیری‌های اپتیکی (تصویربرداری و حسگری)، گوشی‌های هوشمند و مواد کوانتومی از جمله مهم‌ترین زمینه‌های تخصصی هستند که در آنها از قابلیت‌های علوم کوانتومی بهره گرفته شده است. ما در اینجا به اختصار به معرفی برخی از این فناوری‌ها و توضیح علمی آنها می‌پردازیم.

داده‌های بزرگ و رایانه‌های کوانتومی

آیا می‌دانید امروزه ابررایانه‌ها چه کارهایی انجام می‌دهند و چگونه این کار را انجام می‌دهند؟

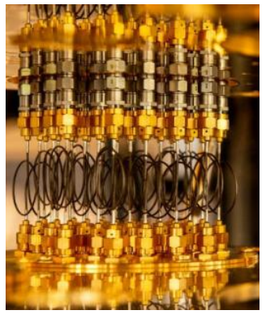
اگر به یک پردازشگر مجزا در یک ابررایانه مدرن نگاه کنید، متوجه خواهید شد که به مراتب سریع‌تر و قدرتمندتر از نمونه‌هایی است که در رایانه‌های شخصی به کار می‌رود. این در حالی است که تعداد آنها زیاد نیست و اصلا این دلیل قدرت بالای آنها نیست. این قدرت ناشی



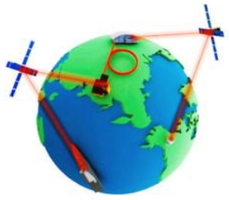
از پردازنده‌هایی است که به صورت موازی در حال پردازش هستند. به طوری که حجم عظیمی از داده‌ها را همزمان پردازش می‌کنند و تبادل اطلاعات با سرعت بالایی بین آنها انجام می‌شود. با این حال، همچنان مشکلات متعددی وجود دارد که ظرفیت عملکرد این ابررایانه‌ها را تا حدی محدود می‌کند. اینجا همان جایی است که رایانه‌های کوانتومی وارد صحنه می‌شوند: ثبات‌های (رجیسترها) آنها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که می‌توانند حجم زیادی از اطلاعات ورودی را به صورت همزمان کاوش کنند. تمام این اطلاعات با یک پردازنده واحد و بدون نیاز به تعداد زیادی از آنها پردازش می‌شود.

البته پیش از اینکه به نتیجه محاسبات نگاه کنید، باید مطمئن شوید که نتیجه‌ی پردازش همه اجزا یکسان است. در غیر این صورت آنچه که به دست می‌آید، صحیح نخواهد بود. هر چند که به نظر می‌رسد دستیابی به چنین هدفی مشکل باشد! طی ۲۵ سال گذشته محققان برای حل این مشکل راه‌حل‌های مختلفی را ارائه داده‌اند. الگوریتم‌هایی که سیگنال‌های رایانه‌های کوانتومی را پردازش می‌کنند، پایگاه داده‌های نامرتب را جستجو کرده و به دنبال کمترین یا بیشترین تعداد مسائل پیچیده ریاضی می‌گردد. چنین الگوریتم‌هایی تا حدی انتزاعی به نظر می‌آیند. اما خدمات زیادی هستند که می‌توان از داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی و برنامه‌های کاربردی دیگر دریافت کرد. "ابر" از جمله امکاناتی است که شما می‌توانید در زمینه‌های مختلف از مزایای آن بهره‌مند شوید. به عنوان مثال، شما با استفاده از آن می‌توانید در ترافیک صبح به درستی مسیریابی کنید. این خدمات بر یادگیری هوش مصنوعی مبتنی است که الگوهای ترافیکی صف‌های طولانی را پیش‌بینی می‌کند. استنتاج از این داده‌های بزرگ با محاسبات موازی یک رایانه کوانتومی می‌تواند به مراتب سریع‌تر انجام شود. کما اینکه این اطلاعات می‌تواند سریع‌ترین مسیر ترافیکی را نیز به شما نشان دهد. البته در صورت بهینه‌سازی پیش‌بینی می‌شود که رایانه‌های کوانتومی بتوانند چنین داده‌هایی را خیلی سریع‌تر بررسی کرده و اطلاعات آن را در اختیار شما قرار دهند.

ثبات‌های (ریجستر) رایانه‌های کوانتومی به گونه‌ای طراحی شده است که می‌تواند حجم زیادی از اطلاعات ورودی را به صورت همزمان کاوش کند- همه با یک پردازنده واحد، بدون نیاز به تعداد زیادی از آنها.



این ساعت‌ها امکان استفاده از ساعت‌ها را برای سنجش امواج گرانشی، تشخیص ماده تاریک، ردیابی زلزله، زمین‌سنجی نسبیتی، پیمایش ماهواره‌ای و به طور کلی استفاده از آنها را با هدف انجام آزمایش نظریه‌های جدید فیزیکی فراهم کرده است.

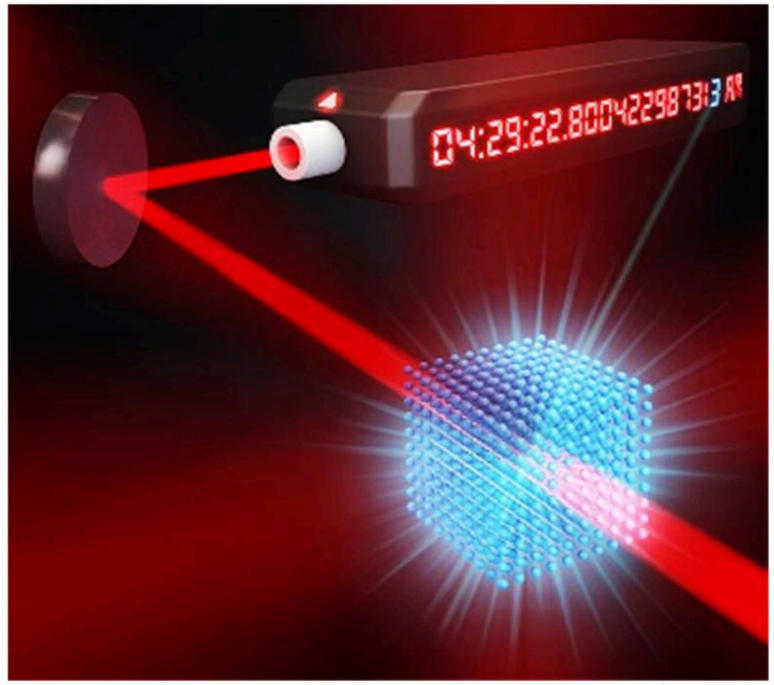


اغلب در بهره‌گیری از این روش‌ها به یک رایانه بزرگ سیستمی که بتواند در برابر خطاها حساس عمل کند، نیاز است. البته مدتی طول خواهد کشید تا انسان به تمام آنچه که مد نظر دارد، دست یابد اما حتی امروزه نیز یادگیری و کشف الگوریتم‌های کوانتومی در رایانه‌های کوانتومی کوچک امکان‌پذیر است و ما هر روز شاهد ظهور برنامه‌هایی جدید با سرعت زیاد هستیم.

همگام‌سازی ساعت و شبکه

نسل پیشرفته ساعت نوری کوانتومی که در حال ظهور است، نسبت به ساعت‌های اتمی کنونی از دقت به مراتب بالاتری برخوردار است.

ساعت‌های نوری کوانتومی امکان استفاده بیشتر از ساعت‌ها برای سنجش امواج گرانشی، تشخیص ماده تاریک، تشخیص زلزله، زمین‌سنجی نسبیتی و مبانی آزمایش‌های



فیزیک تحت فشار را فراهم می‌کند. البته باید توجه داشت که دقت ساعت باید خارج از آزمایشگاه‌های اندازه‌گیری همچنان حفظ شود. این امر فقط درصورتی امکان‌پذیر است که فرکانس ساعت با استفاده از فناوری نوین پیوند فیبر نوری تقسیم شود.

ساعت‌های اتمی می‌توانند به راحتی فرکانس تیک تاک مورد نظر را تولید کنند، البته این در صورتی است که دقت آنها به خوبی تعیین شود (یا تا وقتی که فرکانس آنها پایدار بوده و با توجه به یک ساعت اولیه کالیبره شده باشد). علم فیزیک تضمین می‌کند که دو ساعت مختلف با تیک اتمی یکسان، در یک فرکانس واحد، فاز مطلق را به عنوان یک پارامتر آزاد تولید می‌کند.

اما در واقع همگام‌سازی آنها بر حسب فاز مطلق، به طوری که دقیقا در یک لحظه شروع به کار کنند، بسیار چالش برانگیز است.

اولین چیزی که باید مشخص شود، یک چهاچوب مرجع عام با توجه به نسبیت عام است. این مرجع به صورت دلخواه میانگین سطح دریا در سطح زمین انتخاب شده است.

اگر ما بخواهیم برای واقعه‌ای تاریخ دقیق در نظر بگیریم و زمان را به صورت یکپارچه حفظ کنیم، فاز ساعت می‌بایست همدوس باشد.

یک نمونه پاردایمی سیستم‌های ناوبری ماهواره‌ای (GNSS) است. در این سیستم‌ها مجموعه‌های بزرگ ماهواره‌ای برای تعیین دقیق مکان جغرافیایی از ساعت‌های اتمی بهره می‌گیرند. آنچه در این مورد از اهمیت اساسی برخوردار است، این است که کلیه ساعت‌های این مجموعه دارای فازی حدود چندین نانوثانیه است. خطای ۱ نانوثانیه متناظر با خطای ۳۰ سانتی‌متر در تعیین موقعیت کاربر روی زمین است. متداول‌ترین روش همگام‌سازی ساعت مبتنی بر استفاده از ماهواره است. این روش بسته به جزئیات سیستم، دقتی بین ۱۰۰ نانومتر تا ۵۰۰ پیکوثانیه را نتیجه می‌دهد.

همگام‌سازی فیبر نوری روش نوظهوری است که اتصال نقطه به نقطه در آن برقرار می‌شود: همگام‌سازی فیبر نوری، دقت همگام‌سازی را تا چند ده پیکوثانیه افزایش می‌دهد.

امروزه نسل جدیدی از ساعت‌های نوری کوانتومی در حال توسعه است که در آن پایداری کوتاه مدت ساعت‌ها (با بهره‌گیری از رفتارهای مشترک اتم‌ها و سایر شگردهای فنی "کوانتومی" و کاهش نوفه ساعت تا سطحی کمتر از نوفه ضربه‌ای نزدیک به حد هایزنبرگ)، افزایش یافته است. در انجام بسیاری از پروژه‌ها نیاز است که دقت ساعت در خارج از آزمایشگاه‌های اندازه‌گیری نیز حفظ شود و بتوان ساعت‌ها را از راه دور به طور دقیق با هم هماهنگ کرد. این تنها در صورتی امکان‌پذیر است که فرکانس ساعت با استفاده از پیوندهای فیبر نوری اختصاصی توزیع شود.

توسعه فناورانه پیوند فیبر نوری به صورت مطلوبی در حال انجام است و ساخت شبکه‌ی وسیعی از فیبر اختصاصی با قابلیت اتصال کاربران علمی و صنعتی، برای تقویت زیرساخت‌ها بسیار ضروری و لازم است.

امروزه ساعت‌های نوری در بازه‌های زمانی طولانی در آزمایشگاه‌های NMI کار می‌کنند و زمان مورد انتظار برای دستیابی به ابزاری صنعتی در حد چندین سال (احتمالاً کمتر از ۱۰ سال) است. هنوز امکان دستیابی به چنین ساعت‌هایی میسر نشده است، اما می‌توان انتظار داشت که طی ۵-۶ سال آینده نمونه‌های آزمایشگاهی آن مورد بررسی قرار گرفته و به صورت عملیاتی استفاده شود.

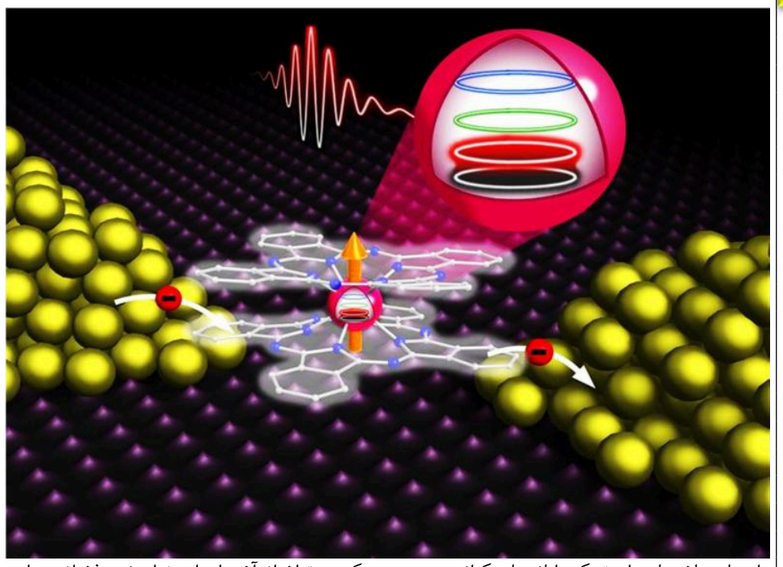
رایانه‌های کوانتومی در شیمی

طراحی فرآیندهای شیمیایی و مولکولی جدید، محرک حیاتی پیشرفت‌های بشری است. انجام چنین کاری به تنهایی در آزمایشگاه بسیار کند و پیچیده به نظر می‌رسد. حال به نظر شما شبیه‌سازی ترکیبات جدید توسط رایانه هوشمندانه‌تر نیست؟

این همان هدفی است که دانشمندان در هنگام انجام محاسبات شیمی به دنبال آن هستند. اما این هدف با چالشی بزرگ مواجه است: پیوندهای شیمیایی که مولکول‌ها را کنار هم نگه می‌دارند، خود در زمره‌ی پدیده‌های کوانتومی قرار می‌گیرد. برای شبیه‌سازی کامل، می‌بایست حالت کوانتومی به طور کامل در حافظه‌ی یک رایانه ذخیره شود.

با توجه به پیچیدگی‌های فیزیک کوانتوم، این موضوع اغلب منجر به بروز مشکلات حافظه‌ای می‌شود. علی رغم ترفندهای زیادی که شیمیدان‌های نظری برای حل این معضل پیشنهاد داده‌اند، همچنان چندین مولکول وجود دارد که کار با آنها بسیار سخت است.

متداول‌ترین روش همگام‌سازی ساعت مبتنی بر استفاده از ماهواره است. این روش بسته به جزئیات سیستم، دقتی بین ۱۰۰ نانومتر تا ۵۰۰ پیکوثانیه را نتیجه می‌دهد. همگام‌سازی فیبر نوری روش نوظهوری است که اتصال نقطه به نقطه در آن برقرار می‌شود: همگام‌سازی فیبر نوری، دقت همگام‌سازی را تا چند ده پیکوثانیه افزایش می‌دهد.



حالت اسپینی مرکز NV در الماس می‌تواند به صورت نوری قطبیده شده و به صورت همدوس در دمای اتاق دستکاری شود.

اینجا همان جایی است که رایانه‌های کوانتومی وارد میدان می‌شود:

به طوری که اگر شما حالت کوانتومی یک مولکول را در یک رایانه کوانتومی ذخیره کنید، می‌توانید با آسودگی خاطر بدون بروز هر گونه مشکل حافظه‌ای رایانه را رها کنید.

اطلاعاتی که از این شبیه‌سازی‌ها استخراج می‌شود جنبه‌های مختلفی دارند:

در ابتدا، ما می‌توانیم نیروهای بین اتم‌های تشکیل‌دهنده مولکول را بررسی کنیم و بر اساس آن ساختار مولکول را درک کنیم. همچنین می‌توانیم رفتار مولکول را در حین انجام واکنش‌های شیمیایی مورد مطالعه قرار دهیم.

درک کامل واکنش‌های شیمیایی فردوکسین (Ferredoxin) با استفاده از رایانه‌های کوانتومی، هدف بلند مدت چنین فعالیت‌هایی است. گروه کوچکی از اتم‌ها شامل دو اتم آهن و دو اتم سولفور وجود دارد که مدلسازی آن با رایانه‌های کلاسیک با مشکل مواجه است. این گروه کوچک بسیار حائز اهمیت است. زیرا پیش‌بینی می‌شود که بتوان از آن برای تثبیت نیتروژن با انرژی کم استفاده کرد. به معنی آن که می‌توان از آن برای استخراج نیتروژن از هوا و قرار دادن در یک مولکول جدید بهره گرفت. این چیزی است که نوع بشر واقعا به آن نیاز دارد و یک مرحله اصلی در تولید کود است.

امروزه، این کار از طریق مصرف انرژی و حرارت موسوم به فرآیند هابر-بوش (Haber-Bosch) انجام می‌شود و مصرف انرژی بسیار بالایی دارد که خود منبع گسیل ۲-۳ درصد از دی اکسید کربن جهانی است. از این رو، صرف منابع تحقیقاتی گسترده بر روی چنین موضوعی بسیار ارزشمند است- این تنها یکی از مسائلی است که یک رایانه کوانتومی به تنهایی می‌تواند از پس آن برآید!

حسگرهای کوانتومی مارکز NV

مرکز NV در الماس مشابه یک اتم مصنوعی به دام افتاده در بلور الماس عمل می‌کند که مکان آن با مقیاس نانومتری کنترل می‌شود.

مرکز NV، جای خالی نیتروژن، یکی از نقص‌های کریستالی ساختار الماس است. حالت اسپینی آن می‌تواند به صورت نوری قطبیده شده و به صورت همدوس در دمای اتاق دستکاری شود. ضمن آن که به صورت نوری نیز قابل تشخیص است. همه این ویژگی‌ها ما را به استفاده از این ماده به عنوان یک حسگر کوانتومی (با حساسیت بسیار بالا و قدرت تفکیک فضایی در مقیاس نانومتری) ترغیب می‌کند.

به طوری که بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده در بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ بازار حسگرهای کوانتومی سود سالانه مرکبی در حدود ۸ درصد را به خود اختصاص خواهد داد.

یکی از مهمترین عوامل محرک بازار کوانتومی افزایش سرمایه‌گذاری دولت‌ها در زمینه تحقیقات کوانتومی برای دستیابی به منافع نظامی و اقتصادی است.

برای مثال ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۸، مرور استراتژی ملی دانش اطلاعات کوانتومی را منتشر کرد که در آن حسگرهای کوانتومی را با چنین عنوانی مورد مطالعه قرار داده است. "نفوذ ماشین‌های کوانتومی در ارتقای دقت مبنای اندازه‌گیری‌ها و توانمندسازی رژیم‌ها و روش‌های نوین در حسگرها و اندازه‌گیری". چنین قابلیت‌های نوینی مزایای نظامی متعددی را به همراه دارد و می‌تواند تاثیر مثبتی بر بازار جهانی این فناوری داشته باشد.

یکی از مهمترین عوامل محرک بازار کوانتومی افزایش سرمایه‌گذاری دولت‌ها در زمینه تحقیقات کوانتومی برای دستیابی به منافع نظامی و اقتصادی است.

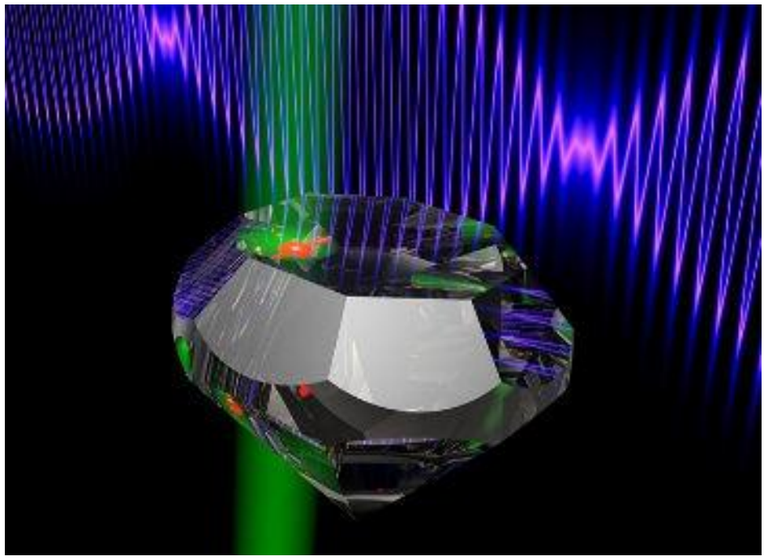
یکی از پیشرفته‌ترین کاربردهای آن‌ها، اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی است.

هر چند که این حسگرها می‌توانند میدان‌های الکتریکی، دما و حتی فشار را هم اندازه‌گیری کنند. در اینجا ما به معرفی تنها سه کاربرد مهم در زمینه‌ی ذخیره اطلاعات، بیولوژی و اسپینترونیک بسنده می‌کنیم.

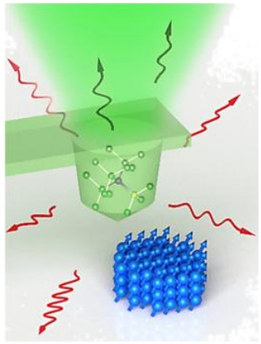
اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی پهن‌باند در مقیاس نانومتری با استفاده از یک ثبات کوانتومی هیبریدی

تولید و کنترل میدان‌های مغناطیسی با تغییرات سریع در مقیاس نانومتری، از جذاب‌ترین موضوعات مورد بحث در علوم مواد و گستره‌ی وسیعی از کاربردهای مقتضی است. هر چند که تاکنون امکان مشخصه‌یابی چنین میدان‌هایی در پهنای باند بالا و جهت‌گیری اختیاری فراهم نشده است. در سال‌های اخیر، دانشمندان روشی را برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی تولید شده توسط یک هد نگارش درایور دیسکت سخت با قدرت تفکیک فضایی بالا و پهنای باند وسیع ارائه کردند.

مراکز NV کاربردهای حسگری متعددی دارند که



مغناطش‌سنجی روبشی NV-روشی است که امروزه برای بررسی نظم ساختارهای آنتی‌فرومغناطیس پیچیده در مقیاس نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد.



در این روش، اسپین‌های یک الکترون و هسته به صورت همدوس کنترل می‌شود. نتایج این تحقیقات می‌تواند در پیشرفت و ارتقای روش‌های اندازه‌گیری کوانتومی درآینده نقش به سزایی ایفا کند.

تشخیص تشدید مغناطیسی هسته و طیف‌سنجی تک پروتئین‌ها با منطق کوانتومی:

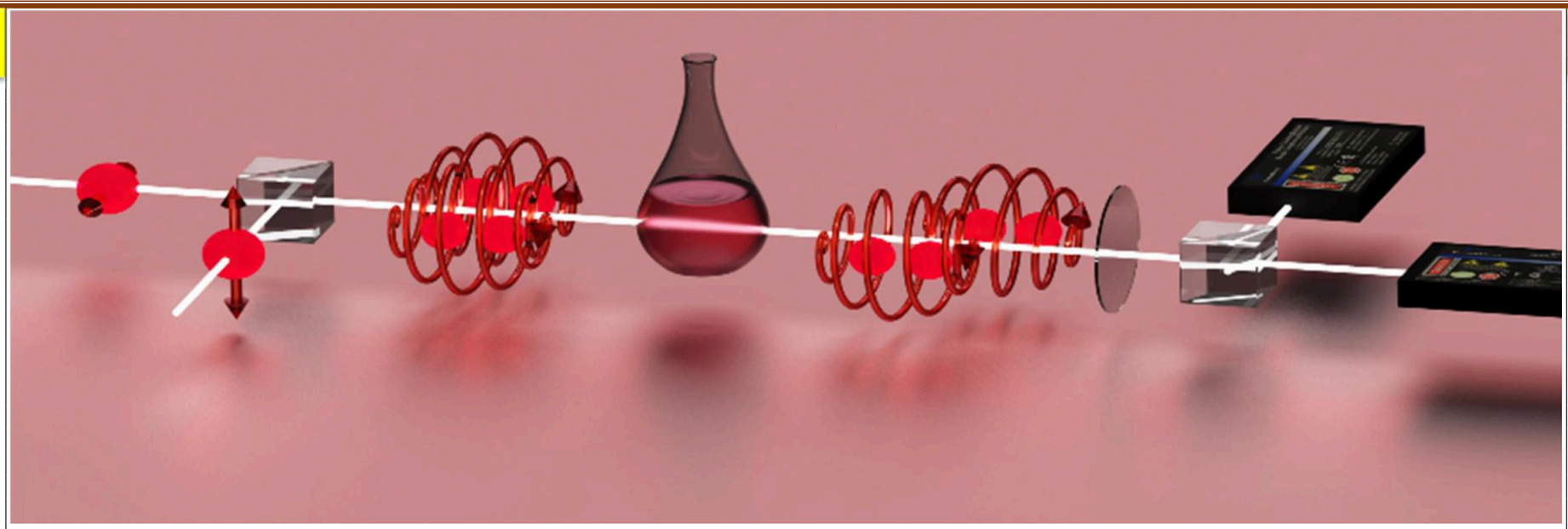
یک حسگر متشکل از دو کوانتوم بیت متناظر با یک اسپین الکترونی و یک اسپین هسته‌ای کمکی، برای تشخیص تشدید مغناطیسی در دمای اتاق و طیف‌سنجی گونه‌های هسته‌ای چندگانه در پروتئین‌های یوبیوکیتین جداگانه که به سطح الماس متصل شده‌اند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از منطق کوانتومی برای ارتقای روش اصلاح سطح و صحت بازخوانی استفاده می‌شود و از آن طریق، زمان همدوسی اسپینی مراکز NV کم عمق را گسترش می‌دهند. بر این اساس مشاهده می‌شود که حساسیت میدان مغناطیسی برای تشخیص اسپین‌های یک پروتون منفرد در بازه زمانی حدود یک ثانیه کافی است.

از این رو، با ثبت ویژگی‌های طیفی و استخراج اطلاعات از طیف حاصل، می‌توان ترکیب شیمیایی مولکول را مشخص نمود.

تصویربرداری از نظم مغناطیسی در مواد آنتی‌فرومغناطیس:

نزدیک به ۹۰٪ از مواد مغناطیسی شناخته شده برهم‌کنش‌های ضد فرومغناطیسی غالب از خود نشان می‌دهند، در نتیجه مغناطش صفر یا بسیار کوچکی برای آنها ثبت می‌شود و بیشتر آنها نیز عایق هستند. این امر به شدت مانع از تحقیق بر روی آنها می‌شود، به خصوص هنگامی که لازم است نظم مغناطیسی‌شان در مقیاس نانو مورد مطالعه قرار گیرد. مغناطش‌سنجی روبشی NV-روشی است که امروزه برای بررسی نظم ساختارهای آنتی‌فرومغناطیس پیچیده در مقیاس نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای این منظور بسیار ایده‌آل است و تحقیقات در این شاخه‌ی علمی همچنان ادامه دارد. با توسعه این روش در آینده‌ای نه چندان دور شاهد پیشرفت شگرفی در زمینه اسپینترونیک آنتی‌فرومغناطیس‌ها خواهیم بود.



سنجش، تصویربرداری و اندازه‌گیری کوانتوم-اپتیکی

در سنجش کوانتوم-اپتیکی و تصویربرداری کوانتومی، اثرات کوانتومی نور و به ویژه درهم‌تنیدگی کوانتومی آن، برای بهبود حساسیت اندازه‌گیری‌های فاز یا تفکیک فضایی سیستم‌های نوری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در سنجش کوانتوم-اپتیکی از تداخل‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری فاز نوری (و به همین ترتیب برای تعیین اختلاف راه‌ها در آشکارسازهای موج گرانشی)، استفاده می‌شود.

رایج‌ترین چیدمان اپتیکی برای این منظور، تداخل‌سنج ماخ- زندر است که از تابش نور همدوس کلاسیکی در یک ورودی بهره گرفته و با اندازه‌گیری اختلاف شدت در خروجی‌ها، فاز را ثبت می‌کند. حساسیت اختلاف فاز به واسطه نوفه ضربه‌ای تا حد کوانتومی استاندارد محدود می‌شود. می‌توان نشان داد که این حد مطلق بر اساس نظریه کوانتومی از حد هایزنبرگ به طور قابل توجهی کمتر است. به طور کلی دو روش استاندارد برای کاهش حد کوانتومی استاندارد وجود دارد. در چیدمان‌های رایج، هیچ نوری وارد درگاه ورودی دوم تداخل‌سنج ماخ-زندر نمی‌شود و در واقع این مهمترین دلیل بزرگی نوفه فاز است. اگر در عوض نور فشرده را از طریق درگاه دوم وارد کنیم، نوفه فاز تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد. هرچند که تولید نور بسیار فشرده نیز کار سخت و پیچیده‌ای است. با این وجود، استفاده از حالت‌های درهم‌تنیده نور می‌تواند یک جایگزین مناسب باشد، به ویژه استفاده از حالتی که آن را حالت "نون" می‌نامند. با عبور از یک جابجاگر فاز، در نور همدوس کلاسیک اختلاف فاز ایجاد می‌شود. در حالی که اختلاف فاز در حالت نون چندین برابر بیشتر است. این امر نوفه فاز را تا حد هایزنبرگ کاهش می‌دهد و حالتی را ایجاد می‌کند که فوق حساس نامیده می‌شود. البته همچنان چالش‌های بزرگی وجود دارد!

اول این که تشکیل حالت‌های "نون" کار مشکلی است. در ساده‌ترین حالت، برای تولید جفت‌های فوتونی از تبدیل کاهشی پارامتریک استفاده می‌شود و این فرآیند چندان موثر نیست. چالش دیگر اندازه‌گیری است: برای این منظور لازم است که آشکارسازهای فوتونی از قابلیت تشخیص تک فوتونی برخوردار باشند.

در سنجش کوانتوم-اپتیکی از تداخل‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری فاز نوری، استفاده می‌شود.

آشکارسازهای امواج گرانشی، تداخل‌سنج‌های نوری بزرگی هستند که می‌توانند تغییر طولی به اندازه یک هزارم قطر یک پروتون را که در اثر عبور امواج گرانشی ایجاد می‌شود، تشخیص دهند!

در تصویربرداری کوانتومی، از اثرات کوانتومی نور برای بهبود کیفیت تصویربرداری نوری استفاده می‌شود.

به عنوان مثال، از حالت‌های نون برای از بین بردن حد پراش رایلی در بهبود قدرت تفکیک یک سیستم تصویربرداری بهره‌گیری می‌شود که در لیتوگرافی کوانتومی کاربرد گسترده دارد.

یک روش تصویربرداری به طور کامل متفاوت نیز وجود دارد که به روش شبح‌نگاری موسوم است.

در این روش، شیء و آشکارسازی که در تصویربرداری از آنها استفاده می‌شود، تحت تابش دو پرتوی نوری جدا از هم قرار گرفته و تصویر با اندازه‌گیری شدت‌های مربوطه به دست می‌آید. در اولین آزمایش این اثر، از جفت فوتون‌های درهم‌تنیده استفاده شده است. یکی از فوتون‌ها برای روشن کردن شیء استفاده شده و با یک آشکارساز سطلی (آشکارساز تک فوتونی فاقد قدرت تفکیک فضایی) تشخیص داده می‌شود و فوتون دیگر دور از شیء با یک آشکارساز تک فوتونی روبشی آشکار می‌شود. هم‌رویدادها شمرده شده و سپس تصویر شیء تولید می‌شود.

استفاده از نور فشرده برای تشخیص امواج گرانشی

هنگامی که صحبت از فناوری‌های کوانتومی می‌شود، ممکن است که تنها تصویری از افزاره‌های بسیار کوچک در ذهن شما تداعی شود. در حالی که "نور فشرده" ابزار کوانتومی خاصی است که در بعضی از بزرگترین ماشین‌های روی زمین استفاده می‌شود: یعنی

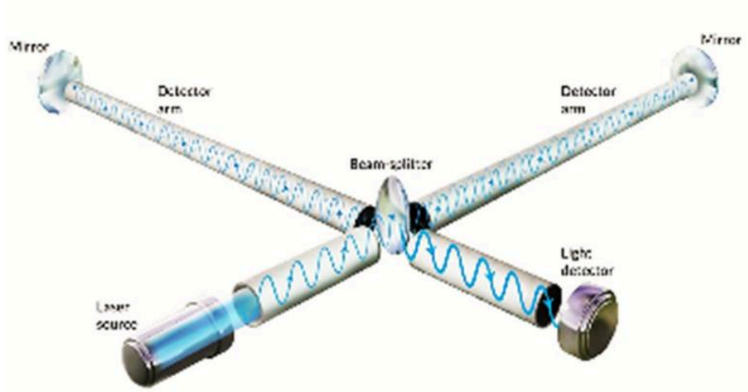
آشکارسازهای موج گرانشی

برای اولین بار در ۱۴ سپتامبر ۲۰۱۵، امواج گرانشی در رصدخانه LIGO آشکار شدند. این رویداد علمی پس از بازتاب گسترده‌ای که در سرتاسر جهان داشت، توانست برنده جایزه نوبل فیزیک ۲۰۱۷ شود.

علاوه بر دو آشکارساز LIGO در آمریکا، آشکارساز ویرگو در شمال ایتالیا و GEO600 در آلمان در حال بهره‌برداری است که همه با هم در یک شبکه جهانی همکاری می‌کنند. این افزاره‌ها، تداخل‌سنج‌های نوری بزرگی هستند که تغییرات بسیار کوچک در طول بازوهایشان را اندازه می‌گیرند. آنها به قدری حساس هستند که می‌توانند تغییر طولی به اندازه یک هزارم قطر یک پروتون را که در اثر عبور امواج گرانشی ایجاد می‌شود، تشخیص دهند.

حال اگر در آشکارسازهای امواج گرانشی از نور فشرده نیز بهره گرفته شود، دقت بالایشان از این هم بیشتر خواهد شد. بر اساس اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، دامنه و فاز یک موج نوری را نمی‌توان به طور همزمان با دقت نامحدودی اندازه گرفت. در نور معمولی مثل نور لیزر، عدم قطعیت به طور مساوی بین دامنه و فاز توزیع شده است. نوفه دامنه با ریشه مربعی توان لیزر متناسب است و به این ترتیب برای توان‌های بالاتر نور، نسبت سیگنال به نوفه افزایش می‌یابد. به همین دلیل، LIGO از لیزرهای بسیار پر توان بهره گرفته است. اما در عمل توان نور بیشینه نیز به واسطه گرم شدن آینه‌ها و دیگر اثرات اپتیکی محدود می‌شود. اما با استفاده از نور فشرده، عدم قطعیت می‌تواند تغییر کند! به طوری که نوفه در دامنه می‌تواند کاهش یابد یا به عبارتی "فشرده" شود، هر چند که آن نیز به بهای افزایش نوفه فاز (که در این آزمایش تجربی چندان حائز اهمیت نیست) تمام می‌شود. مشخصه‌یابی‌های بیشتر نشان می‌دهد که فوتون‌ها در نور فشرده درهم‌تنیده می‌شوند. در نتیجه در طول انتشار دیگر به طور کامل مستقل از هم حرکت نمی‌کنند، اما تا حد معینی از ویژگی‌های دیگر فوتون‌های باریکه نوری متاثر می‌شوند. نور فشرده توسط یک بلور غیرخطی خاص تولید می‌شود که درون یک تشدیدگر نوری قرار گرفته است.

GEO600 که سال‌های متمادی در حال توسعه فناوری‌های LIGO است، از سال ۲۰۱۰ در حال



استفاده از نور فشرده است. هم‌اکنون LIGO و ویرگو نیز در حال به روزرسانی توسط این فناوری نوین هستند. "فشرده‌سازی" یک روش معمول در فناوری‌های کوانتومی است که نه تنها در مورد نور قابل کاربرد است بلکه در بسیاری از سیستم‌های دیگر (مجموعه‌ای از اتم‌های سرد و به دام افتاده در ساعت‌های اتمی و یا حسگرهای کوانتومی) نیز می‌تواند به طور موثر عمل کند.

ارتباطات کوانتومی

ارتباطات کوانتومی گستره وسیعی از فناوری‌ها و برنامه‌های کاربردی را در بر گرفته است، از آزمایش‌های آزمایشگاهی نوین و پیشرفته گرفته تا زمینه‌های تجاری!

این مجموعه تکامل‌یافته‌ترین فناوری‌های کوانتومی را در توزیع کلید کوانتومی (QKD) و مولدهای عددی تصادفی کوانتومی (QRNG) دارد. ضمن آن که با برخی از چالش‌برانگیزترین فناوری‌های کوانتومی مانند توسعه شبکه ارتباطات کوانتومی پن اروپا و حتی شبکه گسترده‌تری همچون یک شبکه جهانی مواجه است.

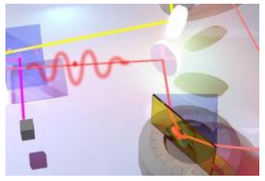
با توجه به تکامل برخی از زمینه‌های ارتباطات کوانتومی، این رشته سابقه طولانی در گردهم‌آوری صنعت و دانشگاه دارد.

در زمینه‌ی فناوری‌های کوانتومی، فوتونیک نقش مهمی را ایفا می‌کند. از اپتیک کلاسیک، غیرخطی و کوانتوم اپتیک گرفته تا برهم‌کنش نور-ماده، همه و همه موضوعاتی پایه‌ای هستند که به سرعت در حال ظهور در جهان واقعی و کاربردهای زندگی روزمره هستند.

فوتونیک مجتمع در ساخت افزاره‌ها و سیستم‌های پیشرفته‌تر، فشرده‌تر، ارزان قیمت‌تر و همچنین در تسهیل بهره‌برداری از آنها (نه تنها در ارتباطات کوانتومی بلکه در محاسبه و شبیه‌سازی و همچنین سنجش و اندازه‌گیری)، نقش کلیدی دارد.

در بحث کاربردها، تصور می‌شود که تنها QKD مطرح است اما در واقع این یک ابزار اساسی است. تعداد فزاینده‌ای از کاربردهای امنیتی بر روی این توزیع کلیدی مخفی در حال ساخته شدن است که از آن جمله می‌توان به بیمه امنیت بلند مدت اطلاعات و سوابق پزشکی ذخیره شده اشاره کرد. به طور مشابه در مورد QRNGها تصور این است که تنها قادرند اعداد تصادفی تولید کنند، در حالی که این اعداد تصادفی، خصوصی هستند و توجه غیر منتظره‌ای را در صنعت بازی به خود جلب کرده‌اند. ضمن آن که در زمینه تامین امنیت زیرساخت‌ها عنصر بسیار مهمی محسوب می‌شوند.

فوتون‌ها در نور فشرده درهم‌تنیده می‌شوند. در نتیجه در طول انتشار دیگر به طور کامل مستقل از هم حرکت نمی‌کنند اما تا حد معینی از ویژگی‌های دیگر فوتون‌های باریکه نوری متاثر می‌شوند.



بازار نقاط کوانتومی به واسطه کاربردهای آن در زمینه ساخت موادترکیبی، سلول‌های خورشیدی، افزاره‌های پزشکی، نمایشگرها و لیزرهای کوانتومی و ...، روند روبه رشد قابل توجهی دارد.

این زمینه‌ها حتی در آینده از پتانسیل‌های به مراتب بالاتری هم برخوردار خواهند بود. اما به همین ترتیب با چالش‌های بیشتری هم مواجه می‌شوند.

توسعه سیستم‌های پیچیده‌تر مبتنی بر درهم‌تنیدگی امکان بهره‌گیری از منابع کوانتومی را در فناوری‌هایی همچون اینترنت کوانتومی فراهم می‌کند. برای این منظور، ابتدا لازم است که فناوری درهم‌تنیدگی توزیع در فواصل طولانی توسعه یابد.

نقاط کوانتومی

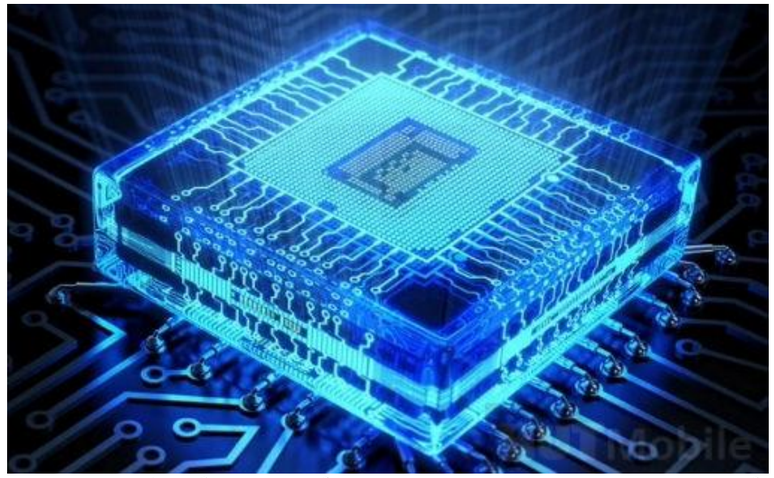
نقاط کوانتومی کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف مانند حسگرهای زیستی دارند که از آن جمله می‌توان به زیست‌حسگرهای تشخیصی و زیست حسگرهای فلورسانسی اشاره کرد.

بازار نقاط کوانتومی به واسطه کاربردهای آن در زمینه ساخت موادترکیبی، سلول‌های خورشیدی، افزاره‌های پزشکی، نمایشگرها و لیزرهای کوانتومی و ...، روند روبه رشد قابل توجهی دارد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ بازار نقاط کوانتومی چیزی بالغ بر ۸۶۰ میلیون دلار ارزش‌گذاری شده است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ این میزان به بیش از ۵۰۰۰ میلیون دلار برسد. با سود سالانه مرکبی در حدود ۶۱/۷% در بازه ی زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵، یکی از پرسودترین تجارت‌های جهانی محسوب می‌شود.

تقاضا برای بهره‌گیری از نقاط کوانتومی در نمایشگرهای با کیفیت بالا محرک اصلی این بازار جهانی است. انتظار می‌رود بازار نقاط کوانتومی در منطقه آسیا و اقیانوسیه بالاترین میزان رشد را در دوره پیش‌بینی شده به ثبت برسانند که این امر به دلیل گرایش مصرف‌کنندگان برای در اختیار داشتن محصولات پیشرفته فناوری و گسترش وسیع تحقیقات در دانشگاه‌ها و سازمان‌ها با هدف توسعه فناوری‌های کوانتومی در آینده خواهد بود. افزایش تقاضا در زمینه‌های الکترواپتیکی و کاربردهای انرژی خورشیدی از دیگر عوامل اصلی رشد بازار در این منطقه است. خواص نوری منحصر به فرد، عملکرد کوانتومی بالا، پهنای انتشار کم و پایداری نوری از جمله عواملی است که نقاط کوانتومی را به ماده ارجح در ساخت انواع صفحه‌های نمایش و لیزرهای کوانتومی تبدیل کرده است.

هر چند سهم کشور عزیزمان ایران در پیش‌بینی این بازار کم تخمین زده شده است اما با توجه به پتانسیل‌های موجود و بهره‌گیری از ظرفیت حداکثری می‌توانیم با قدرت بیشتری در بازارهای جهانی ظاهر شویم.

در آینده، مسیریابی‌های گوشی‌های هوشمند با بهره‌گیری از حسگرهای کوانتومی به مراتب دقیق‌تر صورت می‌گیرد، ارتباطات فیزیکی با استفاده از توزیع کلید کوانتومی (QKD) از امنیت بالاتری برخوردار خواهد بود و به لطف شبیه‌سازی‌های کوانتومی باتری‌ها با قدرت بیشتری عمل خواهند کرد.



گوشی‌های هوشمند

جزء به جزء گوشی‌های هوشمند شما شامل میلیون‌ها ترانزیستور و دیگر ادوات نیم‌رساناست. این افزاره‌ها، به عنوان اجزای سازنده منطق الکترونیک دیجیتالی کار می‌کنند که همه اینها به خاطر مکانیک کوانتومی است. زیرا تنها فیزیک کوانتومی امکان طراحی مواد بر پایه سیلیکان در این مدارهای مجتمع را در اختیار ما می‌گذارد. اما گوشی‌های هوشمند شما هنوز در حد یک رایانه کوانتومی نیست. اطلاعاتی که توسط این ترانزیستورها پردازش می‌شوند، کلاسیکی است.

ضمن آن که گوشی‌های امروزی شامل دوربین‌های دیجیتالی است و با یک حسگر CCD عمل می‌کنند. این حسگر بر اساس اثر فوتوالکتریک عمل می‌کند. باتری‌های گوشی‌های هوشمند با درک جزئیات فرآیندهای الکتروشیمیایی در حال بهبود یافتن است و این در حالی است که فیزیک کوانتومی کلید درک شیمی است.

در آینده‌ای نه چندان دور، گوشی‌های هوشمند با بهره‌گیری از امکاناتی که فناوری‌های نوین کوانتومی برایشان به ارمغان می‌آورند، هوشمندانه‌تر از گذشته می‌توانند به بشر خدمت کنند. مسیریابی‌های دقیق‌تر نیازمند بهره‌گیری از حسگرهای کوانتومی است، ارتباطات ایمن فیزیکی مستلزم استفاده از توزیع کلید کوانتومی (QKD) است. باتری‌ها را نیز می‌توان با شبیه‌سازی‌های کوانتومی بیش از پیش بهبود بخشید و به این ترتیب در آینده‌ای نه چندان دور مکانیک کوانتومی می‌تواند حتی سبک زندگی هوشمند شما را دستخوش تغییر کند.

آموزش کاربردی

Wolfram Mathematica

QUANTUMESPRESSO

QuTiP

Quantum Toolbox in Python

APSYS

CROSSLIGHT

PARSOPTICS.COM/APSYS

ParsOptics

QuantumATK

PARSOPTICS.COM/ATK

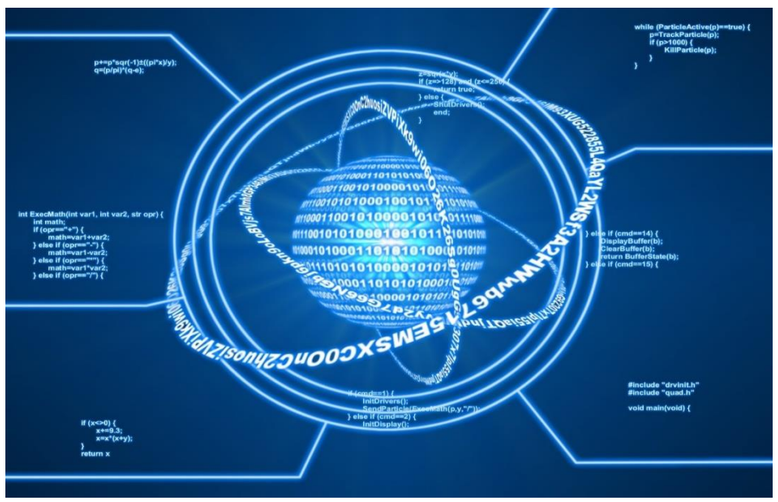
ParsOptics

به قلم مهرناز سیم‌دار
Mehrnaz.simdar@gmail.com

شبیه‌سازی کامپیوتری یکی از شاخه‌های مهم در حوزه علوم کوانتومی است. می‌توان سیستم‌های شیمیایی، زیستی و فیزیکی را با کمک الگوهای کوانتومی مدلسازی کرد و محاسبات مربوط را بر روی آن‌ها انجام داد. همچنین شناسایی و کشف مدل‌های جالب و جدید که برای شبیه‌سازی‌های کلاسیک از نظر محاسبات دشوار هستند با کمک شبیه‌سازی کوانتومی انجام می‌شود. توسعه ابزار اعتبارسنجی و تایید نتایج حاصل از شبیه‌سازهای کوانتومی و همچنین طراحی چیدمان‌های آزمایشی و کاربردی با اندازه کافی و در عین حال دارای تعداد درجات آزادی بالا برای کنترل پارامترهای کوانتومی از دیگر اهداف شبیه‌سازی کوانتومی است.

امروزه قبل از انجام آزمایش عملی هر نظریه‌ای، بررسی محاسباتی و شبیه‌سازی کامپیوتری آن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی که تولید آزمایشگاهی مواد و ترکیبات نانوساختار، هزینه‌بر و حساس است، یادگیری نرم افزاری جهت بررسی و شبیه سازی ساختارها برای کلیه افراد و پژوهشگرانی که بر روی نانوساختارها و پیش‌بینی ساختارهای جدید کار می‌کنند، ضروری است. «کوانتوم اسپرسو» (Quantum ESPRESSO) یا به اختصار QE یک نرم‌افزار متن باز تحت لینوکس است که برای شبیه‌سازی و محاسبات کوانتومی استفاده می‌شود. قابلیت‌های بسیار زیاد این نرم‌افزار و ارجاعات متعدد پژوهشگران و مقالات به آن موجب شده تا بتوان دانش نظری را قبل از به کارگیری عملی با هزینه‌ای اندک شبیه‌سازی کرده و محاسبات مربوط را با دقت بسیار بالا و قابل اطمینانی انجام داد. محاسبات کوانتوم اسپرسو براساس نظریه معتبر تابع چگالی (DFT)، امواج تخت و شبه پتانسیل‌ها کار می‌کند و برای محاسبات الکترونیکی و مدلسازی مواد در مقیاس نانویی طراحی شده است و به دلیل دقت بالایی که دارد، می توان از پاسخ محاسبات جهت درج در مقالات معتبر و پژوهش‌ها اطمینان نسبی به دست آورد. همچنین به دلیل متن باز بودن، این نرم افزار همواره در حال توسعه و تکمیل است که در هر نسخه جدیدی که ارائه می شود، ویژگی‌های محاسباتی بیشتری به آن اضافه شده است و نحوه محاسبات خواص ساختارها بهبود داده می‌شود.

برای استفاده از این نرم‌افزار، کاربر باید پیش زمینه‌ای از فیزیک حالت جامد و بلورشناسی داشته باشد. همچنین آشنایی با نانوساختارها، تئوری تابع چگالی و آشنایی با شبه پتانسیل‌ها



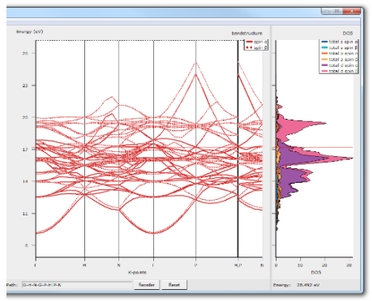
کمک می‌کند تا با انتخاب ورودی‌های دقیق، خروجی قابل استنادی به دست آید. در این نرم‌افزار با استفاده از گزینه‌های موجود می‌توان یک ساختار را طراحی کرده، سپس برای بررسی امکان وجود و پایداری این ساختار می‌توان حالت پایه سیستم را با حل معادلات خودسازگار (SCF) به دست آورد.

محاسبه حالت پایه برای به دست آوردن نیروهای بین اتمی، محاسبه انرژی آزاد سطوح، محاسبه‌ی انرژی حالت پایه‌ی سیستم و به دست آوردن ویژه توابع، محاسبه تنش و بهینه‌سازی ساختارهای یونی به کار می‌رود. همچنین می‌توان خواص الکترونی نظیر نوار انرژی و چگالی حالات و خواص فونونی مانند پاشندگی فونونی را محاسبه کرد.

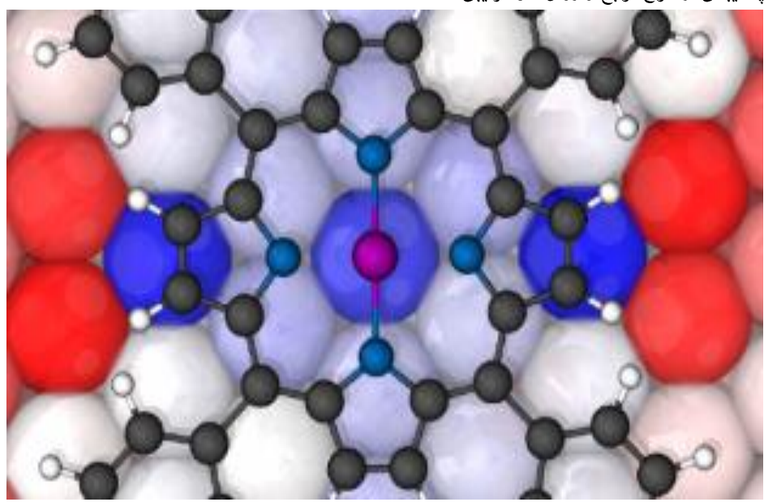
می‌توان کوانتوم اسپرسو را به صورت رایگان از سایت این نرم‌افزار تهیه نمود. به دلیل پیچیده بودن محاسبات بهتر است قبل از نصب آن از نرم‌افزارهای موازی‌ساز برای بهره بردن از سایر هسته‌های CPU استفاده کرد.

از مزایای استفاده از نرم‌افزار کوانتوم اسپرسو می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محاسبه توابع موج با استفاده از روش DFT و پشتیبانی از انواع توابع و روش‌های ترکیبی DFT



- جستجوی ساختار بهینه، حالت گذار و مسیر واکنش با استفاده از الگوریتم‌های متداول و دینامیکی
- محاسبه خواص سیستم‌های بلوری با استفاده از نظریه اختلال تابع چگالی (Density-Functional Perturbation Theory)
- دینامیک مولکولی کوانتومی شامل روش‌ها Born-Openheimer و Car-Parrinello
-پایگاه داده وسیع برای انتخاب شبه پتانسیل مناسب برای هر ماده
-محاسبه انتقال کوانتومی
- محاسبه خواص اسپکتروسکوپی



Quantum ESPRESSO مخفف عبارت Quantum Open Source Package for Research in Electronic Structure, Simulation and Optimization است.

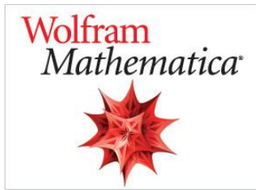
در جهان امروزی که همه گرایش‌های مختلف دانش بشری در حال رشد و پیشرفت هستند، علم فیزیک کوانتومی و گرایش‌های گوناگون آن نیز گسترش فراوانی یافته است. از آنجا که محاسبات مربوط به مسائل کوانتومی در ابعاد بزرگ و برای سیستم‌های بس ذره‌ای بسیار سخت، پیچیده و زمان بر است، نرم افزارهایی برای انجام این محاسبات طراحی شده‌اند. یکی از مهم ترین این نرم افزارها، wolframe mathematica و اضافه کردن بسته محاسبات کوانتومی به آن است. متمتیکا نرم افزاری قدرتمند در زمینه حل معادلات ریاضی است که به کمک آن کاربران می‌توانند معادلات سخت ریاضی را در کوتاه ترین زمان ممکن حل کنند. دیگر قابلیت مهم این نرم افزار، توانایی مدلسازی چند بعدی ریاضی است. در واقع عملکرد اصلی این نرم افزار بر پایه محاسبه و تجسم نمودن است.

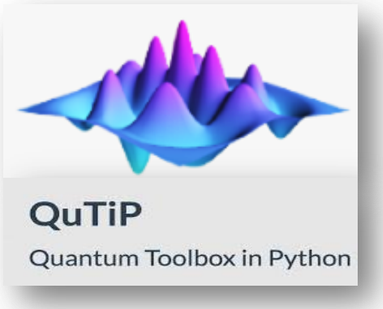
محاسبه فرمول‌ها، توابع، الگوریتم‌ها از دیگر ویژگی‌های این نرم افزار است که با تکیه بر آن این محصول توانسته با بیش از ۲۰ سال تجربه و میلیون‌ها کاربر در سراسر جهان به ابزار اصلی محاسبات روز دنیا تبدیل شود.

نرم افزار Wolfram Mathematica دارای رابط کاربری ساده و بصری برای کار است. این نرم‌افزار دارای دو بخش است. بخش اصلی آن شامل دستورات موردنیاز برای محاسبات فیزیکی است و بخش دیگر که عنوان بسته کوانتومی Wolfram Mathematica شناخته می‌شود، صرفا برای انجام محاسبات کوانتومی در فضای ماتریسی و در فضای دیراک (کت و برا) طراحی شده است.

قطعا یادگیری و کار با این نرم افزار به دانشجویان و پژوهشگران تحصیلات تکمیلی کمک خواهد کرد که محاسبات پایان‌نامه و مقالات خود را با سرعت و اطمینان و سهولت بیشتری انجام داده و از صحت نتایج خود مطمئن باشند. ضمنا شکل‌ها و نمودارهای ارائه شده توسط این نرم افزار از کیفیت بالایی برخوردار بوده و جهت درج در مقالات و پایان‌نامه مناسب‌اند. بنابراین به همه دانشجویان و پژوهشگران تحصیلات تکمیلی فیزیک که کار آن‌ها در حوزه گرایش‌های فیزیک کوانتومی است، یادگیری این نرم افزار مفید توصیه می‌شود.

این نرم‌افزار قدرتمند یکی از تولیدات شرکت نرم افزاری Wolframمی باشد.

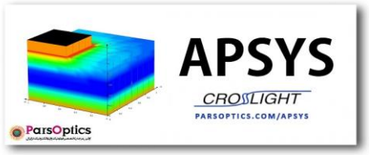




QuTiP یک نرم افزار منبع باز برای شبیه‌سازی سیستم‌های کوانتومی در زبان برنامه نویسی پایتون است. کتابخانه QuTip وابسته به پکیج‌های عددی بسیار خوب در پایتون به نام‌های Numpy، Scipy و Cython است. علاوه بر این، خروجی گرافیکی توسط Matplotlib ارائه می‌شود. QuTiP با هدف ارائه شبیه‌سازی عددی آسان و کارآمد از طیف گسترده‌ای از همیلتون‌ها، از جمله آن‌هایی که وابستگی زمانی دارند، استفاده می‌کند و معمولاً در طیف گسترده‌ای از پژوهش‌های فیزیکی مانند اپتیک کوانتومی، یون‌های به دام افتاده، مدارهای ابررسانا و تشدید کننده‌های نانومتری مکانیک کوانتومی استفاده می‌شود.

از این نرم‌افزار در کلاس درس و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی گرفته تا موسسات و شرکت‌های مختلف در سرتاسر جهان برای تحقیقات در زمینه اپتیک کوانتومی استفاده می‌شود.

QuTiP به صورت رایگان در کلیه سیستم عامل‌های اصلی مانند لینوکس و ویندوز برای استفاده در دسترس است.



یکی دیگر از نرم‌افزارهایی که برای شبیه‌سازی اپتیک کوانتومی به کار می‌رود، نرم افزار «APSYS» است. این نرم‌افزار یک ابزار منحصر به فرد در شبیه‌سازی پیشرفته مدل‌های فیزیکی برای طراحی ابزارهای نیم‌رسانا است.

APSYS آنالیزهای الکتریکی، نوری و حرارتی افزاره‌های نیم‌رسانا را به صورت همزمان و بر مبنای روش‌های عددی المان محدود (FEM) و تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD) در دوبعد و سه بعد انجام می‌دهد. ساختار شبیه‌سازی در نرم‌افزار APSYS مبتنی بر مهندسی ساختار باند و تأثیرات مکانیک کوانتومی است.

همچنین، این نرم‌افزار شامل ماژول‌های مختلفی برای شبیه‌سازی نوری است و این امر موجب شده است تا APSYS در شبیه‌سازی افزاره‌های نوری نظر بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کند.

این نرم‌افزار کاربردهای بسیار وسیعی دارد و تقریباً می‌تواند همه افزاره‌های نیم‌رسانا را شبیه‌سازی کند مانند:

-حسگرهای نوری (PD) و حسگرهای نوری چاه کوانتومی مادون قرمز(QWIP)

-ترانزیستورهای دوقطبی و HEMT و HBT و MESFET و MOSFET

-افزاره‌های MOS دارای آثار مکانیک کوانتومی (Quantum-MOS)

-مدولاتورهای جاذب الکتریکی (Electro-absorption)

-افزاره‌های دیودی و دیودهای تشدید تونلی (RTD)

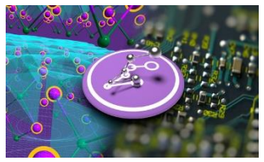
-دیودها، ترانزیستورها و سایر ادوات نوری سیلیکونی

-سلول‌های خورشیدی ارگانیک، ترکیبی، لایه نازک

-دیودهای نوری LED و OLED وAMOLED.

نرم‌افزار APSYS دارای کتابخانه گسترده ای از مواد است و از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرودینامیک، نوری، پخش-رانش، انتشار یونی-حرارتی، انتقال کوانتومی، تونل‌زنی کوانتومی، معادلات انتقال حرارت، Poole-Frankel و مدل وابسته به دما بهره می‌برد. شبیه‌سازی مدل‌های یادشده در این نرم‌افزار به صورت همزمان انجام می‌شود. تنها محدودیت نرم‌افزار APSYS در عدم بکارگیری رابطه نرخ فوتون برای مدلسازی افزاره‌های لیزری است.

«QuantumATK» بسته نرم‌افزاری کوانتومی قدرتمندی است که توانایی منحصر به فردی در شبیه‌سازی نانوساختارهای الکترونی و محاسبات انتقال الکترونی آن‌ها دارد. این نرم‌افزار به طور گسترده در مراکز پژوهشی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقالات علمی متعددی با کمک این نرم‌افزار ارائه شده است که تعداد بسیار زیادی از این مقالات با نتایج آزمایشگاهی همخوانی دارد. این نرم‌افزار با محیط گرافیکی پیشرفته و استفاده از زبان پایتون قابلیت بالایی برای تبادل اطلاعات با سایر نرم‌افزارهای کوانتومی دارد. در یک توصیف کلی این نرم‌افزار برای آموزش مفاهیم اساسی نانوساختارها و فیزیک حالت جامد است. از جمله زمینه‌های جذاب کار شده با این نرم‌افزار می‌توان به الکترونیک مولکولی، ابررساناها، دیودها، ترانزیستورها، الکترونیک کربن (مانند گرافن و نانولوله‌های کربنی) و اتصالات فلز به نیم‌رسانا اشاره کرد. روش‌های محاسباتی QuantumATK برای محاسبه انتقال الکترونی و اسپینی بر مبنای تابع گرین غیرتعادلی و تئوری تابع چگالی است. محاسبات انتقال الکترونی در اثر ولتاژ شامل محاسبات تعیین ماتریس چگالی و پتانسیل خودسازگار در فضای حقیقی خواهد بود.



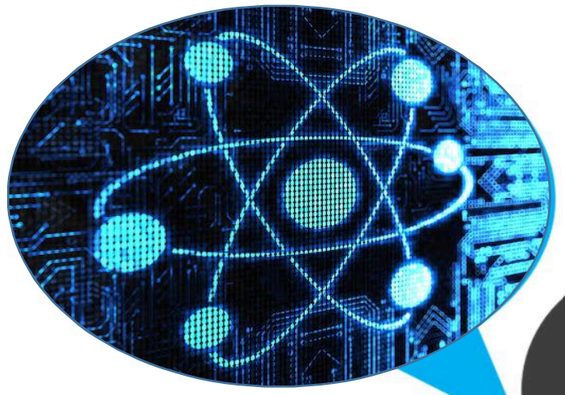
امکان بهینه‌سازی برای محیط آزمایشگاهی اشاره کرد. همچنین با استفاده از آن می‌توان مشخصات اپتیکی، ساختار نوار انرژی و چگالی حالت‌ها را بررسی نمود. در واقع این نرم‌افزار یک آزمایشگاه مجازی برای نانوساختارهای کوانتومی است.

آخرین نسخه نرم‌افزار quantumATK در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است.

علاقه‌مندان می‌توانند جهت دریافت اطلاعات بیشتر و آموزش‌های تخصصی به مرجع این مطلب در سایت گروه تخصصی پارس اپتیک به نشانی زیر مراجعه نمایند.

parsoptics.com

گفتگو



معرفی مرکز فناوری‌های
کوانتومی در گفتگوی اختصاصی
با رئیس مرکز

مصاحبه اختصاصی با جناب آقای دکتر آرم رئیس مرکز فناوری‌های کوانتومی و معرفی این مرکز

آقای دکتر لطفا قدری درباره زندگینامه‌ی شخصی و علمی‌تان بفرمائید و زمینه تخصصی شغلی خود را تشریح نمایید.

به نام خدا، اینجانب محمدرضا آرم هستم، رئیس مرکز فناوری‌های کوانتومی ایران و مدیرعامل شرکت توسعه و کاربرد فناوری‌های نو (تک‌فن).

سابقه علمی و تخصص اینجانب در ۲۰ سال اخیر در حوزه MBA و مدیریت بوده است و در این مدت مدیریت شرکت‌های مختلف اجرایی، مهندسی، فناوری‌های دانش‌بنیان و نوظهور مانند فناوری‌های کوانتومی را برعهده داشته‌ام. در این سال‌ها با کمک جوانان و دانشمندان جوان کشور توانستیم به حول قوه الهی دستاوردهای بسیار ارزشمند و ویژه‌ای را برای کشور به ارمغان آوریم. شاید به جرات بتوان گفت که در سایر دستگاه‌های اجرایی کشور این اعتماد به نفس و این خودکفایی و بومی‌سازی تاکنون رخ نداده بود. ما واقعا هرجا که با اعتماد به نفس و تکیه بر نیروهای جوان متخصص و متعهد داخل کشور با حرکت‌های جهادی، ایثار و از خودگذشتگی، تمرکز و تلاش، اراده کردیم، توانستیم آنچه را که دنیا و جهان مانع و محدود کننده ما برای رسیدن به این فناوری بود را به دست آوریم و واقعا این سطح از خواستن و توانستن را که از حضرت امام رضوان الله علیه الگو گرفتیم و یاد گرفتیم، توانستیم در مقام عمل و اجرا به نتیجه برسانیم. ما در این ۲۰ سال مشکلات مختلفی در مواجهه با چالش‌های داخلی و خارجی داشتیم که به روش‌های مختلف و گوناگون با نوآوری‌ها و تحقیقات و با دانش تخصصی نیروهای داخلی و دانشمندان جوان توانستیم بر آنها فائق بیاییم و برای تمام مشکلاتمان راه حل‌هایی از داخل کشور ایجاد نماییم. هرجا تفکراتی که مانع رسیدن به خودکفایی و بومی‌سازی بود را کنار گذاشتیم، واقعا موفق بوده‌ایم. بنده افتخار داشتم که در این ۲۰ سال گذشته در کنار انسان‌های بسیار بزرگی از دانشمندان، مدیران، افراد برجسته دانشگاهی، فارغ التحصیلان جوان دانشگاهی و انسان‌هایی با تجربه اجرایی بالا که اعتقاد به نیروهای داخلی داشتند حضور پیدا کنم و در کنار این عزیزان با استفاده از کار گروهی و با اتکال بر خداوند بزرگ و متعال و با استعانت از ائمه اطهار توانستیم واقعا خیلی از مشکلات را پشت سر بگذاریم و فناوری‌های ارزشمندی را عملیاتی و اجرایی نماییم که واقعا برای یک کشوری مثل ایران، که تحریم‌ها و موانع بسیاری پیش رو داشت، در وهله اول غیر ممکن بود، اما به دست جوانان و مغزهای متفکر این مملکت و اندیشه‌های با عزم و اراده قوی به اجرا درآمد و به نتیجه رسید. خدا را شاکر هستیم که توانستیم در سال‌های اخیر وارد حوزه فناوری‌های کوانتومی بشویم. در این حوزه هم با آن سبقه قبلی که بنده در سایر فناوری‌های سازمان به عینه به چشم خود دیده و لمس کرده‌ام، مطمئن هستم که می‌توانیم همگام با کشورهای پیشرفته دنیا گام برداریم و به جایگاه بالایی در فناوری که برازنده و زیبنده این مملکت و این مردم عزیز است، انشاالله به حول قوه الهی برسیم.

با توجه به موضوع اصلی این شماره‌ی نشریه ستاد توسعه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته در زمینه فناوری‌های کوانتومی و تخصص حضرتعالی در این زمینه، لطفا این فناوری نوظهور را با بیان خود معرفی بفرمائید.

فیزیک کوانتومی و یا مکانیک کوانتومی در مقابل فیزیک کلاسیک، بیش از ۱۰۰ سال است که توسط دانشمندان بزرگ مثل ماکس پلانک، شرودینگر، هایزنبرگ، انیشتین و ... فرضیه‌های آن مطرح شده است و روابط ریاضی آن اثبات شده است. اما واقعیت این است که به دلیل ماهیت پدیده‌های کوانتومی در ابعاد سطوح اتمی و مولکولی است(اگر چه اخیرا برخی خواص کوانتومی در مقیاس ماکروسکوپی هم بروز و ظهور پیدا کرده‌اند)، تا سال‌های اخیر این پدیده‌ها قابل اندازه‌گیری یا بروز در مقیاس ماکروسکوپیک و استفاده در مهندسی نبود و تقریبا از اواخر دهه ۹۰، با پیشرفت فناوری‌های روز دنیا در حوزه‌های حوزه‌های مختلف فیزیکِ اپتیک و الکترونیک، پیشرفت قابل توجهی در کاربرد و استفاده فیزیک کوانتومی در مهندسی شکل گرفت و به وجود آمد. در ۱۰ الی ۲۰ سال اخیر مراکز متعددی در دنیا روی این کاربردها متمرکز شده‌اند که اساس آن‌ها بیشتر بر پایه بر پایه فیزیک اپتیک-فوتونیک و فیزیک الکترونیک-ابررسانایی بود و به کمک آن از فرضیه‌های اولیه کوانتومی، پدیده‌هایی را توانستند اندازه‌گیری و مشاهده نمایند که قابل استفاده در صنایع روز دنیا بود. اما طبیعتا به دلیل بدیع و نوظهور بودن فناوری کوانتومی، زمان دستیابی به این فناوری و تجاری‌سازی و استفاده از آن در زندگی روزمره مردم، زمانبر خواهد بود.

مراکز تحقیقاتی که در دنیا در این حوزه شکل گرفته است استراتژی‌های بلند مدت، برنامه‌ها و نقشه راه‌های کلان ۱۰ یا ۲۰ ساله و حتی بیشتر را تدوین کرده‌اند که به سمت صنعتی شدن و تجاری شدن فناوری‌های کوانتومی گام بردارند و سرمایه‌گذاری نمایند. در حال حاضر چشم‌انداز بسیار وسیع و گسترده‌ای در دنیا برای این فناوری نوظهور به وجود آمده است؛ به طوری که هر پدیده فیزیک کلاسیک و هر پدیده مهندسی کلاسیک در مقابل خود یک پدیده فیزیک کوانتومی و مهندسی کوانتومی دارد که در صورت صنعتی شدن، به زودی جایگزین فناوری کلاسیک خواهد شد. این فناوری، توانمندی صنایع مختلف ارتباطات و اطلاعات، پزشکی، زیست‌شناسی، سنجه‌شناسی و محاسبات کامپیوتری را در دنیا به شدت بالا خواهد برد. هر کشوری که در این زمینه سرمایه‌گذاری نماید طبیعتا در دستیابی به این فناوری و دانش آن پیشتاز خواهد بود و سهم بیشتری از بازار جهانی را به خود اختصاص خواهد داد. کشور ما به یاری خدا توانست در سال‌های اخیر با هوش و درایت جانب آقای دکتر صالحی ریاست محترم سازمان انرژی اتمی وارد این حوزه بشود و زیرساخت‌های لازم، امکانات و نیروی انسانی لازم را برای یک حرکت تحقیقاتی بلند مدت با اهداف از پیش تعیین شده و مورد نیاز کشور، آماده و ایجاد نماید.

بطور کلی فناوری های کوانتومی در چه زمینه‌هایی کاربرد دارند؟

همانطور که عرض کردم تمام پدیده‌ها و اصول مهندسی مبتنی بر فیزیک کلاسیک، در فیزیک کوانتومی نیز یک معادل دارند و کاربردهای معادل فیزیک کلاسیک را در حوزه‌های مختلف فیزیک کوانتومی و حوزه‌های مختلف برق، مخابرات، مکانیک، ابزار دقیق، پزشکی و ... می‌توانید در پیشرفت‌های علمی مراکز تحقیقاتی دنیا مشاهده کنید. بر اساس نقشه‌های عملیاتی توسعه فناوری که در دنیا یا به عبارتی در اروپا، کشورهای شرق آسیا و آمریکا تهیه شده است، تقسیم‌بندی‌های مختلفی را برای کاربردهای فناوری‌های کوانتومی تعریف کرده‌اند که در کشور ما هم با الگوبرداری از این نقشه راه و برنامه‌های استراتژیک بلند مدت و بر اساس توانمندی‌ها و ظرفیت‌های داخلی، یک نقشه راه ۱۰ ساله برای کاربردهای مختلف فناوری کوانتومی در صنایع مختلف و محصول‌های قابل ارائه تهیه شده است. بر اساس این نقشه راه، برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت در حوزه توسعه فناوری کوانتومی به مجلس و دولت پیشنهاد شده است و مراحل تصویب اولیه و اجرایی شدن را می‌پیماید. به طور خلاصه اگر من بخواهم بخش‌های مختلف فناوری کوانتومی را نام ببرم می‌توانم به بخش متولوژی و ارتباطات کوانتومی اشاره نمایم که از مهمترین و ابتدایی‌ترین بخش‌های این فناوری بود که در دنیا شکل گرفت و توسعه پیدا کرد و بعضا در برخی از حوزه‌ها تجاری شده است که توسط بعضی از شرکت‌ها در دنیا به فروش می‌رسد. در بخش ارتباطات و اطلاعات کوانتومی، بحث مخابرات کوانتومی، ماهواره‌های کوانتومی، اینترنت کوانتومی، رمزنگاری کوانتومی و ارسال اطلاعات رمز شده کوانتومی قرار دارد که توسط کامپیوترهای کوانتومی قابل هک و شنود نباشد. این موضوع برای سیستم‌های امنیتی-اطلاعاتی کشور بسیار مهم است که بتوانند با پیشرفت‌های سیستم‌های شنود و هک در دنیا که در سال‌های آینده با ساخت کامپیوترهای کوانتومی بسیار پیشرفته خواهد شد، همگام شوند و سیستم‌های رمزنگاری داخل کشور را ارتقا بدهند، در حوزه مخابرات کوانتومی و رمزنگاری، دوشاخه شامل ارسال اطلاعات از طریق فضای آزاد و ارسال اطلاعات از طریق فیبرهای اپتیکی، مورد توجه مراکز تحقیقاتی دنیا است و در دستور کار مرکز فناوری کوانتومی ایران هم قرار دارد. ما در حوزه ارسال اطلاعات در فضای آزاد بحث ماهواره‌های کوانتومی را داریم که چشم انداز بسیار ارزشمندی را در حوزه مخابرات کوانتومی ایجاد می‌کنند. حوزه ارسال اطلاعات از طریق فیبر نوری، برای رمزنگاری اطلاعات بانک‌ها و سیستم‌های اطلاعاتی، بسیار پرکاربرد و حائز اهمیت است. بخش دیگری از کاربردهای فناوری کوانتومی که بسیار گسترده و قابل توجه در

حوزه‌های مختلف مهندسی است، سنسورها و اندازه‌گیری‌های کوانتومی با هدف دستیابی به دقت‌های بسیار فراتر از نمونه‌های مشابه کلاسیکی و حتی وَرای حد استاندار کوانتومی است. این سنسورها و اندازه‌گیری‌ها در حوزه‌های مختلف ساعت‌های اتمی، نیرو سنج‌ها، مغناطیس سنج‌ها، گرانش سنج‌ها و اندازه‌گیری ولتاژ، جریان، وزن و دما که دقت‌های بسیار بالایی مورد نیاز است، کاربرد دارد. این موارد معمولا در نقشه راه اکثر کشورهای دنیا و نقشه راهی که ما در مرکز فناوری‌های کوانتومی تهیه کرده‌ایم تعریف شده است. بخش دیگری که در فناوری‌های کوانتومی در دنیا خیلی جذاب است و کشورهای پیشرفته دنیا روی آن مطالعه می‌کنند و در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی هم موفق بوده، کامپیوترهای کوانتومی، ساخت سیستم‌های محاسباتی بر اساس الگوریتم‌های فیزیک کوانتومی، ذخیره‌سازی کوانتومی و سیستم‌های پردازش اطلاعات کوانتومی با سرعت‌های بسیار بالا است که اگر دقت کرده باشید، شرکت‌های آمریکایی گوگل و ماکروسافت در این زمینه پیشتاز هستند و سرمایه‌گذاری‌های کلانی در این حوزه شده است. ما نیز در مرکز فناوری‌های کوانتومی، در این حوزه یک بخشی را به عنوان محسابات کوانتومی و کامپیوترهای کوانتومی تعریف کردیم که اگرچه فاصله ما با دنیا و کشورهای پیشرفته در این حوزه زیاد است اما مطالعات و تحقیقات اولیه را شروع کردیم که انشاالله در صورتی که این محصول در دنیا تجاری بشود، حتما در زمان خودش حرفی برای گفتن خواهیم داشت. بخش دیگری از کاربردهای فناوری کوانتومی شامل شبیه‌سازی‌های کوانتومی به وسیله نرم‌افزارها است که بر اساس تئوری‌های اتمی-مولکولی و رفتارهای مواد در سطوح اتمی و مولکولی و ترکیب آن با رفتارهای مواد در سطوح ماکرو و کلاسیک است. به این روش می‌توان پدیده‌های شیمی و فیزیک مورد نیاز در صنایع مختلف را با دقت‌های بسیار بالا شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمود و برای تولید مواد جدید به کار برد تا هزینه‌های آزمایشگاهی کاهش پیدا کند. بخش دیگری از کاربردهای کوانتومی کاربردهای پزشکی و زیست‌شناسی این فناوری در حوزه شبیه‌سازی رفتار مواد زیستی و سلول‌های زنده موجود در بدن انسان، حیوان یا گیاه است. در این حوزه کاربردهای بسیاری را می‌توان نام برد. از جمله بررسی رفتار مغناطیسی ساختار چشم پرندگان مهاجر که مسیریابی حرکتی خودشان را از یک نقطه‌ای از کره زمین انجام می‌دهند. بحث بررسی فوتوسنتز در گیاهان و تولید انرژی با استفاده از پدیده فوتوسنتز با راندمان بسیار بالا که از جمله فناوری‌هایی است که اگر دنیا بتواند به آن دست پیدا کند، تولید انرژی بسیار ارزان قیمت و با راندمان بسیار بالایی خواهد بود. یک کاربرد دیگر در بحث تشخیص و درمان سلول‌های سرطانی با استفاده از پدیده درهم‌تنیدگی کوانتومی و یافتن راه‌های جلوگیری از رشد سلول‌های سرطانی در بدن است و روش‌های مختلف شناخت رفتار DNA در بدن انسان، ذخیره اطلاعات در DNA ها و بررسی فرآیندهایی که در مغز اتفاق می‌افتد با معادل‌سازی و شبیه‌سازی‌های کوانتومی و الگو گرفتن برای ساخت معادل‌های صنعتی، از کاربردهای بسیار جذاب و شیرین فناوری‌های کوانتومی در زیست‌شناسی و حوزه سلامت است که امیدواریم بتوانیم یک چشم‌انداز و یک زیرساخت بسیار مناسبی را در این حوزه‌های بسیار متنوع با استفاده از ظرفیت‌های داخلی ایجاد کنیم و دستاوردهای ارزشمندی را برای کشور به وجود آوریم.

جناب آقای دکتر، در ارتباط با مرکز فناوری‌های کوانتومی، زمان تاسیس، اهداف و برنامه‌های آن در صورت امکان توضیح دهید؟

تاریخچه تاسیس مرکز فناوری‌های کوانتومی در کشور به سال ۱۳۹۵ برمی‌گردد، تقریبا در اواسط سال ۹۵ بود که ریاست سازمان انرژی اتمی، آقای دکتر صالحی دستور دادند که در خصوص مطالعه روی بحث درهم‌تنیدگی کوانتومی و کاربرد فناوری کوانتومی، کمیته‌ای در سازمان انرژی اتمی تاسیس بشود. این کمیته با مشارکت متخصصان و کارشناسان پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی و تعدادی از اساتید حوزه فناوری کوانتومی از دانشگاه‌های کشور تشکیل شد و بحث انجام آزمایش درهم‌تنیدگی کوانتومی و بررسی این پدیده و همچنین تهیه نقشه راه و تاسیس مرکز فناوری‌های کوانتومی ایران آغاز شد. در سال ۱۳۹۶ اولین همایش ملی با دعوت از اساتید و دانشجویان این حوزه در سازمان انرژی اتمی برگزار شد و مقالات خوبی در این حوزه توسط اساتید و دانشجویان ارائه شد که به عنوان یک جرقه، تعداد زیادی از دستگاه‌های دولتی و وزارتخانه‌ها و بخش‌های خصوصی را هم هوشیار کرد و باعث شد که خیلی از دستگاه‌های دولتی و اجرایی کشور نیز کمیته‌های مشابهی را ایجاد کنند. با هوش و درایت آقای دکتر صالحی در این حوزه سازمان انرژی اتمی پیشتاز بود و هدف ما استفاده از تمام ظرفیت‌ها و توانمندی‌های تحقیقاتی و مهندسی پژوهشگاه‌ها و دانشگاه‌های کشور است و با ایجاد شبکه‌های همکاری علمی و تحقیقاتی قصد داریم که انشاالله بر اساس یک نقشه راه تعیین شده و مصوب این موضوع را پیش ببریم.

همزمان با تشکیل کمیته توسعه فناوری کوانتومی در کشور بحث ایجاد مرکز فناوری‌های کوانتومی و تهیه نقشه راه عملیاتی این حوزه برای کشور در دستور کار کمیته و کارگروه قرار گرفت. زیرساخت‌های آزمایشگاهی لازم، نیروی انسانی مورد نیاز، بودجه و مصوبات و اقدامات قانونی لازم، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی شد و به لطف خدا تاکنون به طور منظم پیگیری شده و اقدامات بسیار مناسبی انجام شده است. از جمله این اقدامات من می‌توانم اشاره کنم به بحث ارائه سند طرح توجیهی به مجلس شورای اسلامی، همچنین ارائه سند نقشه راه توسعه فناوری کوانتومی به شورای عالی انقلاب فرهنگی و شورای عتف و همچنین تصویب ردیف بودجه مورد نیاز برای سال‌های اولیه در مجلس شورای اسلامی. البته فعلا بودجه تخصیصی از سوی مجلس، بودجه قابل توجهی نیست اما قول مساعد داده شده است که در سال‌های آینده افزایش پیدا کند. در حال حاضر سازمان انرژی اتمی از مجموع بودجه سایر ردیف های تحقیقاتی خود، برای این حوزه هزینه می‌کند و چشم انداز روشنی را داریم که با توجه به حمایت مسئولین ارشد کشور و دولت و مجلس، در سال‌های آینده انشاالله بتوانیم بودجه‌های مورد نیاز برای توسعه این فناوری را بر اساس نقشه راه ۱۰ ساله جذب کنیم. نکته دیگری که لازم است اشاره کنم بحث ایجاد زیرساخت‌های آزمایشگاهی و تامین نیروی انسانی هست که بسیار مهم و قابل توجه برای برنامه ریزی بلند مدت است. درحال حاضر ۹ آزمایشگاه مختلف در حوزه‌های مختلف فناوری‌های کوانتومی در نقشه راه تعریف شده است. تجهیزات آزمایشگاهی و زیرساخت‌های اتاق‌های تمیز و تجهیزات فوتونیک و اپتیک که مورد نیاز برای این است، در حال تامین، ساخت و نصب و راه اندازی است. طبیعتا تاسیس آزمایشگاه‌های پیشرفته فوتونیک با قابلیت‌هایی که مورد نیاز اکثر پدیده‌های کوانتومی است و همچنین دستیابی به بودجه مورد نیاز و تامین کنندگان داخلی و خارجی مناسب که بتوانند ما را در ساخت و تامین این تجهیزات کمک کنند، از چالش‌ها و مشکلات این مسیر است که طبیعتا یک مقدار زمانبر است اما با همت و تلاش پرسنل و مدیران مرکز و سازمان انرژی اتمی سرعت خوبی به خود گرفته است و من فکر می کنم خیلی از تجهیزات ما در سال ۹۸ تامین شد و بخشی از تجهیزات مورد نیاز ما در سال ۹۹ تامین خواهد شد. زیرساخت‌های اتاق تمیز با کلاس ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ در حال تکمیل و آماده بهره برداری است و امیدواریم که بتوانیم نیروی انسانی مورد نیاز را هم شناسایی و جذب کنیم و در صورت نیاز نیز پرورش و آموزش بدهیم. لازم است اشاره کنم واقعا نیروی انسانی آگاه و آشنا به فناوری کوانتومی با تجربه آزمایشگاهی در داخل کشور کم داریم و ما از طریق ۲ الی ۳ فراخوان عمومی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی رزومه‌های متعددی را دریافت و بررسی کردیم و مصاحبه کردیم و تعدادی را جذب کردیم و کماکان این فرآیند جذب و استخدام نیروی متخصص ادامه دارد و مجددا اعلام آمادگی می‌کنیم که تمام دانشجویان و فارغ التحصیلان و اساتید محترم کشور و کسانی که تجربه و تخصص و علاقه‌مندی به فناوری کوانتومی دارند را دعوت به همکاری و استخدام می‌کنیم.

در صورت امکان، مختصری در ارتباط با برنامه‌های مرکز در سال ۹۹ توضیح دهید؟

اولویت کاری ما در سال ۹۹ با توجه به پیشرفت‌های دنیا در حوزه فناوری‌های کوانتومی و نیازهای کشور در درجه اول، بخش ارتباطات و اطلاعات کوانتومی خواهد بود که شامل مخابرات کوانتومی و رمزنگاری کوانتومی در فضای آزاد و یا در فیبر است و به موازات آن بحث مترولوژی و اندازه‌گیری‌های کوانتومی مبتنی بر فوتون‌های درهمتنیده با هدف اصلی تصویربرداری و رادار کوانتومی و هم‌چنین کاربردهایی در بیولوژی و پزشکی. ما در گام اول، برنامه‌ریزی برای ارسال اطلاعات رمزنگاری شده در فضای آزاد تا ۷ کیلومتر را در دستور کار داریم که انشاالله در سال ۹۹ تست‌های ستاپ‌های آزمایشگاهی آن انجام خواهد شد و خروجی‌های آن جهت اطلاع عمومی منتشر خواهد شد. همچنین ارسال اطلاعات رمزنگاری کوانتومی در فیبر تا ۱ کیلومتر و تا ۱۰ کیلومتر از برنامه‌های مرکز فناوری‌های کوانتومی است. حوزه دومی که در اولویت اول برنامه سال ۹۹ قرار می‌گیرد در بخش کاربردهای پزشکی و زیست‌شناسی است که در حوزه تشخیص و درمان بیماری سرطان با استفاده از تکنیک‌های کوانتومی و ستاپ‌های اپتومکانیک و اپتیک کوانتومی است که ستاپ‌های آزمایشگاهی برای این حوزه تعریف شده و انشاالله نتایج و خروجی‌های آن به اطلاع عموم خواهد رسید. از دیگر برنامه‌ها و پروژه‌های مصوب ما در سال ۹۹ پروژه سردسازی لیزری است که مورد نیاز ستاپ‌های مختلف فناوری‌های کوانتومی از جمله پروژه ساعت اتمی خواهد بود. جهت دستیابی به ساعت اتمی اپتیکی با اتم روبیدیوم و یا استرانسیوم تا دقت 10^{-18} ثانیه که اساس این تکنولوژی سردسازی

لیزری است و از پروژه‌هایی است که امیدواریم بتوانیم تا انتهای سال ۹۹ ستاپ اولیه آن را کامل کنیم و تست‌های اولیه‌اش را انجام دهیم. از دیگر پروژه‌هایی که مطالعات اولیه آن انجام شده و در حال تامین تجهیزات و راه‌اندازی اولیه ستاپ‌های آزمایشگاهی‌اش است، بحث تصویربرداری کوانتومی با هدف دستیابی به دانش فنی رادارهای کوانتومی است که این پروژه هم از پروژه‌های بسیار پرطرفدار و پیشرو در دنیا است و خیلی از کشورهای دنیا به دنبال دستیابی به رادارهای کوانتومی با قابلیت رصد و تشخیص هواپیماهای رادارگریز هستند. این قابلیت‌ها باعث شده است که خیلی از کشورها روی آن کار کنند، از جمله آمریکا و چین که ادعا کرده‌اند که توانسته‌اند این رادارها را بسازند و تست‌های اولیه‌اش را انجام دهند. البته اخیراً هم چند گروه در کانادا، اتریش و .. موفق به برپایی چیدمان‌های اولیه رادار کوانتومی در آزمایشگاه شده‌اند. از پروژه‌های دیگر مرکز فناوری‌های کوانتومی در سال ۹۹ که بحث گسترده‌ای را هم دارد، بحث‌های شبیه‌سازی کوانتومی در موضوعات مختلفی از جمله شبیه‌سازی سوخت هسته‌ای و همچنین شبیه‌سازی‌های مواد هوشمند جدید است. بحث هوش مصنوعی هم از موضوعات مورد نظر است که اگر بتوانیم متخصصین هوش مصنوعی کوانتومی را جذب کنیم برای سال ۹۹ استارت این حوزه را هم خواهیم داشت.

به نظر شما فناوری کوانتومی در سطح جهان و داخل کشور تا چه حدی توسعه یافته و پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آتی چه پیشرفت‌هایی در این عرصه حاصل شود؟

پیشرفت و توسعه فناوری‌های کوانتومی در دنیا و ایران با توجه به ماهیت بسیار جدید این فناوری و ابزارهای تحقیقاتی فوق دقیقی که نیاز دارد، طبیعتا به کندی رشد می‌کند و با افق‌های دراز مدت قابل دستیابی است. نباید تصور بشود که در کوتاه مدت تحولات چشم‌گیری حاصل خواهد شد. اگرچه در بلند مدت تحول‌های بسیار چشم‌گیری قابل تصور است که نیازمند زمان، پشتکار، برنامه‌ریزی و نیروی انسانی متخصص و با تجربه است. تربیت این نیروی انسانی، تامین زیرساخت‌های آزمایشگاهی و تامین تجهیزات طبیعتا زمانبر است. برای همین ما در گام اول برنامه زمان‌بندی ۱۰ ساله برای نقشه راه این حوزه تدوین کردیم. در دنیا کشورهایی مثل آمریکا، روسیه، چین و کشورهای اروپایی و همچنین کشورهای در حال توسعه مثل ترکیه، مالزی و سنگاپور، نقشه راه‌های متعددی را به صورت بلند مدت برنامه‌ریزی و تهیه نموده‌اند. همانطور که عرض کردم پیش بینی می‌شود تحول اساسی در گام اول در بحث ارتباطات و اطلاعات کوانتومی باشد و در گام‌های بعدی در حوزه‌های اندازه‌گیری یا سنسورها، زیست‌شناسی، پزشکی، کامپیوترهای کوانتومی و شبیه‌سازی‌های کوانتومی باشد که بتدریج بعضی از این‌ها نمایان خواهند شد و در کوتاه مدت محصولات با قابلیت تجاری‌سازی ارائه خواهند داد؛ بعضی دیگر نیز طبیعتا در زمان‌های بلند مدت‌تر (۱۰الی ۲۰ سال آینده) پیش بینی می‌شود که محصولات تجاری آن به بازار عرضه شود. نکته دیگری که می‌خواهم عرض کنم این است که تقریبا اکثر کشورهای دنیا مراکز کوانتومی بزرگی را در افق‌های ۲۰ الی ۳۰ ساله یا حتی فراتر برنامه‌ریزی کرده‌اند و در این مراکز کوانتومی سرمایه‌گذارهای دولتی و خصوصی حضور دارند. ما نیز دعوت می‌کنیم از تمام بخش‌های خصوصی و شرکت‌های دانش بنیان و بخش‌های دولتی که در مرکز فناوری‌های کوانتومی ایران سرمایه‌گذاری و مشارکت کنند، تا ضمن عقد تفاهم‌نامه‌های همکاری و تشکیل کنسرسیوم‌های تحقیقاتی و مهندسی با ایجاد ارزش افزوده از طریق سرمایه‌های جدید و نیروهای متخصص، بتوانیم سرعت پیشرفت را افزایش دهیم و فاصله خودمان را با دنیا کمتر کنیم. الان در این حوزه شاید بشود گفت فاصله ما با دنیا کمتر از ۱۰ سال است اما با کار و تلاش شبانه روزی، حرکت جهادی و حضور شرکت‌ها و متخصصین جوان، پرانگیزه و پرتلاش می‌توانیم این فاصله را واقعا به صفر برسانیم. لازم به ذکر است که در منطقه خودمان تقریبا رقیبی نداریم و در خاورمیانه پیشرو هستیم.

در سطح جهان طرح‌های ارائه شده در این زمینه تا چه حدی تجاری و عرضه شده‌اند؟

در دنیا محصولاتی که تقریبا تجاری شده است عمدتا در حوزه سیستم‌ها و تجهیزات مرتبط با دستگاهای رمزنگاری کوانتومی، دتکتورهای تک‌فوتون؛ و منابع تولید تک‌فوتون و یادرهم‌تنیدگی هستند که چند شرکت در دنیا که شاید تعداشان از ۱۰تا هم کمتر باشد ادعا کرده‌اند که این دستگاها را ساخته‌اند و تجاری کردند. اما در حوزه اندازه‌گیری و سنسورهای کوانتومی و مسیریاب‌های کوانتومی هم نمونه‌های پروتوتایپ پیشرفته و خوبی ساخته شده است که فناوری آن‌ها به اثبات رسیده و در مرحله ورود به تجاری سازی است. در حوزه‌های زیست‌شناسی و پزشکی نیز ستاپ‌های کاربردی در خصوص تصویربرداری کوانتومی از سلول‌ها، مغز و حتی شبکیه چشم، به نتیجه رسیده است که البته هنوز تجاری نشده است و به مرور با توجه به نیاز جامعه پزشکی، این‌ها وارد مرحله تجاری‌سازی خواهند شد. بحث کامپیوترهای کوانتومی هنوز تجاری نشده است اما نمونه‌های اولیه آن با قدرت پردازش بسیار بالاتر نسبت به نمونه‌های کلاسیک ساخته شده است اما فعلا در حد نمونه‌های آزمایشگاهی است که پیش‌بینی می‌شود ظرف ۵ تا ۱۰ سال آینده تجاری بشود که در این صورت تحول بسیار عظیمی در سیستم‌های محاسباتی، اطلاعاتی و ارتباطی دنیا به وجود خواهد آمد. یکی از محصولاتی که در حوزه فناوری‌های کوانتومی تجاری شده است بحث ساعت‌های اتمی است که تعدادی از شرکت‌های پیشرفته دنیا توانسته‌اند این ساعت‌ها را تولید کنند و به صورت تجاری وارد بازار نمایند. البته ساعت‌های اپتیکی با دقت 10^{-18}هنوز تجاری نشده است. ما نیز ساخت ساعت‌های اتمی با دقت‌های متفاوت را در برنامه داریم که در گام‌های اول ساعت‌های با دقت 10^{-10}و پس از آن 10^{-12} و 10^{-15}و در گام نهایی 10^{-18} را در برنامه داریم. با توجه به نیاز صنایع مختلف کشور از جمله صنایع مخابراتی، صنایع نظامی و هوافضا برای استفاده از فناوری ساعت‌های اتمی با دقت‌های متفاوت، ما نیز برای ساخت ساعت‌های اتمی با دقت‌های متفاوت برنامه ریزی کرده‌ایم که بعضی از آن‌ها در دنیا تجاری شده است و بعضی دیگر مانند استرانسیوم هنوز در دنیا تجاری نشده است.

آیا به واسطه این فناوری محصول یا دستگاهی در داخل کشور تولید شده است؟دستگاه‌ها یا محصولات موجود تولید شده در کشور از چه قابلیت‌هایی برخوردار هستند؟

در خصوص فناوری‌های کوانتومی اولین محصول یا دستگاهی که در داخل کشور توسط سازمان انرژی اتمی ساخته شد، پکیج تولید فوتون‌های درهم‌تنیده در سال ۹۷ بود که توسط رئیس سازمان رونمایی شد و به اطلاع عموم رسید. غیر از این پکیج هنوز محصول یا دستگاه دیگری در کشور ساخته و ارائه نشده است. این پکیج بعنوان پایه فناوری کوانتومی می‌تواند مورد استفاده دانشجویان و دانش‌پژوهان قرار بگیرد و در صورت اعلام نیاز از سوی هرکدام از مراکز صنعتی و دانشگاهی، مرکز فناوری کوانتومی آمادگی دارد که این پکیج آموزشی و کاربردی را بسازد و در اختیار دانش پژوهان قرار بدهد. اما دستگاه بعدی که مرکز ما در برنامه دارد به صورت تجاری ارائه بدهد، بحث سیستم‌های رمزنگاری کوانتومی است که امیدواریم ظرف یکسال آینده بتوانیم این دستگاه‌ها را برای رمزنگاری اطلاعات در فضای آزاد و فیبر به صورت پکیج‌های در گام اول نیمه صنعتی و بعدا به صورت تجاری و صنعتی در اختیار مراکز مخابراتی و اطلاعاتی کشور قرار بدهیم. البته، اخیراً اولین سامانه در حوزه مترولوژی کوانتومی در مرکز به بهره‌برداری رسیده است. سامانه‌ی عبورسنجی کوانتومی مبتنی بر فوتون‌های درهمتنیده که برای شناسایی محلول‌های DNA و متیلن مورد استفاده قرار گرفته است و به زودی به عنوان یک پکیج معرفی خواهد شد. علاوه بر این، نرم‌افزار شبیه‌ساز تولید جفت‌فوتون‌های درهمتنیده در کریستال‌های غیرخطی نیز توسط متخصصان مرکز تولید شده است که قرار است این سه محصول در قالب یک پکیج آموزشی به دانشگاه‌ها عرضه شود. البته، برخی زیرسامانه‌های مهم از جمله، دستگاه برچسب‌زن زمانی و شمارنده نرخ همزمانی، به همراه نرم‌افزار پساپردازش رمزنگاری نیز در مرکز ساخته و تولید شده‌اند که قلب حیاتی در چیدمان‌های کوانتومی به شمار می‌آیند.

با توجه به پیشرفت‌های علمی اخیر، جایگاه کشورمان در این عرصه را در میان سایر کشورهای برخوردار از این فناوری چگونه ارزیابی می‌کنید؟

با توجه به اینکه این فناوری به تازگی ظرف ۱۰ الی ۱۵ سال اخیر در دنیا شروع شده و رشد پیدا کرده است، فاصله ما با دنیا چندان زیاد نیست و پس از کشورهای صنعتی پیشرفته دنیا ما جایگاه بسیار خوبی را داریم. با توجه به سبقه قبلی که در دانشگاه‌های ما وجود داشته و حرکتی که مرکز فناوری‌های کوانتومی ظرف ۳ سال گذشته شروع کرده است و زیرساخت‌های مناسبی را ایجاد کرده، من فکر می‌کنم که در خاور میانه وضعیت خوبی داریم و می‌توانیم انشاالله با برنامه‌ریزی و مشارکت عمومی و حمایت‌های دولت و مجلس این فاصله را کمتر بکنیم و شاید جز ۲۰ کشور برتر در حوزه فناوری های کوانتومی قرار بگیریم.

چه موانع و چالش‌هایی را بر سر راه توسعه فناوری‌های کوانتومی می‌بینید؟

مهمترین نیاز و چالش اساسی در توسعه فناوری کوانتومی زیرساخت‌های آزمایشگاهی مورد نیاز است. همچنین نیروی انسانی متخصص و آموزش دیده و آشنا با کارهای عملیاتی و آزمایشگاهی در حوزه طراحی ستاپ‌های تحقیقاتی با دقت‌های بالا در حوزه فناوری کوانتومی مورد نیازاست که ما با کمبود نیروی انسانی در این حوزه مواجه هستیم؛ به دلیل اینکه خیلی از مراکز تحقیقاتی کشور روی مباحث تئوری فیزیک اپتیک و اطلاعات کوانتومی کار کردند و کمتر به مباحث آزمایشگاهی و تجربی و عملیاتی پرداخته شده است. طبیعتا در زمینه تامین تجهیزات و زیرساخت‌های آزمایشگاهی، تحریم‌های بین المللی یکی از موانع و چالش‌ها است که امیدواریم بتوانیم با سعی و تلاش همکاران مرکز و با استفاده از

گفتگو

ظرفیت‌های کشور یک سری از این تجهیزات را به صورت بومی تولید کنیم. به عنوان مثال ساخت آشکارسازهای تک فوتون، با استفاده از توانمندی‌های داخلی از برنامه‌های مرکز ما است و با چند مرکز تحقیقاتی و دانشگاهی مذاکره شده است که این آشکارسازها را در داخل کشور تولید کنیم. چالش بعدی که طبیعتا همیشه در تمام فناوری‌ها و علوم و مهندسی مطرح است بحث تامین بودجه مورد نیاز است که به نظر من دولت و مجلس در کنار برنامه‌های فناورانه که در کشور تعریف شده، حتما باید ارزش و اعتبار جایگاه فناوری کوانتومی را بالا ببرند. بحث بازگشت سرمایه هم در بلند مدت حتما قابل پیش بینی و امکان پذیر خواهد بود.

با توجه به شرایط اقتصادی و تحریم‌ها، ضرورت و امکان تولید و عرضه‌ی این فناوری در داخل کشور به چه صورت است؟

یکی از دلایلی که ضرورت پرداختن و توجه ویژه به توسعه فناوری کوانتومی را توجیه می‌کند همین بحث تحریم‌های بین المللی ایران در حوزه‌های فناورانه و تحریم‌های علمی و اقتصادی است که در این شرایط لازم است به صورت بومی و داخلی، دانش این فناوری را ایجاد نموده و توسعه دهیم، چرا که سایر کشورهای پیشرفته، این فناوری را در اختیار ما قرار نخواهند داد و در برخورد با بسیاری از حوزه‌های علمی و صنعتی دنیا در آینده به این دانش و فناوری نیاز خواهیم داشت.

بعنوان مثال در حوزه رمزنگاری و مخابرات کوانتومی، سیستم‌های کلاسیک در آینده نزدیک، پاسخگوی سیستم‌های پیشرفته هک در دنیا نخواهد بود و حتما باید رمزنگاری کلاسیک به رمزنگاری‌های کوانتومی غیر قابل هک تبدیل شود. اگر ما نتوانیم این دانش را کسب کنیم، در ارسال و دریافت اطلاعات محرمانه و دریافت اطلاعات سیستم‌های بانکی بسیار آسیب پذیر خواهیم بود. لذا از جنبه‌های استراتژیک و امنیت ملی پرداختن به فناوری کوانتومی در حوزه‌های مثل ارتباطات و اطلاعات و همچنین اندازه گیری‌ها و همچنین پزشکی، خیلی حائز اهمیت است و کشور باید حتما در این حوزه‌ها به صورت بومی و درونگرا با حداکثر استفاده از ظرفیت‌های ملی و بین المللی، دانش این فناوری را ایجاد کند.

لطفا بفرمائید که علاقه‌مندان به فعالیت در این حوزه‌ی تحقیقاتی باید از چه تخصص‌هایی برخوردار باشند.

علاقه‌مندان به مشارکت و حضور در فناوری کوانتومی به مبانی علمی فیزیک اتمی-مولکولی و اپتیک کوانتومی یا فوتونیک نیاز خواهند داشت. همچنین دانش‌آموختگان رشته‌های مهندسی آشنا به فیزیک و فناوری کوانتومی بسیار مناسب هستند. در حقیقت فناوری کوانتومی یک فصل مشترک و یا ترکیبی از علوم پایه فیزیک کوانتومی و مهندسی کاربردی در حوزه‌های برق، مخابرات، کامپیوتر و مکانیک است. توصیه بنده به جوانان و متخصصان و دانشجویانمان در حوزه های مهندسی و همچنین علوم پایه این است که مبانی علمی مکانیک کوانتومی و اپتیک کوانتومی پیشرفته را به را به خوبی مطالعه کنند و در کنار آن به صورت صنعتی با دید مهندسی و کاربردی، ستاپ‌های آزمایشگاهی را تا آنجایی که می‌توانند در دانشگاه‌ها بسازند و با سعی و خطا راه اندازی کنند و به جواب‌های پایدار با حداقل خطا برسند. این تجربیات آزمایشگاهی با دیدگاه تئوری‌های کوانتومی و ترکیب آن با تئوری‌های مهندسی برق، مخابرات، رمزنگاری، برنامه‌نویسی، فناوری اطلاعات و همچنین مکانیک، به ما کمک می‌کند که یک ترکیبی از علوم و مهندسی را در کنار هم داشته باشیم و به صورت کار تیمی با مشارکت تخصص‌های مختلف بتوانیم یک محصول کوانتومی را به بازار ارائه نماییم.

در صورت اطلاع بفرمائید که کدام مراکز تحقیقاتی در کشور هم‌اکنون در این زمینه مشغول به فعالیت هستند.

در خصوص مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی که هم اکنون در کشور فعال هستند می‌توان به دانشگاه اصفهان که قطب اپتیک کوانتومی است، دانشگاه تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه علم و صنعت، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه تبریز و تحصیلات تکمیلی زنجان اشاره کرد که البته عمدتاً تئوری هستند به جز دانشگاه اصفهان که اخیراً آزمایشگاهی در زمینه فوتونیک کوانتومی راه اندازی کرده است، سایر دانشگاه‌ها در این خصوص برنامه دارند و اعضاء هیئت علمی آن‌ها فعال هستند و پروژه‌هایی را به صورت مشترک به ما پیشنهاد داده‌اند که در حال بررسی پروپوزال‌ها و تهیه قراردادهای همکاری فیمابین هستیم. برای همکاری با همه مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی دست یاری و کمک دراز می‌کنیم و امیدواریم بتوانیم با تشکیل کارگروه‌های مشترک و تعریف پروژه‌های مشترک و جذب سرمایه گذاری‌های لازم از بخش‌های دولتی و خصوصی، حرکت در جهت توسعه و دستیابی به فناوری کوانتومی در کاربردهای مختلف با محصولات مختلف را سرعت ببخشیم.

آیا زیرساخت لازم جهت تولید تجهیزات مورد نیاز این حوزه در داخل کشور فراهم است؟

زیرساخت‌های لازم در جهت ساخت تجهیزات مورد نیاز برای توسعه فناوری کوانتومی تا حدودی به صورت کلی در کشور وجود دارد و برخی از تولیدکنندگان ما در شرکت‌های دانش‌بنیان خصوصی و یا دولتی زیرساخت‌های تولید قطعات اپتیکی، قطعات و تجهیزات لیزر و فوتونیک را دارند. اما طبیعتا باید بودجه مورد نیاز تامین شود که این زیر ساخت‌ها را به روز کنند و دقت‌ها را بالا ببرند و با مشخصه‌های فنی که ستاپ‌های فناوری کوانتومی در حوزه‌های مختلف نیاز دارد، بتوانند تولیدات جدید را انجام دهند. من فکر می‌کنم ما در چند سال اخیر با هماهنگی معاونت علمی ریاست جمهوری و دولت و مجلس توانستیم خیلی از شرکت‌های دانش‌بنیان را در حوزه‌های فناورانه فعال کنیم. همانطور که در نمایشگاه ایران ساخت مثال‌های زیادی را می‌بینیم. اما هنوز این شرکت‌ها در ابتدای راه هستند و آن کیفیت و دقت مورد نیاز با آن شرح خدمات و مشخصه‌های فنی تعریف شده که بشود بر اساس آن دستگاه را دقیق ارزیابی کرد، وجود ندارد. تولیدکنندگان داخلی ما هنوز به آن کیفیت معادل تجهیزات خارجی نرسیده‌اند. طبیعتا یک تمایل داخلی برای خریدهای خارجی به دلیل کیفیت بالاتر و دقت بالاتر، کماکان وجود دارد. اما ما سعی کرده‌ایم که برای تامین تجهیزات مرکز فناوری کوانتومی بیابین حرکت کنیم یعنی جایی که لازم داریم تجهیزات آزمایشگاه مرجع با دقت بالا تامین بشود، از تجهیزات خارجی و مدل های خارجی استفاده کنیم و همزمان تجهیزات ساخت داخل را هم که ممکن است دقت یا کیفیت پایین‌تری داشته باشد اما قیمت بسیار مناسب‌تری دارد را در جهت حمایت از تولید کننده داخلی خریداری کنیم و در کنار تجهیزات رفرنس و مرجع قرار می‌دهیم و در جایی که دقت پایین‌تری نیاز است از آن‌ها استفاده می‌کنیم. به عنوان مثال از میزهای اپتیکی، آشکارسازها، دستگاه‌های طیف سنج و قطعات اپتیکی مثل لنزها، فیلترها، کریستال‌ها که کما بیش در داخل کشور تولید می‌شود سعی می‌کنیم استفاده کنیم. من واقعا از سازندگان تجهیزات اپتیکی و فوتونیکی دعوت می‌کنم که برای ساخت لیزرهای مورد نیاز ما وارد میدان بشوند و دقت‌ها را بالا ببرند و ما حاضریم با آن‌ها قرارداد ببندیم و حمایت کنیم.

به عنوان سخن آخر بفرمایید که مرکز فناوری‌های کوانتومی در چه سطح و به چه شکلی از طرح‌های پژوهشی مرتبط و پژوهشگران علاقه‌مند به این حوزه حمایت می‌کند؟

شاید حدود ۲ سال است که وب‌سایت مرکز فناوری‌های کوانتومی راه اندازی شده است و تاکنون فراخوان‌های متعددی را در آن قرار داده‌ایم. از تمام متخصصین، شرکت‌های دانش بنیان، پژوهشگران و دانشگاهیان عزیز دعوت می کنم که به وب‌سایت ما مراجعه کنند و از اخبار و اطلاعیه‌های مرکز، بازدید نمایند و همچنین پروپوزال‌های خود را به آدرس پست الکترونیک مرکز ارسال نمایند. ما در حوزه‌های مختلف فناوری کوانتومی که جدولش در وب‌سایت قرار دارد، آمادگی دریافت پروپوزال‌های غنی و کامل را داریم با این نگاه که به یک دستگاه یا محصول تجاری قابل ارائه در بازار منتهی بشود و نیازهای ما را چه در حوزه زیرساخت‌های آزمایشگاهی و چه در حوزه محصولات کاربردی برای مشتریان ما در سایر صنایع تامین کند. آدرس وب‌سایت مرکز فناوری کوانتومی ایران www.icqts.ir است که تلفن تماس، آدرس ایمیل مرکز، نیازمندی‌های جذب و استخدام و همچنین لیست پروژه‌هایی که مرکز در حوزه‌های مختلف فناوری کوانتومی حمایت خواهد کرد در این وب‌سایت قرار دارد.

لازم به ذکر است که در حال حاضر تعداد قابل توجهی از متخصصان بسیار خوب در حوزه فناوری کوانتومی از دانش آموختگان دانشگاه‌های داخل کشور خصوصاً دانشگاه اصفهان و همچنین خارج از کشور فارغ التحصیل شده‌اند و در مرکز فناوری کوانتومی مشغول به فعالیت و پژوهش هستند. این افراد از بین حدود ۶۰۰ رزومه ارسالی به مرکز طی ۲ سال اخیر انتخاب شده‌اند.

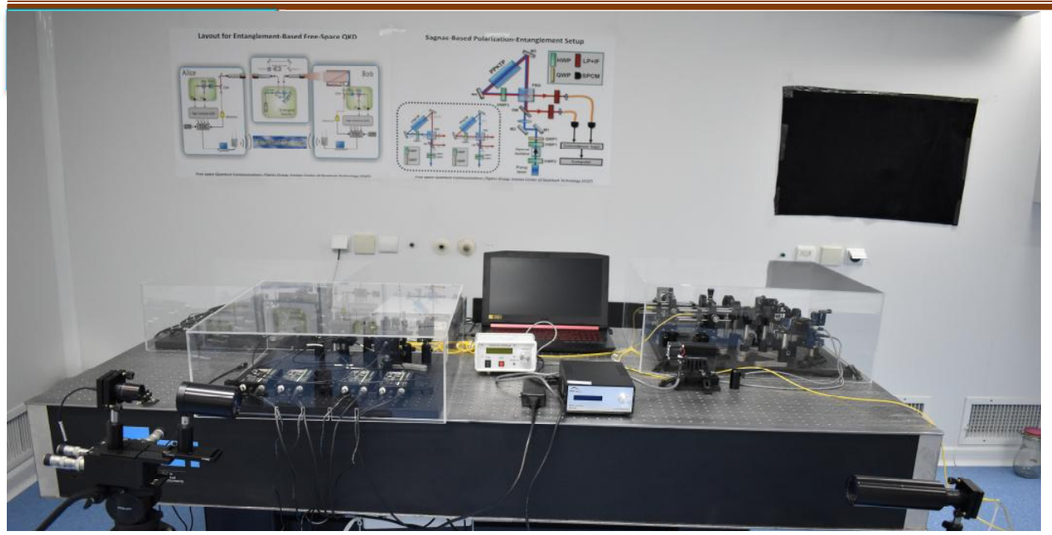
امیدوارم که با مشارکت جامعه پژوهشگران و مهندسین کشور و همچنین دانشگاهیان و مراکز تحقیقاتی و جذب بودجه‌های مورد نیاز از طریق دولت و بخش خصوصی، بتوانیم در راستای توسعه این فناوری کلیدی در قرن آینده، گام به گام با کشورهای پیشرفته قدم برداریم و کشور عزیزمان ایران را به جایگاه واقعی خودش در علم و فناوری برسانیم. در پایان خیلی تشکر می‌کنم از نشریه شما که این فرصت را دراختیار بنده و مرکز فناوری کوانتومی قرار دادید که کلیات موضوعات مورد نیاز افکار عمومی و جامعه پژوهشی را پاسخ دهیم و معرفی مختصری از فعالیت مرکز داشته باشیم.

گزارش تصویری از مرکز فناوری‌های کوانتومی و جدیدترین ستاپ‌های آزمایشگاهی این مرکز

با همکاری علی معتضدی

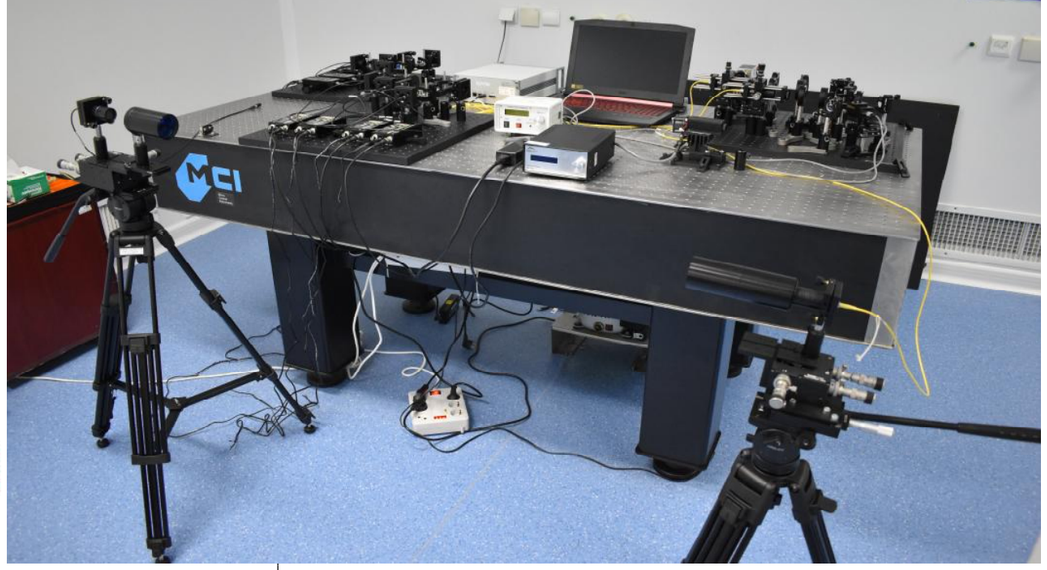
motazedifard.ali@gmail.co

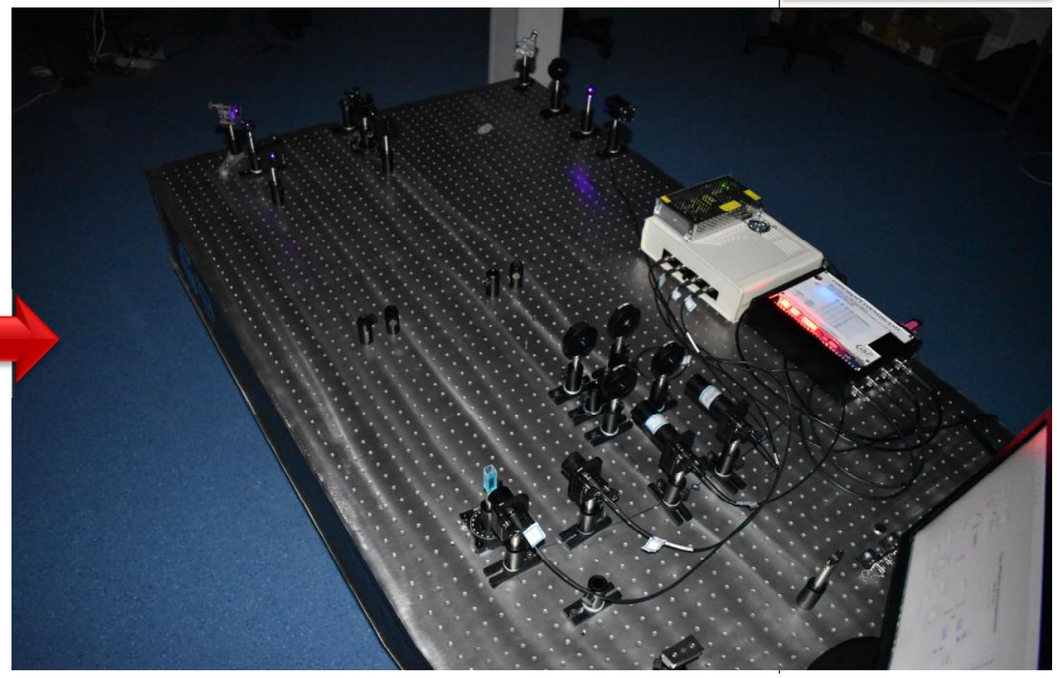
چیدمان تولید فوتون‌های درهمتنیده قطبشی به کمک فرآیند SPDCدر کریستال غیرخطی BBO نوع اول و تست نامساوی بل در فاصله آزمایشگاهی حدود ۱متر که سال گذشته برای اولین بار در ایران‌رونمایی شد.



رمزنگاری‌کوانتومی یا توزیع‌کلید کوانتومی در فضای آزاد به کمک فرایند SPDC در کریستال غیرخطی PPKTP نوع دوم در فاصله آزمایشگاهی حدود ۲ متر. به‌منظور افزایش نرخ و پایداری از تداخل‌سنج ساینک استفاده شده است. برد این‌سامانه قرار است در آینده به ۷ کیلومتر ارتقا یابد تا در صورت‌امکان در ماهواره‌های کوانتومی و انتقال امن اطلاعات در فضای برون‌شهری و بین کشوری مورد استفاده قرار گیرد.

علاوه بر این، سامانه رمزنگاری کوانتومی مبتنی بر درهمتنیدگی زمانی-فرکانسی بل و قطبشی بل در بستر فیبر با استفاده از چشمه‌های موجبری تولید درهمتنیدگی برای استفاده در مخابرات و بانک‌ها و محیط‌های درون‌شهری در حال برپایی و آماده سازی است.





لاین سمت راست:

الف. چیدمان تولید فوتون‌های درهمتنیده قطبشی و فرکانسی به کمک فرایند SPDC در

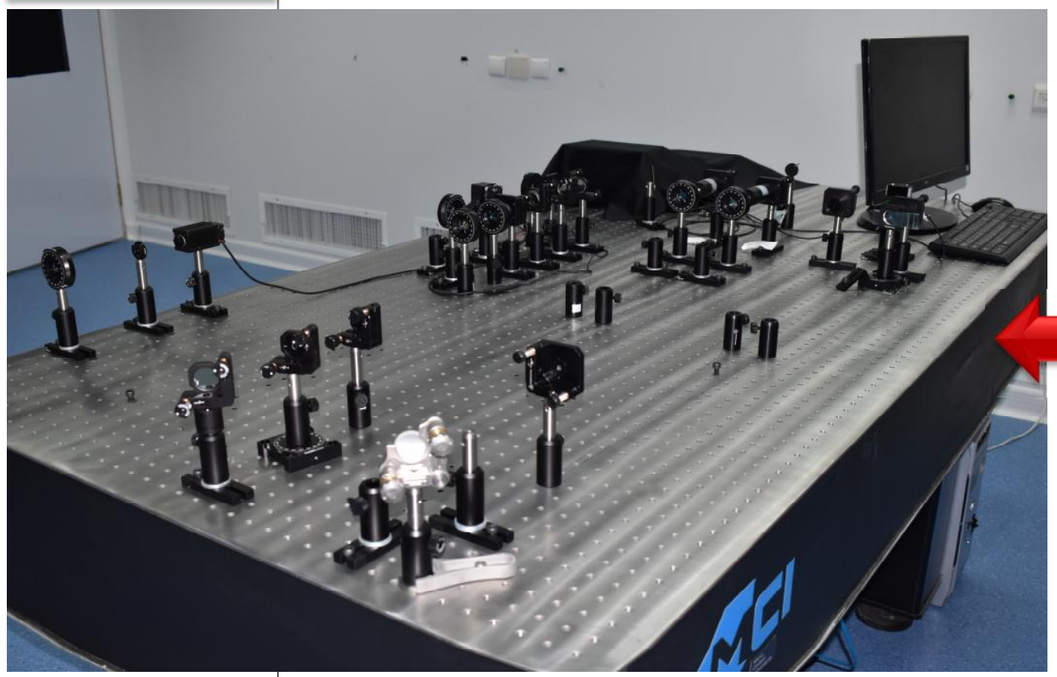
کریستال غیرخطی نوع اولBBO.

ب. تست نامساوی بل و دیگر نامساوی‌های ناموضعیت و توموگرافی حالت کوانتومی و اندازه‌گیری آنتروپی درهمتنیدگی دو کیوبیت فوتونی درهتنیده برای اولین بار در ایران

لاین سمت چپ:

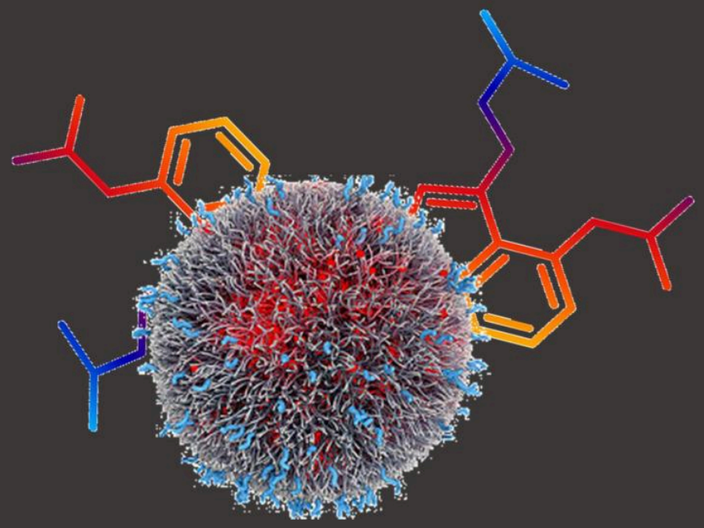
اولین چیدمان مترولوژی کوانتومی در ایران است که عبورسنجی کوانتومی فوق دقیق با استفاده از فوتون‌های درهمتنیده را نشان می‌دهد که برای اولین بار توسط متخصصان در مرکز فناوری‌های کوانتمی ایران برپا شده است. از این چیدمان برای اندازه‌گیری ضریب عبور محلول‌های مختلف DNA بافت ماهیچه دست انسان و خرگوش به منظور شناسایی و تمیزدادن آن‌ها استفاده شده است. همچنین برای عبورسنجی لایه‌های نازک نانومتری و محلول‌های متیلن با غلظت‌های مختلف که در عمل‌های جراحی و به عنوان دارویی برای ایدز و سارس مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده شده است.

این سامانه این قابلیت را دارد که به عنوان یک دستگاه عبورسنج فوق دقیق که مبتنی بر درهمتنیدگی کوانتومی است برای تشخیص نمونه‌های زیستی و بیولوژیکی و یا غلظت سنجی محلول‌ها و یا عبورسنجی لایه‌های نازک و یا بافت‌های سرطانی نیز در آینده مورد استفاده قرار گیرد.



کاربردهای نقاط کوانتومی

از علم تا ثروت



ساختارهای هسته-پوسته

گوشی‌های هوشمند

نمایشگرها و رایانه‌ها

سلول‌های خورشیدی

نقاط کوانتومی کربنی، از تولید به مصرف!

به قلم زینب ملکشاهی
z.malekshahi2015@gmail.com

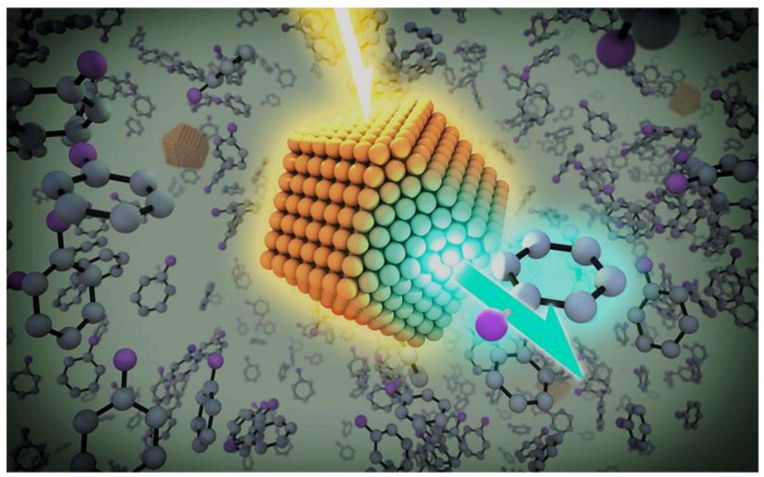
آینده متعلق به کوانتوم و فناوری‌های کوانتومی است که بر اساس پدیده درهم‌تنیدگی کوانتومی عمل می‌کنند. از این رو، تلاش برای دستیابی به مزایای این فناوری‌ها یکی از کلیدی‌ترین برنامه‌های راهبردی کشورها در سال‌های پیش رو است. آنچه مسلم است در بخش مواد، مهم‌ترین چالش در راه دستیابی به فناوری‌های کوانتومی، تولید و توسعه هر چه بیشتر نقاط کوانتومی است و به این ترتیب، بررسی روش‌های تولید و همچنین صنعتی‌سازی آن گام مهمی است که مورد توجه فناوران این عرصه علمی قرار گرفته است. برای این منظور لازم است در بدو امر، قدری با ویژگی‌های این دسته ار مواد آشنا شویم.

نقاط کوانتومی فلزی و نقاط کوانتومی کربنی دو رده مهم نقاط کوانتومی است.

نقاط کوانتومی فلزی شامل سولفید سرب، سولفید روی، فسفات ایندیوم، آرسنیک ایندیوم، تلوریـد کادمیوم، سلنید کادمیوم و سولفید کادمیوم هستند که بسته به اندازه و طول موج معینی از نور، پس از تحریک الکترون‌ها با استفاده از یک منبع خارجی از خود نور ساطع می‌کنند. نقاط کوانتومی کربنی، دسته‌ای از نانوکربن‌های تازه کشف شده هستند که شامل نانوذرات شبه کروی گسسته با اندازه کمتر از ۱۰ نانومتر هستند. از آنجایی‌که نقاط کوانتومی کربنی خاصیت فلوئورسانس بسیار قوی دارند، به آن‌ها کربن‌های فلوئورسنت نیز گفته می‌شود.

خواص مطلوب این مواد شامل انتشار نور وابسته به اندازه و طول موج، سهولت تولید، زیست‌سازگاری، انعطاف‌پذیری شیمیایی، هدایت حرارتی و الکتریکی بالا، خواص کاتالیزوری به دلیل دارابودن سطح ویژه بالا، حلالیت بالا در آب، قابلیت عامل‌دار کردن با گونه‌های مختلف آلی، پلیمری، معدنی یا بیولوژیکی و در دسترس بودن مواد اولیه ارزان و فراوان است.

این ویژگی‌ها منجر به گسترش روزافزون کاربردهای این مواد در صنایع مختلف اعم از الکتریکی، شیمیایی، پزشکی، تصویربرداری‌های زیستی، ساخت حسگرهای نوری، تولید رنگ‌های رسانا و رنگ‌های ضد رادار، رسانا کردن پلیمرهای عایق در لاستیک‌سازی و پلیمرهای بافت مصنوعی، بهبود بازده ضریب انتقال حرارتی در روغن‌های صنعتی و نیز کاربردهای دارورسانی شده است. همچنین از این مواد به دلیل خاصیت آنتی‌باکتریال آن در تولید محصولات گندزدا نیز استفاده می‌شود.



طی چند سال گذشته، پیشرفت‌های زیادی در بهینه‌سازی روش‌های سنتز و گسترش کاربردهای این مواد در زمینه‌های مختلف شیمی، فیزیک، مواد، زیست‌شناسی و دیگر علوم بین رشته‌ای صورت گرفته است. به طور کلی، سنتز نقاط کوانتومی به دو روش انجام می‌شود: روش‌های از بالا به پایین و از پایین به بالا.

برای تولید نقاط کوانتومی کربنی با استفاده از مجموعه روش‌های از بالا به پایین، ابتدا از روش برش لایه‌های گرافیتی در حضور اکسیدکننده‌های خیلی قوی استفاده می‌شد. سپس روش‌های جدیدتری مانند روش‌های الکتروشیمیایی و پلاسمایی مورد آزمایش قرار گرفت که هر دو روش در این مجموعه روش‌ها، دارای هزینه و زمان تولید بالایی هستند و باعث محدود شدن استفاده از این مواد در صنایع مختلف شده‌اند.

در مجموعه روش‌های از پایین به بالا، که شامل روش‌های ساده و ارزان‌تری هستند و اخیرا فقط در مقیاس آزمایشگاهی طراحی شده‌اند، از مواد اولیه کربنی برای تولید نقاط کوانتومی کربنی استفاده می‌شود. ساز و کار این روش به این صورت است: ترکیبات کربنی در شرایطی قرار می‌گیرند که اکسید شده و پیوندهای کربنی آن‌ها شکسته می‌شود و این ترکیبات به‌گونه جدیدی آرایش می‌یابند که نتیجه آن تشکیل نقاط کوانتومی کربنی خواهد بود.

با توجه به آن چه تاکنون در مورد ویژگی‌های نقاط کوانتومی کربنی بیان شد، به نظر می‌رسد این ماده یکی از مهمترین نیازهای پیش روی نسل آینده صنایع و فناوری‌های کوانتومی کشور باشد. از این رو اقدام عملی در جهت تولید این دسته از مواد کوانتومی می‌تواند راهگشای توسعه بسیاری از فناوری‌های آینده باشد.

در زمینه پیشرفت فناوری کوانتومی در حوزه مواد، شرکت‌های دانش‌بنیانی در کشور وجود دارد که به ساخت و تولید نقاط کوانتومی شیمیایی می‌پردازند و در این زمینه به پیشرفت‌های قابل توجهی رسیده‌اند و اختراعاتی نیز به ثبت رسانده‌اند.

برخی از این شرکت‌های دانش محور، با بهره‌گیری از فناوری روز دنیا، ذراتی با ابعاد صفر تا پنج نانومتر با خاصیت کوانتومی ساخته‌اند که خواص بی‌نظیری مانند مقاومت نوری، مکانیکی و الکتریکی منحصر به فردی دارند.

از میان شرکت‌های دانش‌بنیان متعددی که با تکیه بر دانش فنی خود اقدام به تولید مواد در ابعاد نقاط کوانتومی کرده‌اند، شرکتی همچون شرکت شیمی صنعت رشد سهند با بهره‌گیری از توانمندی‌های جوانان این مرز و بوم و با از میان برداشتن چالش‌ها و موانع تولید، امروزه به یکی از تولیدکنندگان اصلی نقاط کوانتومی کربنی تبدیل شده است که در ادامه به بررسی روند کار و محصولات سنتز شده توسط فناوران این شرکت دانش‌بنیان می‌پردازیم.

شرکت شیمی صنعت رشد سهند

سنتز و تولید صنعتی نقاط کوانتومی پایه کربنی

شرکت شیمی صنعت رشد سهند، یکی از شرکت‌های دانش‌بنیان کشور است که با بهره‌گیری از سال‌ها تجربه در زمینه سنتز و تولید صنعتی نقاط کوانتومی پایه کربنی، برای اولین بار در کشور موفق به تولید نقاط کوانتومی پایه کربنی شده است.

محصول تولید شده توسط این شرکت با قیمتی بسیار پایین‌تر و در حدود یک سوم در مقایسه با نمونه مشابه خارجی آن ارائه شده است. با تولید پایلوت صنعتی این محصول، ایران نیز جز کشورهای دارنده دانش فنی تولید این محصول به شمار می‌آید.

شرکت شیمی صنعت رشد سهند موفق شد برای اولین بار در دنیا، از نقاط کوانتومی پایه کربنی در تولید روغن برش استفاده کند و محصول حاصل با انجام آزمایش‌های میدانی تاییدیه‌های فنی و زیست‌محیطی لازم را از صنایع ماشین‌کاری هوا فضا و صنایع دفاع اخذ کرد.

این شرکت، در ابتدای سال ۱۳۹۵ توسط دکتر اشکان شمالی دانش‌موخته رشته شیمی آلی و دکتر اشرف فخاری دانش‌آموخته رشته داروسازی هسته‌ای، با زمینه کاری تولید روانکارها و شوینده‌های صنعتی تاسیس شد.

در واقع، شرکت شیمی صنعت رشد سهند، اولین شرکت تولیدکننده نقاط کوانتومی پایه کربنی در مقیاس صنعتی در کشور است. شرکت مذکور دارای مجوز دانش‌بنیان نوپا نوع یک در حوزه مواد پیشرفته و محصولات مبتنی بر فناوری‌های شیمیایی، از سال ۱۳۹۶ است.

شرکت با بهره‌گیری از حمایت مالی صندوق نوآوری و شکوفایی برای طراحی و ساخت راکتور صنعتی تولیدکننده نقاط کوانتومی، در حال حاضر با بهره‌گیری از راکتوری با ظرفیت تولید روزانه ۴۰۰ کیلوگرم نقاط کوانتومی کربنی مشغول فعالیت است.

از مهم‌ترین ویژگی‌های منحصر به فرد نقاط کوانتومی پایه کربنی تولید شده توسط این شرکت، می‌توان به میزان سمیت پایین، صرفه اقتصادی و هدایت حرارتی بالا اشاره کرد.

با توجه به کاربردهای بسیار وسیع این ترکیب شرکت شیمی صنعت سهند، موفق به کاربردی کردن این نانوذرات در زمینه‌های متعددی چون حسگرهای زیستی، تصویربرداری زیستی، پلیمر و مهندسی بافت و تولید انواع کاتالیزورهای شیمیایی شده است. تولید نقاط کوانتومی با استفاده از این روش در مقیاس صنعتی، می‌تواند به استفاده از این مواد در صنایع مختلف کشور که در زمینه فناوری‌های نانو فعال هستند، کمک شایانی کند.

به هر حال، از آنجایی که این مواد ارزشمند به دلیل داشتن خواص منحصر به فرد، از جایگاه خاصی در میان فناوری‌های نانو برخوردارند، پیش‌بینی می‌شود فناوری‌های منتسب به نانو در آینده در انحصار نقاط کوانتومی باشد. ضمن آن که کاربرد این ترکیبات در صنایع مختلف (از جمله کاربردهای پزشکی) با رشد فزاینده‌ای در حال گسترش است.

در حال حاضر، نقاط کوانتومی پایه کربنی در دنیا توسط چند کشور تولید می‌شود و در ایران توسط شرکت شیمی صنعت رشد سهند با میزان تولید روزانه ۴۰ الی ۵۰ کیلوگرم به صورت پایلوت صنعتی تولید می‌شود که بسته به تقاضا و نیاز شرکت‌های صنعتی امکان افزایش این میزان تولید همچنان وجود دارد. با توجه به ارزش بالای نقاط کوانتومی، این حجم تولید صنعتی محسوب می‌شود. از این محصول در تولید رنگ‌های فلورسانس، براق‌کننده‌ها و پاک‌کننده‌های صنعتی نیز استفاده می‌شود.

تولید روانکار دستگاه‌های ماشین‌کاری بر پایه نقاط کوانتومی کربنی

در ادامه فعالیت‌های شرکت، با توجه به فناوری پیشرفته تولید نقاط کوانتومی و عدم آگاهی مناسب صنایع برای بهره‌گیری از امکانات این نانوساختارها در فرآیندهای تولید، این شرکت دانش‌بنیان داخلی تصمیم گرفت این ترکیبات را به عنوان مکمل خواص روانکارها، در فرمولاسیون روانکار صنعتی مورد استفاده قرار دهد.

بر همین اساس، این شرکت، موفق شد روانکار دستگاه‌های ماشین‌کاری بر پایه نقاط کوانتومی کربنی در صنایع را با حمایت صندوق نوآوری و شکوفایی تولید کند. شرکت شیمی صنعت رشد سهند، از نقاط کوانتومی پایه کربنی به دلیل خاصیت انتقال حرارتی آن‌ها، در روانکارهای صنعتی تولیدی شرکت استفاده کرده است که استفاده از آن موجب کاهش اصطکاک قطعات ماشین‌های صنعتی می‌شود، ضمن اینکه از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی نیز شرایط مناسبی را برای مصرف کننده فراهم می‌کند.

این محصول با انجام آزمایشات میدانی، موفق شد تاییدیه‌های لازم فنی و زیست‌محیطی را از صنایع ماشین‌کاری هوا فضا و صنایع دفاع کسب کند.

هم‌اکنون بسیاری از صنایع مهم نظامی، قطعه‌سازی و خودروسازی کشور تامین روغن برش صنایع خود را به این شرکت واگذار کرده‌اند.

در فرمولاسیون این روغن که نتیجه سال‌ها مطالعه، تحقیق و توسعه است، هیچ باکتری نمی‌تواند رشد کند. ضمن آن که طول عمر این روانکار یک سال برآورد شده است و این حدود ۶ برابر طول عمر دیگر روانکارهای موجود در بازار است و به دلیل کاهش ۹۰ درصدی پسماندهای تولیدی در صنایع هدف، طول عمر دستگاه‌هایی را که از این محصول استفاده می‌کنند، تا دو برابر افزایش می‌دهد.

بعلاوه مصرف خود روانکار نیز تا ۹۰ درصد کاهش می‌یابد و این بسیار ارزشمند و از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه است.

در حال حاضر این شرکت، علاوه بر سرویس‌دهی به صنایع مختلف کشور، در حال بازاریابی و نمونه‌دهی به کشورهای همسایه نیز هست.

ناگفته نماند، با توجه به این فعالیت‌های تحقیقاتی با ارزش و تجاری‌سازی موفق محصولات این شرکت، مدیر عامل شرکت شیمی صنعت رشد سهند در سال ۹۶ به عنوان فناور برتر استان آذربایجان شرقی انتخاب شد.

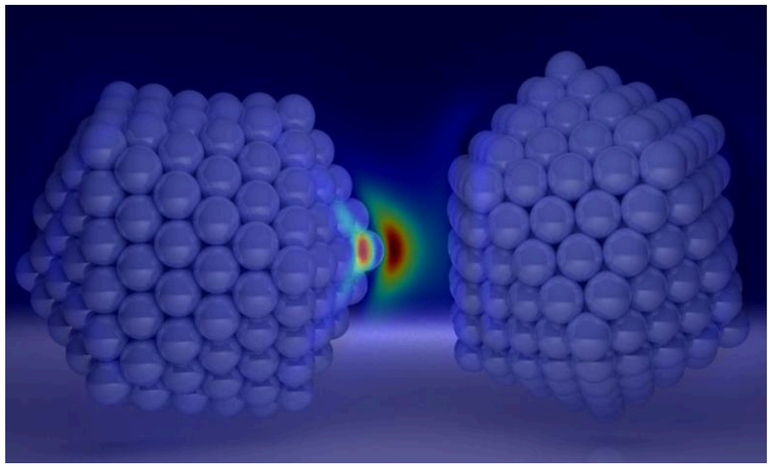
بهره‌گیری از پلاسمونیک کوانتومی در طراحی سلول‌های خورشیدی نسل آینده

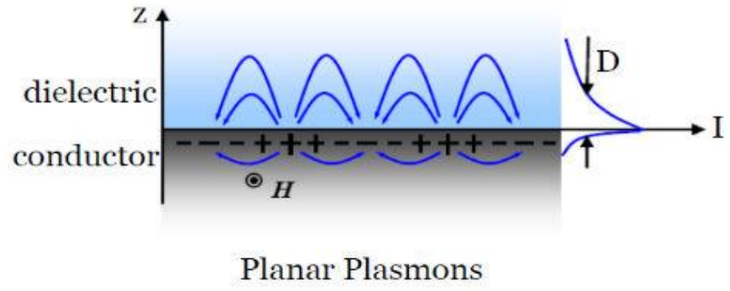
استان اصفهان یکی از قطب‌های اصلی فناوری‌های نوری کشور است. گروه پژوهشی اپتیک کوانتومی، در دانشگاه صنعتی اصفهان، فعالیت‌های هدف‌دار و متمرکزی را در زمینه فناوری‌های کوانتومی در حوزه فوتونیک و کوانتوم نوری دنبال می‌کند. کوانتوم نوری، به عنوان یکی از زیر مجموعه‌های فیزیک نوین، جلوه‌های متفاوتی از رفتار کوانتومی نور را بررسی می‌کند. استفاده از فوتون‌ها به جای الکترون‌ها، در ارتباطات و مخابرات موجب پدید آمدن فناوری فوتونیک کوانتومی‌شده که یکی از گرایش‌های مهم فیزیک محسوب می‌شود. در این میان پلاسمونیک کوانتومی یکی از مهم‌ترین پروژه‌هایی است که در خوشه اپتیک کوانتومی اصفهان، روی آن تحقیق و پژوهش انجام می‌شود. پلاسمونیک کوانتومی، به واسطه کاربردهای متعدد در رایانه‌های کوانتومی و میکروسکوپ‌های نوری با دقت بالا، یکی از به روزترین موضوعات فناوری‌های نوین است.

معرفی پدیده پلاسمونیک کوانتومی

پلاسمونیک کوانتومی یک شاخه علمی در حال گسترش است که به بررسی ویژگی‌های کوانتومی نور و برهم‌کنش آن با سامانه‌های فلزی نانومقیاس (که بخش مهمی از افزاره‌های پلاسمونیکی هستند) می‌پردازد. این برهم‌کنش باعث ایجاد نوسانات تجمعی الکترون‌های نوار ظرفیت فلز می‌شود که به آن‌ها پلاسمون می‌گویند. بسامدهای این نوسانات منطبق بر بسامد پلاسمای ماده است. به پلاسمون‌های تشکیل شده در سطح مشترک یک فلز و دی الکتریک، پلاسمون‌های سطحی می‌گویند. پلاسمون‌های سطحی، نوسانات همدوس الکترون‌های تراز هدایت سطح یک فلز هستند که با تابش نور (پرتو الکترومغناطیسي) برسطح مشترك فلز و نیم‌رسانا ایجاد مي‌شوند. در واقع، چالش اصلی در پلاسمونیک، تزویج نور به پلاسمون‌های سطحی است.

پلاسمون‌های سطحی به شدت با نور ناشی از پلاریتون‌ها واکنش می‌دهند. عبارت پلاریتون را می‌توان برای نوسان الکترون‌های مقید فلز در حالت جفت‌شدگی با فوتون‌های پرتو تابشی به کار برد. پلاریتون، برای شبه ذراتی که نیمی از آن ماده و نیم دیگر فوتون بودند، به کار گرفته شد که حالت تزویج شده بین یک فوتون پرتو تحریک کننده ابتدایی و الکترون‌های رسانش فلز است. در واقع پلاسمون پلاریتون‌های سطحی، تحریک‌های الکترومغناطیسی هستند که با الکترون‌های آزاد جمع‌شونده و نوسان‌کننده





Planar Plasmons

سطحی در فلزات تزویج می‌شوند تا بتوانند به صورت طولی در فصل مشترک فلز و دی‌الکتریک انتشار یابند.

پلاسمون‌های سطحی، توانایی جایگزین کردن نور را در ابعادی بسیار کوچکتر از طول موج نور مرئی دارند که از نظر تجربی و آزمایشگاهی دست یافتن به آن بسیار دشوار است. این محصورشدگی سبب کاهش حجم مدی شده و با استفاده از این روش امکان برهم‌کنش میان نور و ماده در شرایط برهم‌کنش قوی فراهم می‌شود. از این رو، در پلاسمونیک کوانتومی می‌توان بدون کاواک نوری برهم‌کنش قوی میان نور کوانتومی و ماده را تحقق بخشید.

می‌توان پلاسمونیک کوانتومی را ترکیب کوانتوم نوری با پلاسمونیک نوین دانست. همچنین در مقایسه با سامانه‌های مرسوم کوانتوم نوری، این حوزه از پارامترهای آزمایشگاهی قابل کنترل بیشتری برخوردار است و در نتیجه امکان کنترل دقیق‌تر سامانه را فراهم می‌کند.

ورود پدیده پلاسمون کوانتومی به فناوری

در سال‌های اخیر، پلاسمون کوانتومی به عنوان شاخه‌ای از فوتونیک ظهور پیدا کرده است که به بررسی پدیده‌های نوری الکترونیکی، اپتیکی و الکترونوری می‌پردازد. یکی از کاربردهای پلاسمون کوانتومی استفاده از آن در ساخت حسگرهای مولکولی، به دلیل موقعیت و شدت پیک‌های جذب و گسیل پلاسمون، متأثر از جذب سطحی مولکول‌ها است. همچنین از آنجایی که پلاسمون‌ها می‌توانند برای فرکانس‌های بسیار بالا در نظر گرفته شوند، می‌توان از آن به عنوان وسیله‌ای برای انتقال اطلاعات بر روی تراشه‌های رایانه‌ای استفاده کرد. پلاسمون‌ها همچنین به عنوان وسیله‌ای برای لیتوگرافی با رزولوشن بالا و میکروسکوپی با طول‌موج‌های بسیار کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نهایت، پلاسمون‌های سطحی به دلیل اینکه دارای ظرفیت‌های منحصر به فردی برای محدود کردن نور در ابعاد بسیار کوچک هستند، می‌توانند بسیاری از کاربردهای جدید را ممکن سازند. کاربردهای پلاسمونیک عمدتا به دلیل طول موج کوتاه پلاسمون‌ها است. طول موج بلند نور (چند میکرومتر) مانع از توسعه الکترونيك نوري در مقياس نانو مي‌شود. در حاليكه يك راه ممكن براي غلبه بر محدوديت تبديل نور به پلاسما است و پلاسمون‌ها به دلیل داشتن طول موج کوتاه، این مشکل را بر طرف کرده‌اند. پلاسما طول موج بسيار كوتاهتري نسبت به نور دارد و مي‌تواند مانند يك سيگنال الكترونيكي منتشر شود. طول موج الکترون‌های منتشر شده پلاسما در حد چند نانومتر است. در نتیجه این خاصیت، از پلاسمون کوانتومی در کاربردهای میکروالکتریک، حسگرهای شیمیایی برای شناسایی تک مولکول‌ها، لیزرهای نقاط نانوساختارهای پلاسمونیک در سلول‌های خورشیدی بهره گرفته می‌شود.

در دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان، یک گروه پژوهشی تحت عنوان گروه کوانتوم نوری نظری تشکیل شده است. هدف از تشکیل این گروه بررسی رفتار کوانتومی نور در سامانه‌های مکانیکی و در کل سیستم‌های بوزونی است. محققان این گروه به طور نظری جهت به بررسی قوانین بنیادین فیزیک کوانتومی و نیز بهره‌برداری از آنها در فناوری‌های مختلف از ارتباطات امن کوانتومی گرفته تا حسگرهای فوق دقیق می‌پردازند.

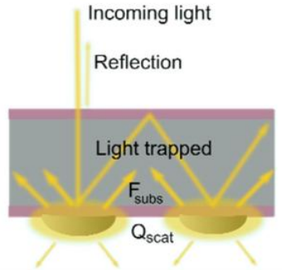
در ایـن بـین آشکارسـازهای نـوری و سـلول‌های خورشیدی بیش از سایرین از مزایای نقاط کوانتومی بهـره می‌برنـد. اسـتفاده از نـانو ذرات و نقـاط کوانتومی، باعث افزایش بازده و کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌وری این سلول‌ها شده است.

اســـتفاده از نـــانوذرات و نانوســـاختارهای پلاسمونیک در سلول‌هاي خورشيدي

امروزه، سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای به دلیل قیمت پایین و روش ساخت آسان بسیار مـورد توجه قرار گرفته‌انـد. بـا ایـن حـال، جـذب نـور پایین، بازده این دسته از سـلول‌های خورشـیدی را محدود کرده است. همچنین با وجود توسـعه فناوری‌های ساخت و بهره‌بـرداری از سـلول‌های خورشیدی، هنوز نیاز به پیشرفت‌های بیشـتر در زمینـه کـاهش هزینـه‌های الکتریکـی احسـاس می‌شود.

امـروزه در سـاخت سـلول‌های فتوولتائیـک بـا قابلیت عملکرد بـالا، از ترکیـب نـیم‌رسـاناهایی استفاده می‌شود که عناصر نادری مانند گـالیم و ایندیم در آنها به کار گرفته شده است. استفاده از نانوســـاختارهای پلاســـمونیک در کنـــار نیم‌رساناهای کم هزینه مانند اکسیدهای فلزی، منجر به کاهش هزینه‌های تولیـد مـی‌شـود. در این سـلول‌ها بخـش عمـده‌ای (حـدود ۶۰%) از نـور تابیـده شـده از سـلول خورشـیدی عبـور می‌کند. برای دسـتیابی بـه بـازده بـالاتر، طیـف نوری را با استفاده از نانوذرات فلزی، به محیط درون سلول منعکس می‌کنند.

در واقـــع، از نـــانوذرات پلاســـمونیک و پلاسـمون‌های سـطحی در سـاخت سـلول‌های خورشیدی نازک سیلیسـیوم، بـه منظـور افـزایش بهـره‌وری و کـاهش هزینـه‌های سـلول‌های خورشـیدی فتوولتائیـک اسـتفاده می‌شـود. اندازه‌گیری‌ها نشان داده است که ایـن افـزایش بـازده بـه دلیـل افـزایش ۵ درصـدی بـازده کوانتـومی، افـزایش ۴۸ درصـدی جریـان اتصـال کوتاه، افزایش ۱۳ درصدی به دام‌اندازی نـور و نیز افزایش ۳۵ درصدی به خاطر بهره‌گیری از لایه ضدبازتابی اسـت. در ایـن سـاختارها نـور را هـم از سـطح جلـویی هـم از سـطح پشتی سلول می‌تـوان تابانـد. ضـخامت لایـه تله نوری ۱۲۰۰-۷۵۰ نانومتر است.



دانشمندان آزمایشگاه نانوفوتونیک رایس، روشـی جدیـد بـرای طراحـی سـلول‌های خورشـیدی لایـه نازک ارائه داده‌اند کـه جـذب نـور در آن توسـط نانو مواد اتفاق می‌افتد.

اسـتفاده از ایـن روش، جـذب در سـلول‌های خورشیدی پوشش داده شده با ذرات پلاسـمونیک را افزایش می‌دهد. ساختار سطحی ایجاد شده بـا نـانوذرات، بـا پراکنده‌سـازی نـور بـه داخـل سلول‌خورشـیدی و تـزویج آن بـه پلاسـمون‌های سطحی، میزان جذب نور در سـلول خورشـیدی را افزایش می‌دهد.

در واقع، ساز و کار این سلول‌ها بـه ایـن صـورت است که پلاسمون‌های سطحی برانگیخته شده در فلزات نانوسـاختار، بـا تـزویج نـور تابشـی باعـث افـزایش نوسـانات دسـته‌جمعی الکترون‌هـای رسانش سطح فلز می‌شود و این امر خـود منجـر به تشدید میدان‌های الکترومغناطیسی می‌شود.

در نتیجه این ساختارهای فلـزی، بـا داشـتن طـول موج کوچک‌تر از طول موج نور تابشی در فضـای آزاد، به عنوان مولفـه‌هایی بـرای بـه دام انـداختن نـور خورشـید در سـلول‌های خورشـیدی مـورد استفاده قرار گرفته‌اند و می‌تواننـد میـزان جـذب اپتیکی و بـازده تبـدیل تـوان الکتریکـی سـلول را بهبود دهند بدون این که معماری ساختار سـلول خورشیدی تغییر کند.

طراحـی سـلول خورشـیدی پربـازده بـا کـاربرد نانوساختارها توسط محققان ایرانی

بـه دلیـل اهمیـت بهینه‌سـازی مصـرف انـرژی در کشور و در نتیجه نیاز مبرم به توسعه انرژی‌هـای تجدیدپـذیر و انجـام تحقیقـات در ایـن زمینـه، تحقیقات مـوثر و هدفمنـدی بـه منظـور کـاهش مصـرف انـرژی و افـزایش بـازده سـلول‌های خورشیدی، با ایجاد نوآوری‌هـایی در ایـن حـوزه، در حال انجام است.

برای نیل به این هدف، محققـان دانشـگاه شـهید رجـایی بـا پشـتیبانی صـندوق حمایـت از پژوهشگران و فناوران معاونت علمـی، تحقیقـات مـوثر و هدفمنـدی انجـام داده‌انـد و موفـق بـه انجام طراحی و شبیه‌سـازی سـلول خورشـیدی بـا بازده بالا مبتنی بر نانوساختارها شده‌اند.

از آنجایی‌که سلول‌های خورشیدی توانـایی جـذب تمام نور تابشی را ندارند، یکی از چالش‌هایی کـه در این زمینه وجود دارد، ارائه راهکارهـایی بـرای افزایش بیشتر جذب نور در ایـن سـلول‌ها اسـت. یکی از راهکارهای جدید پیشنهاد شده، اسـتفاده از مـوادی بـا قابلیـت جـذب نـور بـالا ماننـد سـاختارهای مبتنـی بـر نانوسـاختارها از جملـه ذرات پلاسمون کوانتومی است.

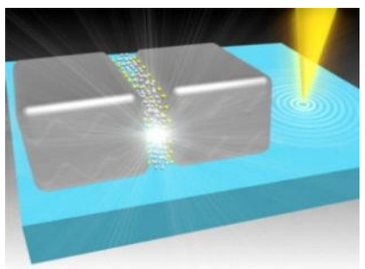
در این طرح تمرکز اصـلی راه حـل پیشـنهادی بـر افزایش بازده و بهبـود جـذب نـور در سـلول‌های خورشیدی است. برای حل این مشکل، استفاده از پلاسمون‌های سطحی در نانو ذرات پیشنهاد شده است. نانوذارت فلـزی، باعـث ایجـاد تشـدیدهای پلاسمون سطحی محلی و در نتیجه توانایی کنترل نور در مقیاس نانو می‌شوند.

سلول‌های خورشیدی سـیلیکانی کـه از مـوادی بـا ضخامت چند صد میکرونـی بـرای تبـدیل انـرژی خورشیدی به انرژی الکتریکـی اسـتفاده می‌کننـد، هزینه تولیـد بـالایی دارنـد. بـرای کـاهش هزینـه سـلول‌های خورشـیدی، بهره‌گیـری از ویژگی‌هـای منحصر به فـرد لایـه‌های نـازک بـا ضـخامت بـین ۱۰۰ تـا ۳۰۰۰ نـانومتر پیشـنهاد شـده اسـت. سلول‌های خورشـیدی بـا سـاختارهای لایـه نـازک تک‌پیوندی یا چندپیوندی، بازده و عملکـرد قابـل قبولی از خود نشان داده‌اند.

در این طرح، از موادی بـا قابلیـت جـذب بـالا در یـک سـاختار چندپیونـدی اسـتفاده شـده اسـت. همچنـین بـه منظـور بـه دام انـداختن نـور، ساختارهای پلاسمونی داخل سلول قرار می‌گیرنـد. از اهـداف طـرح، می‌تـوان بـه طراحـی سـاختاری ایده‌آل برای افزایش میزان جذب نـور تابشـی بـر سلول اشاره کرد.

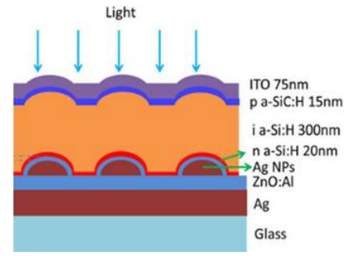
چشم‌انداز آینده پلاسمونیک کوانتومی

پیش‌بینی می‌شود در آینده امکان یکپارچه‌سـازی نقاط کوانتومی در گونه‌های مختلفی از ابزارهـای فوتـونیکی و تراشـه‌ای و همچنـین بهره‌گیـری از آن‌ها در کاربردهای نوری و تصویربرداری میسـر شـود. ضـمن آن کـه پیونـد مـدهای فوتـونیکی و الکترونیکی در ایـن نقـاط، زمینـه را بـرای کـاربرد آن‌هـا در سـلول‌های فوتوولتائیـک و فوتوسـنتز مصنوعی فراهم کند. پلاسمونیک نقاط کوانتـومی همچنـین می‌توانـد در ارتباطـات کوانتـومی و ابزارهای محاسـباتی آینـده کـاربرد داشـته باشـد. اسـتفاده از تک‌فوتون‌هـایی بـه شـکل پلاسـمون، می‌توانـد باعـث شـود سیسـتم‌های کوانتـومی اطلاعات را با سرعتی بسیار بالا انتقال دهند.



یکی دیگر از گروه‌های فعال در زمینه پلاسمونیک کوانتومی، خوشه اپتیک کوانتومی دانشگاه اصفهان است. در پلاسمونیک کوانتومی، دو حوزه نانوساختارهای پلاسمونیکی با خواص فوتونیکی و نقاط کوانتومی با خواص الکترونیکی با هم ترکیب شده‌اند. دانشگاه صنعتي اصفهان در کنار دانشگاه‌های دیگری چون مالك اشتر و دانشگاه اصفهان و صنایع الکترواپتیك اصفهان و نیز انجمن فیزیک ایران در زمینه‌های اپتیک کوانتومی متامواد، تصویربرداری کوانتومی، پلاسمونیک کوانتومی، گسیلگرهای تک‌فوتونی و مترولوژی کوانتومی در حال انجام تحقیقات بنیادی هستند.

از علم تا ثروت



شکل بالا، طرحواره‌ای از ساختار سلول خورشیدی آمورف سیلیکانی با ذرات پلاسمونیک را نشان می‌دهد. در این ساختار، نانوذرات پلاسمونیک بر روی لایه glass/Ag/AZO/Ag چسبانده شده است.

نوآورانه

آینده‌ای روشن برای لیزرهای نقطه کوانتومی

تولید دیود لیزری نقطه کوانتومی با پمپاژ نوری LED نقطه کوانتومی

امید به استفاده از لیزرهای نقطه کوانتومی در مدارهای یکپارچه فوتونیک

لیزرهای نقطه کوانتومی

به قلم فائزه جدیدی

Jadidi87@yahoo.com

لیزر و نور معمولی، ماهیتی یکسان دارند و هر دو، موج الکترومغناطیسی شامل بسته‌های انرژی موسوم به فوتون است. واژه لیزر از کنار هم قرار گرفتن حرف اول کلمه‌های (Light Amplification by Stimulation Emession of Radiation) به وجود آمده و به معنی تقویت نور توسط گسیل القایی تابش است.

لیزر ابزاری است که برای تولید، تقویت و انتقال باریکه‌های نوری بسیار موازی و شدید تابش همدوس به کار می‌رود.

ویژگی‌های منحصر به فرد لیزر، بستری عظیم برای کاربردهای وسیع این پدیده در علوم گوناگون از جمله ارتباطات، فرآوری مواد، صنایع نظامی، چاپ، نقشه‌برداری و همچنین صنعت و پزشکی فراهم کرده‌است، به طوری که امروزه پیشرفت دانش و تحقیقات علمی بدون فناوری لیزر امکان‌پذیر نیست.

از این رو توسعه این فناوری و بهره‌وری هر چه بیشتر از امکاناتی که می‌تواند در اختیار بشر قرار دهد، موضوع مطالعه و تحقیق شمار زیادی از دانشمندان در سرتاسر جهان است. امروزه پدیده‌های کوانتومی در این عرصه فناوری نیز ظهور یافته و لیزرهای نوین امروزی که در آنها از پدیده‌های کوانتومی برای عملکرد بهتر بهره گرفته شده است، با قابلیت‌های متفاوت و کاربردی در آستانه ورود به بازار فناوری قرار دارند. این لیزرها که تحت عنوان لیزرهای نقاط کوانتومی شناخته می‌شوند، موضوع بحث مقاله پیش رو هستند. برای مطالعه سیر تکاملی این فناوری با ما همراه باشید.

لیزر و آنچه درباره لیزر باید بدانیم!

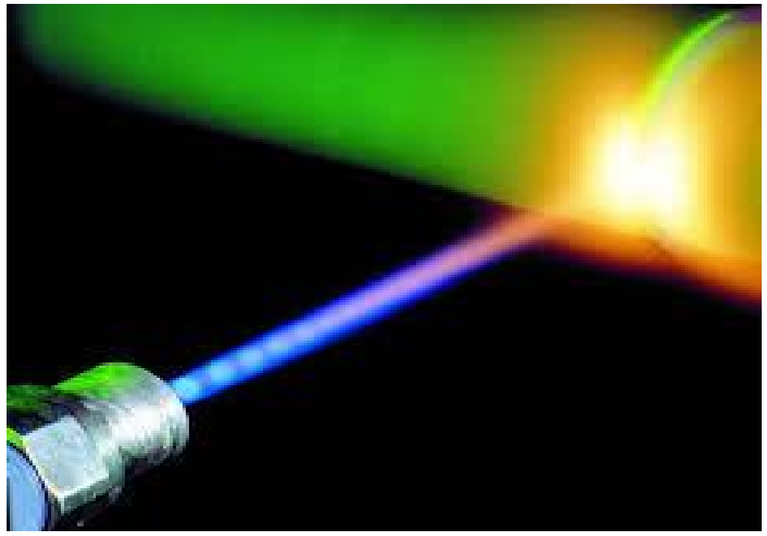
به طور کلی همه انواع لیزر از سه بخش چشمه‌ی انرژی خارجی یا دمنده، کاواک اپتیکی یا تشدیدگر و محیط تقویت‌کننده ساخته شده‌اند. دمنده یک چشمه انرژی خارجی است که جمعیت وارون را در محیط لیزر بین دو تراز انرژی به وجود می‌آورد. ایجاد وارونی جمعیت در واقع مهمترین شرط برای شروع عملکرد لیزر است. کاواک‌ها تشدیدکننده‌هایی هستند که دو طرف آن‌ها توسط دو آینه بسته شده‌است و محیط فعال بین دو آینه قرار داده می‌شود. محیط فعال یا تقویت‌کننده بخش مهمی از ابزار لیزر است که منبع ساطع‌کننده نور است و طول موج تابش لیزری را تعیین می‌کند. اهمیت این بخش در حدی است که در واقع بسیاری از لیزرها را با توجه به نوع محیط فعال به کار رفته در آن نام‌گذاری می‌کنند.

به عنوان مثال، در لیزر حالت جامد، ماده فعال ایجاد کننده لیزر، یک یون فلزی است که با غلظت کم در شبکه بلور یا درون شیشه، به صورت ناخالصی قرار داده شده است. یا ماده فعال لیزرهای گازی، یک گاز است که به صورت خالص یا به صورت ترکیبی از چند گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. ضمن آن که، از مایعات بکار رفته در لیزرهای مایع، اغلب به منظور تغییر طول‌موج لیزرهای دیگر استفاده می‌شود.

لیزرهای نیم‌رسانا ملقب به لیزر دیود یا لیزر تزریقی از جمله مهمترین انواع لیزرها هستند. نیم‌رساناها اغلب از دو ماده که یکی کمبود الکترون و دیگری الکترون اضافی دارد، تشکیل شده‌اند. وقتی این دو به یکدیگر متصل می‌شوند، در محل اتصال ناحیه‌ای به نام منطقه پیوندگاه p_n بوجود می‌آید که عمل لیزر در آن رخ می‌دهد.

لیزرهای نقاط کوانتومی

و اما لیزرهای نقطه کوانتومی، (Quantum dot lasers) از جمله فناوری‌های جدیدی هستند که به تازگی گسترش یافته و در دهه اخیر با پیشرفت در سایر حوزه‌های موازی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده‌اند. در واقع، این نسل جدید از لیزرها شامل میلیون‌ها کریستال با ابعاد نانو به نام نقاط کوانتومی در ناحیه فعال هستند.



نقاط کوانتومی (QD) که برای اولین بار حدود سی سال پیش تولید شدند، به عنوان ابزاری توانمند در حوزه اپتوالکترونیک توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. نقاط کوانتومی با قابلیت تنظیم یکپارچه گاف انرژی نوری، گستره وسیعی از طول موج‌ها از ماوراء بنفش گرفته تا مادون قرمز میانی را پوشش می‌دهند و برای پردازش مستقل از بستر مناسب بوده و به لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه هستند. با توجه به مزایای متعددی که این نوع لیزرها عرضه می‌کنند، به سرعت در جامعه مواد اپتوالکترونیک مورد توجه گرفتند.

دینگل و هنری (Dingle and Henry) در سال ۱۹۷۶ مزایای استفاده از چاه‌های کوانتومی به عنوان لایه فعال در لیزرهای نیم‌رسانا را پیش‌بینی کردند. بنابر پیش‌بینی‌های انجام شده، ماهیت چگالی الکترونیکی سطوح انرژی در چاه‌های کوانتومی و همچنین محدودیت حامل‌ها، منجر به عملکرد دستگاه‌هایی کارآمدتر و با جریان آستانه پایین‌تر نسبت به لیزرهای ماده حجیم می‌شد. علاوه‌برآن، استفاده از چاه‌های کوانتومی، با سطح انرژی انتقال گسسته و وابسته به ابعاد چاه کوانتومی، امکان "تنظیم" طول‌موج حاصل از مواد را فراهم می‌کرد.

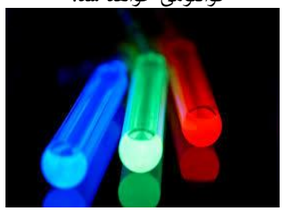
در سال‌های بعد، لیزرهای نیم‌رسانای معمولی با استفاده از چاه‌های کوانتومی و در واقع لایه‌های نازکی از ماده فعال ساخته شدند.

با توجه به اینکه لیزرهای چاه کوانتومی و مبتنی بر نقاط کوانتومی حتی اگر از مواد یکسانی (مانند InAs و GaAs) هم ساخته شوند، ساختارهای بسیار متفاوتی دارند، بنابراین خواص بسیار متفاوتی نیز خواهند داشت.

مطالعات نشان داد که قابلیت تنظیم یک لیزر نقطه کوانتومی به مراتب بیشتر از یک لیزر چاه کوانتومی است. این امر باعث شد که دانشمندان به جای بهره‌گیری از لیزرهای چاه کوانتوومی به فکر توسعه لیزرهای مبتنی بر نقاط کوانتومی بیفتند.

در لیزرهای نقاط کوانتومی، طول موج گسیل نور لیزر توسط اندازه نقاط کوانتومی تعیین می‌شود. با کنترل توزیع اندازه نقاط کوانتومی، لیزرها می‌توانند طیف لیزرتابی بسیار گسترده‌ای با توزیع شدت یکنواخت داشته باشند.

با تلاش روزافزون محققان و دانشمندان هنگامی که بتوان روش‌های پیشرفته یافت شده را در سیستم‌های انبوه پیاده‌سازی کرد، این فناوری جدید نقطه عطفی در تاریخ توسعه لیزرهای نقطه کوانتومی خواهد شد.



با توجه به نیازهای فعلی لیزرها به زیرلایه‌های انعطاف‌پذیر و کاربرد به صورت افزاره‌هایی یکبار مصرف، فرصتی برای نقاط کوانتومی ایجاد شده است تا حوزه وسایل اپتوالکترونیک بر پایه لیزر را متحول کنند. این نقطه عطف، بازتابی از آینده لیزرهای QD است.

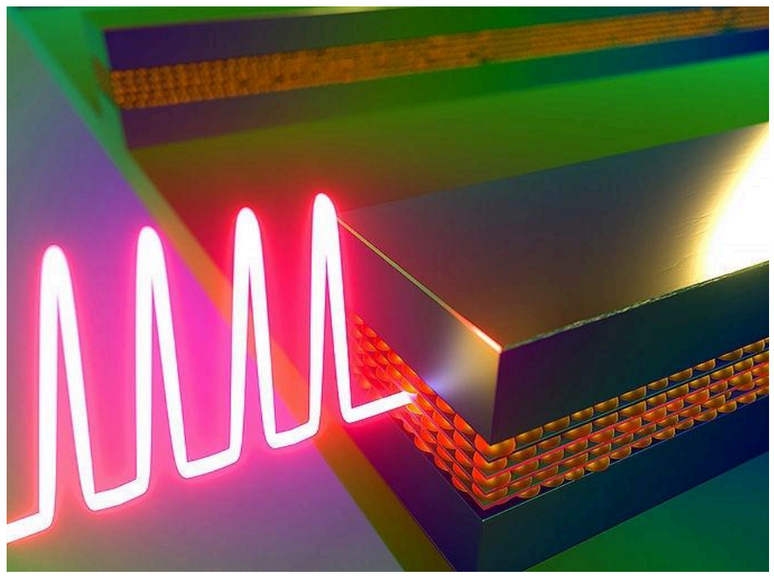
البته این‌ها تنها دلایل برتری لیزرهای مبتنی بر نقاط کوانتومی نبود!

آنچه که لیزرهای نقاط کوانتومی را جذاب می‌کند، این است که در شرایط کوانتومی ویژگی‌های نقاط کوانتومی به حالت اتمی ایده‌آل نزدیک می‌شود. در این حالت، لیزرها می‌توانند با جریان آستانه پایین‌تری برای لیزرتابی عمل کرده و طیفی با درجه خلوص به مراتب بیشتری را ارائه دهند. ضمن آن که در برابر اثرات دمایی با استقلال بیشتری کار می‌کنند و در واقع مستقل از دمای عملکرد هستند. علاوه بر این لیزرهای نقاط کوانتومی شدت نوفه پایینی دارند که همین امر آن‌ها را به منبع نور موج پیوسته ایده‌آل برای مدولاسیون بیرونی با سرعت بالا تبدیل می‌کند. ساخت لیزر به دلیل نیازمندی دقیق به محیط تقویت‌کننده نور فعال، ساز و کارهای پمپاژ و نیاز به ساختار بازخوردی با کیفیت بالا یا حفره نوری همچنان چالش‌برانگیز است.

فناوری اپتوالکترونیک فعلی به شدت متکی به نیم‌رساناهای رشد یافته هم‌بافته است که به دلیل محدودیت قابلیت تنظیم طیفی و نیاز به رشد بر روی زیرلایه سخت و هزینه بالای آن محدود است. با توجه به نیازهای فعلی لیزرها به زیرلایه‌های انعطاف‌پذیر و کاربرد به صورت افزاره‌هایی یکبار مصرف، فرصتی برای نقاط کوانتومی ایجاد شده است تا حوزه وسایل اپتوالکترونیک بر پایه لیزر را متحول کنند. این نقطه عطف، بازتابی از آینده لیزرهای QD است.

پیشرفت چشمگیر در مواد و مهندسی ابزار و مجموعه‌ای از مسیرهای تحقیقاتی در گسترش عملکرد و کارایی لیزرهای QD چشم‌انداز قابل تحقق و جذابی از این نوع لیزرها را به تصویر می‌کشد. چشم‌انداز این مسیر حاکی از آن است که لیزرهای QD به نقطه اوج رسیده‌اند، طوری که می‌توانند در سال‌های پیش رو به یک فناوری مناسب تجاری تبدیل شوند.

طی دو دهه گذشته تحقیقات گسترده‌ای در زمینه توسعه این لیزرها صورت گرفته است اما



همچنان چالش‌های بزرگی برای دستیابی به لیزرهایی کارامد پیش روی دانشمندان قرار دارد. در این بین تیم تحقیقاتی نقاط کوانتومی لس آلاموس یکی از گروه‌هایی است که در مورد ابعاد اساسی و کاربردی دستگاه‌های لیزرتابی بر پایه نانوبلورهای نیم‌رسانا تحقیقات گسترده‌ای انجام داده است.

بنا بر مطالعات انجام شده توسط این گروه تحقیقاتی، این ذرات که به عنوان نقاط کوانتومی کلوئیدی نیز شناخته می‌شوند، می‌توانند به راحتی در محیط محلول خود پردازش شوند تا دستگاه‌های مختلف نوری، الکترونیکی و اپتوالکترونیک را ایجاد کنند.

علاوه بر این، اندازه آنها را نیز می‌توان در کاربردهای لیزرتابی تنظیم کرد تا رنگ‌هایی تولید کند که توسط دیودهای لیزری نیم‌رسانای موجود قابل دستیابی نیستند. تحقق این هدف مستلزم حل چندین چالش از جمله:

(۱) الحاق کاواک لیزرتابی بدون ایجاد اختلال در تزریق بار-حامل در یک دستگاه الکترولومینسانس (EL)،

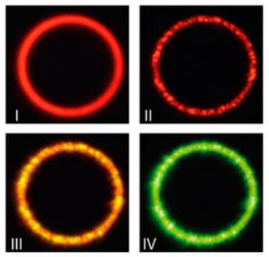
(۲) غلبه بر مشکل کاهش لیزرتابی توسط لایه‌های رسانا که عناصر ضروری ساختار EL هستند،

(۳) انجام لیزرتابی با لایه‌های فعال بسیار نازک نقاط کوانتومی برای فعال کردن پمپاژ الکتریکی و (۴) به دست آوردن چگالی جریان بالا برای دستیابی به وارونگی جمعیت کافی، است.

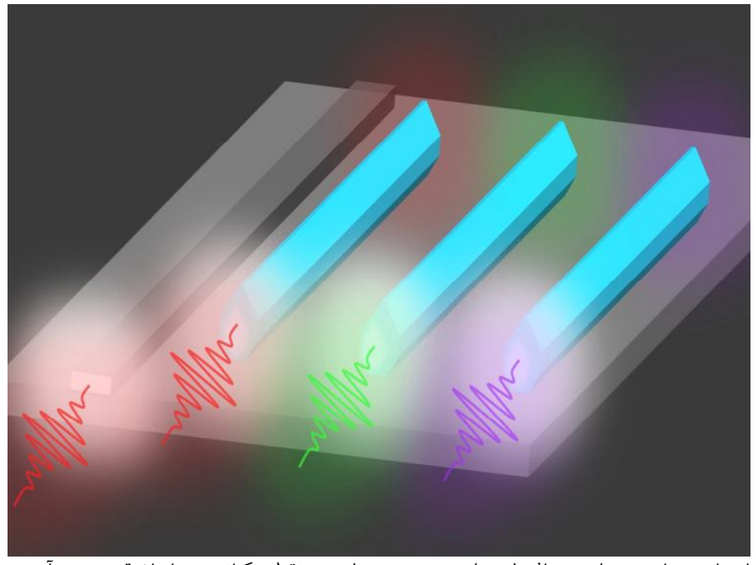
پیشرفت‌های اخیر در توسعه رویکردهای عملی باعث ایجاد پیشرفت‌های مهم در تحقیقات لیزر نقاط کوانتومی از جمله تحقق لیزر موج پیوسته با پمپاژ نوری و نیز ایجاد بهره نوری با تزریق الکتریک جریان مستقیم شده است.

نقطه عطف مهم بعدی ایجاد عمل لیزرتابی با پمپاژ الکتریکی است. این محققان به تازگی با موفقیت چالش‌های موجود در مسیر دستیابی به فناوری تجاری سودآور نقاط کوانتومی کلوئیدی را برطرف کردند. آنها موفق شدند یک LED کاربردی بسازند که می‌تواند به عنوان یک لیزر با پمپاژ نوری آستانه پایین نیز عمل کند. آنها برای دستیابی به این عملکرد، یک تشدیدکننده نوری را بدون اینکه مانع جریان حامل بار به لایه گسیلنده نقطه کوانتومی شود، به طور مستقیم در معماری LED وارد کردند. همچنین با طراحی دقیق ساختار دستگاه چند لایه، توانستند به اندازه مناسب و کافی نور گسیل شده در محیط فعال بسیار باریک نقاط کوانتومی، از مرتبه ۵۰ نانومتر دست یابند.

لیزر حلقه‌ای نقطه کوانتومی، نور قرمز، نارنجی و سبز گسیل می‌کند. هر یک از این رنگ‌ها از قسمت خاصی از نقاط کوانتومی گسیل می‌شود. قرمز از مرکز، سبز از پوسته و نارنجی ترکیبی از هر دو قسمت قبلی است. در این نوع لیزر، گسیل رنگ نارنجی با عوض کردن نسبت گسیل از مرکز و پوسته، قابل کنترل است.



سرورهای فوتوالکترونی با استفاده از لیزرهای نقطه کوانتومی در فوتونیک سیلیکانی که در رایانه‌ها نصب شده‌اند، با ۱۰٪ مصرف برق و ۱٪ مساحت اجرا، پردازشی با سرعت صد برابر بیشتر دارند!



این امر برای دستیابی به اثر لیزرتابی و در عین حال امکان برانگیختگی کارآمد نقاط کوانتومی توسط جریان الکتریکی مهم است.

هدف نهایی این آزمایش موفق، ساخت نقاط کوانتومی بی‌نظیر و بومی برای استفاده در لیزرتاب‌ها بود که توسط این تیم تحقیقاتی طی سال‌ها تحقیق در زمینه شیمی و فیزیک این نوع نانوساختارها انجام شد. در حال حاضر، چالش باقیمانده پیش روی دانشمندان، افزایش چگالی کافی برای بدست آوردن "وارونگی جمعیت" است که در آن محیط فعال حاوی نقاط کوانتومی تبدیل به یک تقویت‌کننده نوری می‌شود. آنها در تلاشند تا با ارائه راه‌حلی این چالش را نیز بر طرف سازند.

کما این که تاکنون چالش‌های زیادی را با موفقیت در مسیر استفاده از فناوری کوانتومی با اهداف تجاری حل کرده‌اند.

در صورت استفاده از پمپاژ نوری در لامپ نقاط کوانتومی کلوئیدی به جای پمپاژ الکتریکی، می‌توان به لیزری با مزایای بسیار مناسب دست یافت که نشان‌دهنده ظهور یک بستر امیدوارکننده برای دستیابی به دیودهای لیزری نقطه کوانتومی ارزان قیمت در آینده است.

امروزه، به دلیل نیاز به ایجاد شبکه‌های ارتباطاتی با سرعت بالا، میزان داده‌های شبکه‌ها به صورت انفجاری در حال افزایش است. براساس مطالعات محققان، استفاده از لیزرهای نقطه کوانتومی در مدارهای فوتونیک منجر به تغییر الگوی مصرف انرژی و سرعت پردازش اطلاعات و کاهش مصرف برق مراکز داده در سراسر جهان خواهد شد.

لیزرهای نقطه کوانتومی تمامی مزیت‌های لیزرهای نیم‌رسانا از جمله اندازه کوچک، کارایی بالا، تنظیم‌پذیری، سرعت بالا و .... را دارند و نسبت به لیزرهای چاه کوانتومی، چگالی جریان آستانه پایین‌تر، بهره بالاتر و وابستگی دمایی ضعیف‌تری دارند. ویژگی‌های جالب این لیزرها از جمله توانایی کار در دماهای بالا حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، عدم حساسیت دمایی زیاد و توان مصرفی کم، تحول بزرگی را در زمینه ارتباطات مخابرات نوری با ایجاد فرستنده‌های نوری ایجاد کرده است. فناوری لیزر نقاط کوانتومی با پایان تنگناهای فنی که در حال حاضر باعث کاهش سرعت پردازش شده است، دریچه جدیدی را به روی بشر گشوده است. سرورهای فوتوالکترونی با استفاده از لیزرهای نقطه کوانتومی در فوتونیک سیلیکانی که در رایانه‌ها نصب شده‌اند، با ۱۰٪ مصرف برق و ۱٪ مساحت اجرا، پردازشی با سرعت صد برابر بیشتر دارند!

از لیزرهای نقطه کوانتومی می‌توان در نوعی تصویربرداری پزشکی موسوم به توموگرافی نوری منسجم (OCT) با ایجاد تصاویر با کیفیت بالا، در چشم پزشکی و تشخیص زودهنگام سرطان استفاده کرد. قدرت تفکیک تصویربرداری با استفاده از این نوع لیزرها صد برابر بهتر از سونوگرافی است و در جامعه پزشکی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. یکی دیگر از کاربردهای آن، تلویزیون لیزری است. این فناوری نویدبخش نمایشگرهای نازک سبک‌تر، ارزان‌تر و دارای انرژی بیشتری نسبت به نمایشگرهای پلاسما یا LCDها است.

آینده فوتونیک با لیزرهای نقاط کوانتومی از دید محققان!

لیزر نقطه کوانتومی مسیر را برای فوتونیک کم هزینه و ارزان‌تر، هموار می‌کند. کابل‌های فیبر نوری همه چیز، از داده‌های مالی گرفته تا فیلم‌های شخصی را به صورت نور بسته‌بندی می‌کنند. اما وقتی سیگنال به مرکز داده محلی رسید، وارد یک مسیر باریک سیلیکانی می‌شود.

در حال حاضر، رایانه‌ها به جای نور، از الکترون‌های محرک درون تراشه‌های مبتنی بر سیلیکان، استفاده می‌کنند که نسبت به فوتونیک کارایی کمتری دارند.

دانشمندان برای عبور از این مانع، در حال تولید لیزرهایی (مؤلفه‌ای مهم درمدارهای فوتونی) هستند که بدون سیم روی سیلیکان کار می‌کنند. محققان دانشگاه کالیفرنیا معتقدند که آینده لیزرهای مبتنی بر سیلیکان به ساختارهای کوچک و اتمی به نام نقاط کوانتومی تعلق دارد. چنین لیزرهایی می‌توانند انرژی زیادی را در خود ذخیره کنند.

جاستین نورمن، فارغ‌التحصیل دانشگاه UC سانتا باربارا، گفت: "بزودی با جایگزین کردن قطعات الکترونیکی که دستگاه‌ها را به اجزای فوتونی متصل می‌کند، می‌توان مصرف انرژی را ۲۰ تا ۷۵ درصد کاهش داد". وی افزود: "ادغام لیزرها و مدارهای فوتونیک با سیلیکان باعث کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی جهانی می‌شود."

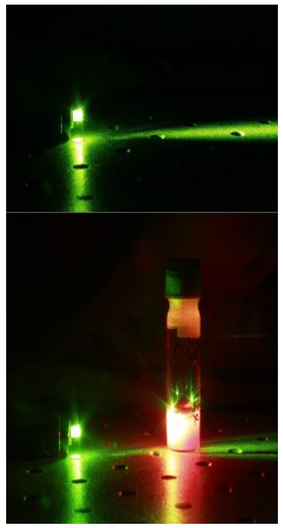
البته، سیلیکان با توجه به ویژگی‌هایش گزینه مناسبی برای استفاده در لیزرها نیست. از این رو، محققان به مواد گروه‌های سه و پنج جدول تناوبی روی آورده‌اند، زیرا این مواد قابلیت ادغام با سیلیکان را دارند.

محققان با استفاده از روشی بنام رشد هم‌بافته پرتوی مولکولی، لیزرهای نقطه کوانتومی III-V را ساختند. آنها ماده‌ای از گروه III-V را بر روی بستر سیلیکانی لایه‌نشانی می‌کنند و اتم‌های آن در یک ساختار بلوری جمع می‌شوند.

اما ساختار کریستالی سیلیکان با مواد III-V متفاوت است و همین امر منجر به ظهور نقص‌هایی می‌شود که باعث می‌شود الکترون‌ها و حفره‌ها، رها شده و عملکرد لیزر را تخریب کنند.

خوشبختانه، از آن جایی که نقاط کوانتومی با تراکم زیاد و بیش از ۵۰ میلیارد نقطه در هر سانتیمتر مربع جمع می‌شوند، قبل از از بین رفتن ذرات، الکترون‌ها و حفره‌ها را ضبط می‌کنند.

آلیاژهای سه‌گانه نیترید گالیم ایندیوم (InGaN) دارای گاف انرژی مستقیمی هستند که می‌توانند محدوده طیفی وسیعی از ماوراء بنفش تا مادون قرمز نزدیک را در لیزرهای نقطه کوانتومی پوشش دهند. با توجه به ویژگی‌های ذاتی برتر و توسعه فناوری نیترید در دو دهه گذشته، آلیاژهای InGaN غنی از Ga در ساخت دیودهای بنفش / آبی / سبز (LEDs) نوین و لیزر دیودی موج پیوسته (LDs) مورد استفاده قرار گرفته است.



همچنین این مواد از قابلیت بالقوه‌ای برای استفاده در سلول‌های خورشیدی با کارایی بالا، الکترونیک با سرعت بالا، حسگرهای شیمیایی و کاربردهای تراهرتز برخوردار هستند. برای طراحی مناسب دستگاه و تحقق برنامه‌های کاربردی مبتنی بر InGaN، ضرورت دانش و شناخت دقیق ویژگی‌های نوری وابسته به این ترکیب مانند انرژی گسیل، ضریب شکست و پهنای باند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

این لیزرها مزایای فراوان دیگری نیز دارند. به عنوان مثال، نقاط کوانتومی در مدارهای فوتونی پایدارتر هستند، زیرا حالت‌های انرژی اتمی متمرکز و محلی دارند و از آنجایی که به اندازه جریان الکتریکی زیادی احتیاج ندارند، می‌توانند با صرف انرژی کمتری کار کنند.

علاوه بر این، می‌توانند در اندازه‌های کوچک ساخته شده و در دماهای بالاتر کار کنند. محققان فقط در چند سال گذشته، به لطف توسعه و بهبود در رشد مواد، پیشرفت قابل توجهی در این حوزه داشته‌اند.

اکنون، اینگونه لیزرها بدون هیچ تخریبی در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد کار می‌کنند و طول عمر آن‌ها می‌تواند تا ۱۰ میلیون ساعت دوام داشته باشد. در سال‌های اخیر، محققان در حال آزمایش و ارزیابی لیزرهایی هستند که می‌توانند در دمای معمولی‌تر یک مرکز داده یا ابررایانه یعنی دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد کار کنند. توسعه مطالعات لیزر نقطه کوانتومی و تجاری‌سازی آن‌ها هستند.

محققان زیادی از سراسر جهان و همچنین ایران در حال تحقیق بر روی این موضوع هستند و در این بین تیم تحقیقاتی فن (Fengjia Fan) و همکارانش که شامل محققان فوق دکترا در دانشکده علوم و مهندسی کاربردی دانشگاه تورنتو است، موفق به تغییر شکل نقاط کوانتومی، با یک هسته کروی و پوسته مشابه شکل یک بشقاب پرنده شدند. عدم تطابق بین شکل هسته و پوسته، تنشی را ایجاد می کند که بر حالت‌های الکترونیکی نقاط کوانتومی تأثیر می‌گذارد و میزان انرژی لازم برای تحریک لیزر را کاهش می‌دهد.

این تیم تحقیقاتی با تغییر شکل نانوذرات، تولید لیزرهای ارزان قیمتی را ممکن می‌سازند که توانایی گسیل پیوسته یک طیف رنگین کمان قابل تغییر از رنگ‌ها را دارد.

همچنین به تازگی دانشمندان دانشگاه فنی نانیانگ، سنگاپور (NTU) روشی برای ایجاد نقاط کوانتومی کلوئیدی به کمک یک میدان الکتریکی ارائه کرده‌اند.

استیو کونگ دانگ، استادیار NTU به همراه یو جونونگ، برای اولین بار نشان داده‌اند که چگونه یک میدان الکتریکی می‌تواند به نقاط کوانتوم کلوئیدی کمک کند تا نور لیزر را تنها با بخشی از انرژی مورد نیاز برای راه‌اندازی لیزرهای مرسوم، گسیل کند. این اولین بار است که محققان آستانه لازم را بجای روش‌های دشوار الکتروشیمیایی، با استفاده از میدان الکتریکی کاهش داده‌اند.

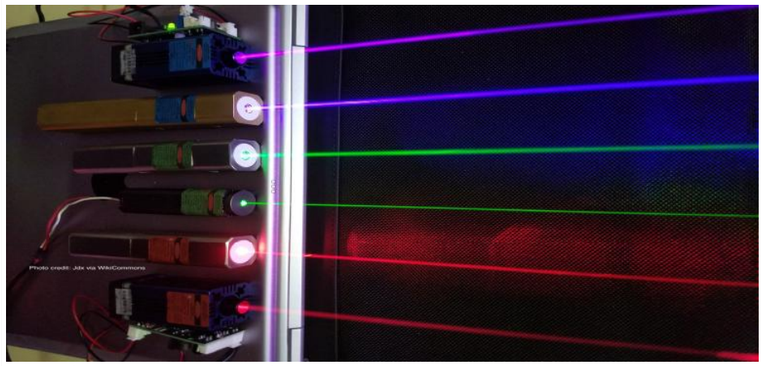
پروفسور دانگ،گفت: "این آزمایش موفق ما را یک قدم به سمت توسعه لیزرهایی که می‌توان از طریق الکتریکی پمپاژ کرد، نزدیک‌تر کرد. این موفقیت در نهایت باعث می‌شود که لیزرها را روی سیستم‌های تراشه یکپارچه بکار رفته در لوازم الکترونیکی مصرفی و اینترنت قرار دهیم."

پروفسور دمیر از همکاران این پروژه، نیز افزود: "دستیابی به این پیشرفت اساسی باعث ایجاد تحولی بزرگ در صنعت سنگاپور خواهد بود. "

در این بین شرکت آلمانی اینولوم (Innolume) که در سال ۲۰۰۳ توسط برخی از دانشگاهیان برجسته اروپا در زمینه نقاط کوانتومی تاسیس شد، از پیشتازان و تولیدکنندگان برتر لیزرهای دیودی مبتنی بر GaAs است که پنجره طیفی۱۳۴۰-۷۸۰ نانومتر را پوشش می‌دهد و به گفته گیدو وگل (Guido Vogel)، مدیر توسعه تجارت در اینولوم، هدف نهایی این شرکت تولید لیزرهای مورد استفاده در انتقال داده‌های نوری و کاربردهای اتصال نوری است.

لیزرهای نقطه کوانتومی مستقل از دما در آزمایشگاه‌های فوجیتسو ابداع شدند.

جهان از طریق نور، در حال تحول است. بازار بعدی بدون شک متعلق به لیزرهای نقطه کوانتومی است!



ترکیب طول‌موج با فناوری نقاط کوانتومی و طراحی پیشرفته تراشه، کاربردهای جدید صنعتی، پزشکی و ارتباطات را امکان‌پذیر می‌کند. این شرکت در سال ۲۰۰۸ اعلام کرد ۸/۶ میلیون یورو بودجه مجزا برای تقویت تولید و بازار با محوریت لیزرهای نقطه کوانتومی تأمین می‌کند. این شرکت تاکنون به موفقیت‌های زیادی در توسعه و تولید این محصولات رسیده و پیشرو و ارائه دهنده لیزرهای دیودی نقطه کوانتومی با فناوری اختصاصی منحصر به شرکت است.

شرکت‌های بزرگ دیگر مانند شرکت‌های ژاپنی فوجیتسو (Fujitsu) و میتسویی (Mitsui) به وضوح مزایا و پتانسیل‌های فناوری کوانتومی را دریافته و در عرصه تحقیق و توسعه و تولید لیزرهای نقطه کوانتومی وارد شده‌اند.

دکتر سوگاورا (Mitsuru Suguwara)، مدیرعامل آزمایشگاه‌های فوجیتسو گفت: "این شرکت با سرمایه‌گذاری در تجاری‌سازی فناوری لیزر نقطه کوانتومی در سال ۲۰۰۶ نیز از پیشگامان در این عرصه است و موفق به ساخت آرایه‌های لیزر نقطه کوانتومی برای مدارهای نوری سیلیکان شده است." این شرکت در سال ۲۰۱۱ ساخت اولین لیزر نقطه کوانتومی در جهان را با طول موج ۱/۳ میکرومتر که قادر به عملکرد در محیطی با دمای فراتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد بود، به ثبت رسانید.

با استفاده از این لیزرها به عنوان منبع نور مدارهای نوری سیلیکانی که حجم بسیار زیادی از اطلاعات را پردازش می‌کنند، انتظار می‌رود استفاده از آن‌ها بطور چشمگیری گسترش یابد. این شرکت در دسامبر ۲۰۱۹ در مجموع با سه موسسه مالی، در جهت توسعه و تولید محصولات مختلف خود ۱/۷ میلیارد ین توافق مالی امضا کرد.

شرکت فوجیتسو از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۹ جوایز بسیاری با موضوع محوری لیزرهای نقطه کوانتومی در جشنواره‌های علمی برجسته را از آن خود نموده است.

همچنین فعالیت‌های تحقیقاتی و شبیه‌سازی بسیاری در سال‌های اخیر در دانشگاه‌های داخل کشور صورت گرفته است و گروه پژوهشی لیزرهای نیم‌رسانا در پژوهشکده لیزر و اپتیک سازمان انرژی اتمی ایران، نیز بخشی را به تحقیق و توسعه در زمینه بررسی ساختار دستگاه‌های چاه کوانتومی تخصیص داده است.

امروز، پس از گذشت نزدیک به سه دهه از تحقیقات، این زمینه علمی به نقطه‌ای رسیده است که آینده آن از نظر تجاری بسیار پر سود تخمین زده می‌شود. سرعت پیشرفت تحقیقات لیزرتابی QD، در چنین مدت زمان کوتاهی، قطعا می‌تواند الهام‌بخش و انگیزه محققان و مهندسان اپتوالکترونیک فعلی و آینده باشد تا جهش نهایی به سمت برنامه‌های کاربردی را ایجاد کنند و آینده را دگرگون سازند.

PHYSICAL REVIEW X **10,** 011011 (2020)

Observation of Three-Photon Spontaneous Parametric Down-Conversion in a Superconducting Parametric Cavity

C. W. Sandbo Chang,[1] Carlos Sabín,[2] P. Forn-Díaz,[3,4] Fernando Quijandría,[5] A. M. Vadiraj,[1] I. Nsanzineza,[1] G. Johansson,[5] and C. M. Wilson[1,*]

[1]*Institute for Quantum Computing and Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario N2L 3G1, Canada*
[2]*Instituto de Física Fundamental, CSIC, Serrano, 113-bis, 28006 Madrid, Spain*
[3]*Institut de Física d'Altes Energies (IFAE), The Barcelona Institute of Science and Technology (BIST), Bellaterra (Barcelona) 08193, Spain*
[4]*Barcelona Supercomputing Center-CNS, Barcelona 08034, Spain*
[5]*Microtechnology and Nanoscience, MC2, Chalmers University of Technology, SE-412 96 Göteborg, Sweden*

(Received 17 July 2019; revised manuscript received 17 October 2019; published 16 January 2020)

Spontaneous parametric down-conversion (SPDC) has been a key enabling technology in exploring quantum phenomena and their applications for decades. For instance, traditional SPDC, which splits a high-energy pump photon into two lower-energy photons, is a common way to produce entangled photon pairs. Since the early realizations of SPDC, researchers have thought to generalize it to higher order, e.g., to produce entangled photon triplets. However, directly generating photon triplets through a single SPDC process has remained elusive. Here, using a flux-pumped superconducting parametric cavity, we demonstrate direct three-photon SPDC, with photon triplets generated in a single cavity mode or split between multiple modes. With strong pumping, the states can be quite bright, with flux densities exceeding 60 photons per second per hertz. The observed states are strongly non-Gaussian, which has important implications for potential applications. In the single-mode case, we observe a triangular star-shaped distribution of quadrature voltages, indicative of the long-predicted "star state." The observed state shows strong third-order correlations, as expected for a state generated by a cubic Hamiltonian. By pumping at the sum frequency of multiple modes, we observe strong three-body correlations between multiple modes, strikingly, in the absence of second-order correlations. We further analyze the third-order correlations under mode transformations by the symplectic symmetry group, showing that the observed transformation properties serve to "fingerprint" the specific cubic Hamiltonian that generates them. The observed non-Gaussian, third-order correlations represent an important step forward in quantum optics and may have a strong impact on quantum communication with microwave fields as well as continuous-variable quantum computation.

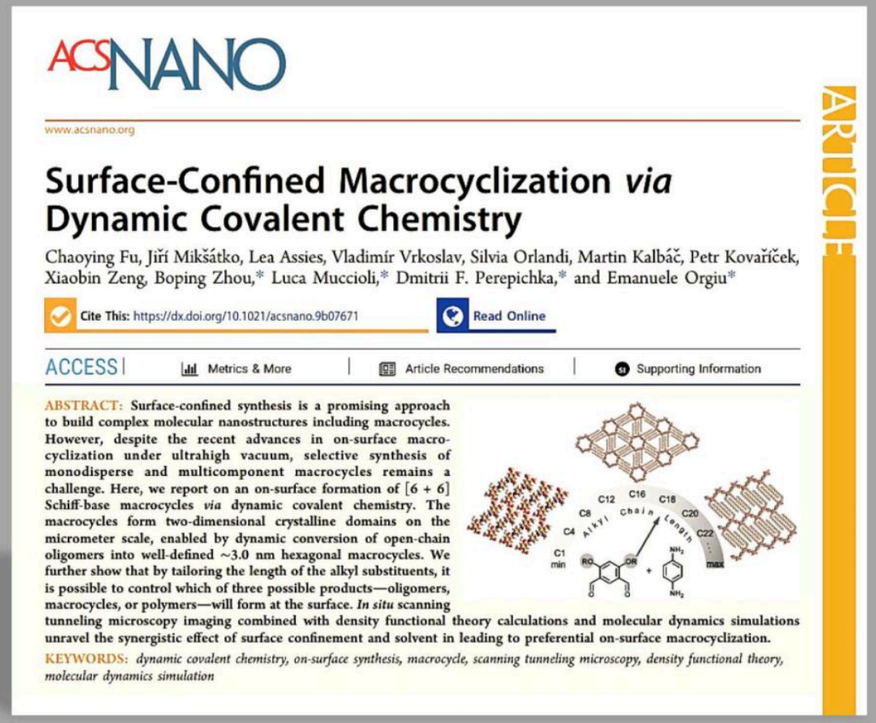
DOI: 10.1103/PhysRevX.10.011011 Subject Areas: Quantum Physics, Quantum Information, Superconductivity

محققان برای اولین بار یک فوتون را به سه فوتون تقسیم کردند!

در این مقاله می‌خوانیم:

محققان اولین مورد از تقسیم یک فوتون به سه فوتون را گزارش کرده‌اند. این رخداد، اولین در نوع خود است که در آن از روش تبدیل کاهشی پارامتری خود به خودی (SPDC) در اپتیک کوانتومی استفاده شده است و نوری تولید شده است که محققان کوانتوم اپتیک آن را حالت غیر گاوسی می‌نامند. نور غیر گاوسی برای دستیابی به مزایای فناوری‌های کوانتومی یک پیش‌نیاز ضروری محسوب می‌شود.

مولکول‌ها ابزار طراحی بر روی مواد کوانتومی



ACSNANO

www.acsnano.org

ARTICLE

Surface-Confined Macrocyclization *via* Dynamic Covalent Chemistry

Chaoying Fu, Jiří Mikšátko, Lea Assies, Vladimír Vrkoslav, Silvia Orlandi, Martin Kalbáč, Petr Kovaříček, Xiaobin Zeng, Boping Zhou,* Luca Muccioli,* Dmitrii F. Perepichka,* and Emanuele Orgiu*

Cite This: https://dx.doi.org/10.1021/acsnano.9b07671 Read Online

ACCESS | Metrics & More | Article Recommendations | Supporting Information

ABSTRACT: Surface-confined synthesis is a promising approach to build complex molecular nanostructures including macrocycles. However, despite the recent advances in on-surface macrocyclization under ultrahigh vacuum, selective synthesis of monodisperse and multicomponent macrocycles remains a challenge. Here, we report on an on-surface formation of [6 + 6] Schiff-base macrocycles *via* dynamic covalent chemistry. The macrocycles form two-dimensional crystalline domains on the micrometer scale, enabled by dynamic conversion of open-chain oligomers into well-defined ~3.0 nm hexagonal macrocycles. We further show that by tailoring the length of the alkyl substituents, it is possible to control which of three possible products—oligomers, macrocycles, or polymers—will form at the surface. *In situ* scanning tunneling microscopy imaging combined with density functional theory calculations and molecular dynamics simulations unravel the synergistic effect of surface confinement and solvent in leading to preferential on-surface macrocyclization.

KEYWORDS: *dynamic covalent chemistry, on-surface synthesis, macrocycle, scanning tunneling microscopy, density functional theory, molecular dynamics simulation*

در این مقاله می‌خوانیم:

محققان کانادایی موفق شدند با استفاده از مولکول‌های حلقوی، مشخصه‌های یک سطح را تغییر دهند! به گفته پرپیچکا یکی از محققان این پژوهش: "در واقع این مثال جالبی است از قدرت یک رهیافت میان رشته‌ای است که در آن سنتز آلی و علم سطح با همدیگر تلفیق شده‌اند. این میزان از امکان کنترل بر شکل و ساختار مولکول‌های سنتز شده قابل توجه است."

مولکول‌ها ابزار طراحی بر روی مواد کوانتومی!

به قلم سیده ثریا موسوی

s.soraya.mosavy@gmail.com

طی گذشت هزاران سال، تمدن‌های مختلف با بهره‌گیری از سنگ، برنز و آهن توسعه یافته و پیشرفت کرده‌اند. حال زمان آن رسیده است که مواد کوانتومی مسیر زندگی ما را تغییر دهند. مواد کوانتومی تنها به اندازه چندین اتم ضخامت دارند اما از مشخصه‌های الکتریکی، مغناطیسی و اپتیکی منحصر به فردی برخوردارند.

شاید به لطف تحقیقاتی که در موسسه ملی درکچر (INRS) و دانشگاه مک گیل انجام شده، این دگرگونی شتاب بیشتری به خود گرفته است.

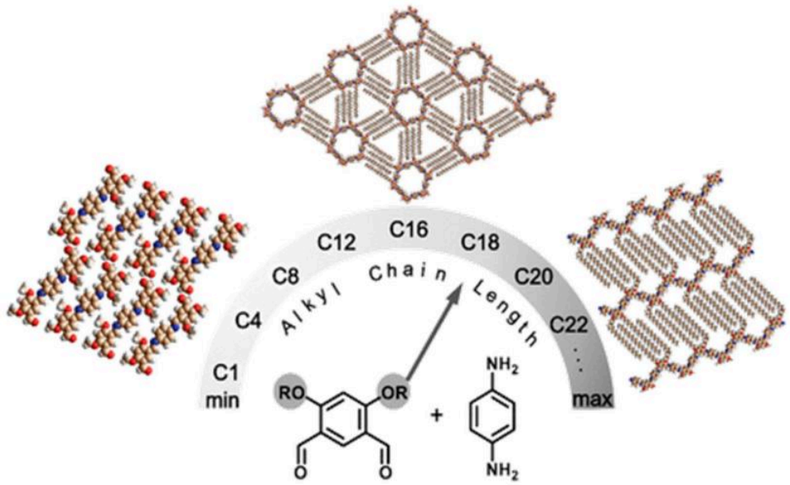
پرفسور اورگیو، محقق INRS و متخصص در زمینه مواد کوانتومی است. تحقیقات پرفسور اورگیو بر خلق طرح‌های مختلف بر سطح مواد کوانتومی متمرکز شده و این الگونگاری با هدف ایجاد تغییرات در مشخصه‌های این مواد صورت می‌گیرد. بنا به اظهارات پروفسور اورگیو:" شکل این طرح‌ها، مشخصه‌های منتسب به سطح را تعیین می‌کند."

کار او قابلیت بالقوه‌ای جهت کاربرد در افزاره‌های اپتیکی، الکترونیکی و اپتوالکترونیکی مانند ترانزیستورها، حسگرهای نوری و همچنین افزاره‌های حسگری زیستی دارد.

این متخصص مواد کوانتومی و همکارانش به تازگی قدم بزرگی برای سنتز ماکروحلقه‌ها-مولکول‌های حلقوی بزرگ-بر روی سطح گرافیت برداشته است. از زمان کشف اترهای تاجی در اواسط دهه ۱۹۶۰، ساختار جالب ماکروحلقه‌ها و برهم‌کنش‌های میهمان-میزبان، ذهن نسل‌های متعددی از دانشمندان را به خود مشغول کرد و در نهایت منجر به ظهور نظریه جدیدی در شیمی به نام شیمی فرامولکولی شد. این شاخه شیمی همچنان با چالش‌های فراوانی برای سنتز ماکرومولکول‌ها مواجه است.

"ماکرومولکول‌ها را به عنوان اجزای کوچک لگو در نظر بگیرید. ساخت یک حلقه در محلول که اجزای حلقه در آن حل می‌شود، ناممکن است. اما اگر شما اجزای لگو را روی میز بگذارید به راحتی می‌توانید این کار را انجام دهید." این توصیفی است که پروفسور اورگیو از تحقیقی که نتایج آن ماه گذشته در نشریه ASC Nano به چاپ رسیده، ارائه می‌دهد.

سنتز محلولی این ماکروحلقه‌ها در شرایط واکنشی بسیار رقیق انجام می‌شود تا به این ترتیب از واکنش‌های انتشاری بین مولکولی و نیز از پیش‌سازمان‌دهی توسط فلز جلوگیری شود و



از نظر ترمودینامیکی شرایط برای تشکیل حلقه‌های درون مولکولی به جای پلیمریزاسیون بین مولکولی مهیاتر باشد.

در سال‌های اخیر، شیمی روی سطح به عنوان جایگزین امیدوارکننده‌ای برای سنتز ماکروحلقه‌های مولکولی معرفی شده است. محدودیت‌های سطح، آزادی چرخشی و ساختاری پیش‌ماده‌های مولکولی را کم می‌کند. بعلاوه، سطوح جامد می‌توانند به عنوان الگویی جهت هدایت واسطه‌های واکنش برای تشکیل نانوساختارهای مورد نظر عمل کنند. در مقاله پیش رو، محققان روش نوینی را برای این منظور ارائه کرده‌اند.

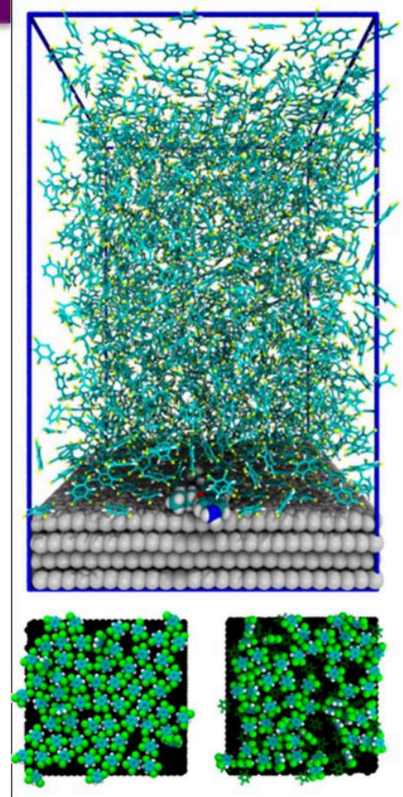
دکتر فو، محقق پسادکتری و نویسنده اول این مقاله ادعا کرده است که روشی را یافته است که در آن از ماکروحلقه‌ها برای طراحی الگوهای مولکولی بر سطح مواد استفاده کرده است.

در واقع سنتز محدود به سطح، روش جالب توجهی است که از آن برای سنتز نانوساختارهای مولکولی پیچیده‌ای همچون درشت‌حلقه‌ها بهره‌گیری می‌شود.

هر چند با وجود پیشرفت‌های اخیر در حلقوی کردن درشت مولکول‌ها بر روی سطح در شرایط خلا بسیار بالا، سنتز انتخابی ماکروحلقه‌های چند جزئی و هم‌اندازه همچنان با چالش روبرو است.

بنابر این مقاله، تشکیل ماکروحلقه‌های بر پایه شیف (Schiff-base macrocycles) روی سطح از طریق شیمی کوالانسی پویا گزارش شده است. این ماکرومولکول‌های بلوری دو بعدی در ابعاد میکرومتری از طریق تبدیل پویای الیگومرهای زنجیره باز به ماکروحلقه‌های شش ضلعی ۰/۳ نانومتری تشکیل می‌شوند.

آنها همچنین نشان دادند که با تنظیم طول جایگزین‌های آلکیلی، می‌توان محصولات واکنش را برای تشکیل الیگومرها، ماکروحلقه‌ها یا پلیمرها بر روی سطح کنترل کرد.



شکل و اندازه ماکروحلقه‌ها جهت طراحی روی سطح گرافیت بسیار ایده‌آل و مطلوب است. وجود حفره‌های بزرگ در ساختار این ماکرو مولکول‌ها در واقع مهم‌ترین مزیت آنهاست.

محققان این گروه موفق شدند مجموعه‌ای از فنیلن بیس ایمین‌های (phenylene-bis-imine) مختلف را از طریق متراکم‌سازی ۱،۲،۴-تری کلروبنزن به روش شیف درون محفظه‌ای در فصل مشترک آن با سطح گرافیت آماده کنند. این نتایج با تصاویر آماده شده توسط STM مطابقت دارد.

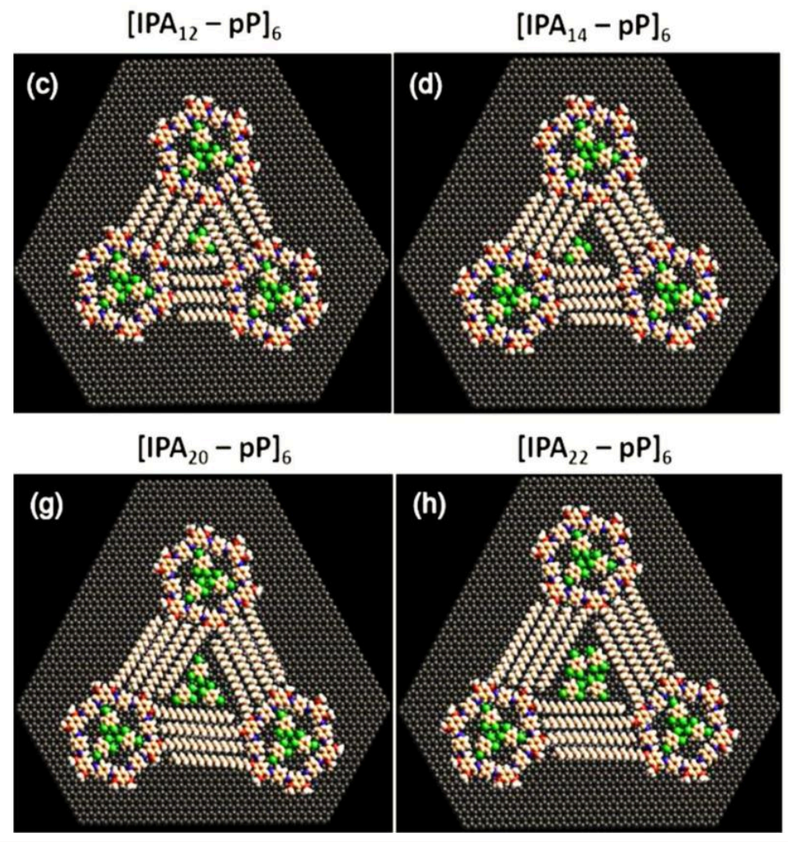
Bis(octadecyloxy)- isophtalaldehyde (IPA_n)های مختلف و p-Phenylenediamine (pP) پیش‌ماده‌های اصلی این آزمایش تجربی است.

پروفسور اورگیو توضیح می‌دهد: "ماکروحلقه‌ها را درون یک محلول بر روی سطح مورد نظر لایه‌نشانی می‌کنند و پس از تبخیر مایع، تنها مولکول‌ها هستند که باقی می‌مانند. ما می‌توانیم چگونگی کنار هم قرار گرفتن آنها را پیش‌بینی کنیم اما جهتگیری‌ها به صورت طبیعی و از طریق برهم‌کنش با سطح و مولکول‌های مجاور صورت می‌گیرد.

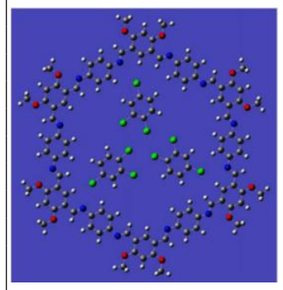
کشیدگی زنجیره‌های آلکیلی بر روی تک مولکول‌های ایزوفتالالدهید منجر به انتقال تدریجی محصولات روی سطح، از تریمرها به ماکروحلقه‌ها شد که در این روش ماکروحلقه‌سازی [۶+۶] در فصل مشترک گرافیت/مایع، بر مبنای متراکم‌سازی شیف بین شش مولکول ایزوفتالالدهید (IPA_n) و شش مولکول فنیلین دیامین (pP) در محلول تری کلروبنزن (TCB) انجام شد. این ماکروحلقه‌ها شامل حلقه‌های ۶۶ اتمی با قطر ۳ نانومتری، ۱۲ پیوند ایمینی و ۱۲ حلقه اکتادسیلی رو به بیرون است. سنتز چنین ساختارهایی درون محلول، در صورتی که غیرممکن نباشد، بسیار چالش برانگیز است که آن هم به علت بی‌نظمی‌های ساختاری فنیلین‌های متصل به ایمین‌ها است.

محققان این گروه از میکروسکوپ‌های تونل‌زنی روبشی برای مشخصه‌یابی ماکروحلقه‌سازی داخل محفظه با قدرت تفکیکی در حد ابعاد زیر مولکولی بهره گرفتند و توانستند تشکیل آرایه‌های دو بعدی از میکروحلقه‌های بر مبنای شیف [۶+۶] هم‌اندازه را به اثبات رساندند. بعلاوه، با تغییر طول زنجیره‌های جانبی آلکوکسی در پیش‌ماده IPA_n، توانستند روند تولید محصولات مختلف را کنترل کنند.

در این مقاله، همچنین با استفاده از مدل‌های مولکولی محاسبه شده بر مبنای تئوری تابع



این پژوهش با همکاری پروفسور پرپیچکا استاد شیمی دانشگاه مک‌گیل انجام شد که تخصص ایشان کمک بزرگی به درک روند این فرآیند کرد. فهمیدن این مطلب که چگونه مولکول‌های معینی می‌توانند خود را بر روی سطح گرافیت مرتب کنند، گام موثری در توسعه این روش نوین است.



چگالی (DFT) نقش طول زنجیره آلکیلی به عنوان "knob" توضیح داده شده است.

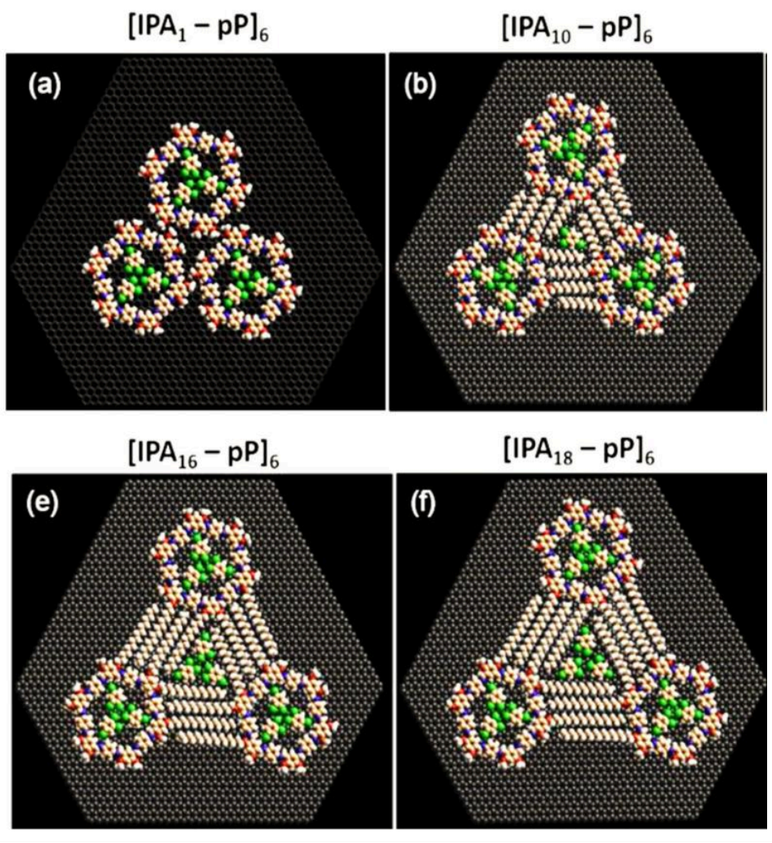
شبیه‌سازی دینامیک مولکولی نقش جذب رقابتی بین حلال، پیش‌ماده‌های تک مولکولی و واسطه‌ها را در چگونگی تعیین شروع واکنش‌های سطح نشان می‌دهد که همین امر خود منجر به توسعه محصولات متفاوتی در سطح می‌شود. شکل زیر مدلسازی مولکولی مولکول‌های حلال TCB جذب شده در شبکه‌های ماکروحلقه‌ای را نشان می‌دهد.

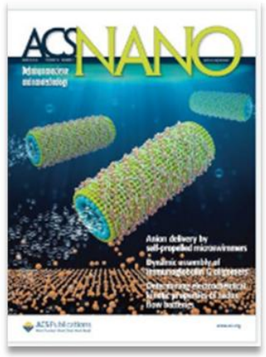
به گفته پروفسور اورگیو:"ممکن است در نهایت ما بتوانیم از ماکروحلقه‌هایمان به عنوان یک قاب استفاده کنیم و منافذ آن را با زیست مولکول‌ها پر کنیم و به این ترتیب می‌توانیم مشخصه‌های زیست حسگری سطح را ارتقا دهیم. این هدفی است که گروه تحقیقاتی ما در گام بعدی برای انجام پروژه‌های آتی دنبال خواهد کرد."

اگرچه ساخت این ماکروحلقه‌ها اغلب چالش‌برانگیز و کم بازده است اما امروزه بسیاری از این ماکروحلقه‌ها در شیمی پزشکی، کاتالیست‌ها، حسگرها و صنایع اپتوالکترونیک کاربرد گسترده دارند.

علاقه‌مندان می‌توانند برای دسترسی به جزئیات بیشتر به مرجع زیر مراجعه نمایند:

*Chaoying Fuand et al., Surface-Confined Macrocyclization via Dynamic Covalent Chemistry. ACS Nano, 2020





https://dx.doi.org/10.1021/acsnano.9b076

محققان برای اولین بار موفق شدند یک فوتون را به سه فوتون تقسیم کنند!

برای دهه‌های متمادی، تبدیل کاهشی پارامتری خود به خودی (SPDC) یکی از اهرم‌های قدرتمند فناوری در کاوش پدیده‌های کوانتومی و کاربردهای آن بوده است.

SPDC فرآیندی است که از یک تک فوتون پمپ یک جفت فوتون تولید می‌کند و نقش مهمی در آزمایشات اساسی نظریه‌های کوانتومی و همچنین کاربردهایش در پردازش اطلاعات کوانتومی دارد.

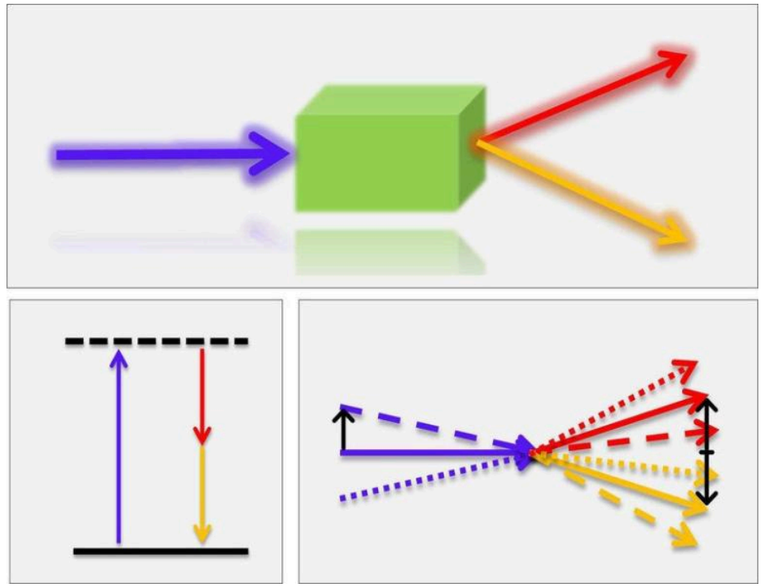
SPDC در گستره وسیعی از فرکانس‌های نور مرئی گرفته تا مایکروویو کاربرد دارد. به عنوان مثال در تقویت‌کننده‌های محدود کوانتومی، چشمه‌های نور غیرکلاسیکی شامل حالت‌های نور فشرده، حالت‌های فوک و جفت فوتون‌های در هم‌تنیده بسیارمورد استفاده قرار می‌گیرد.

اهمیت و گستره کاربردی این پدیده‌ها تحت عنوان اپتیک کوانتومی دو فوتونی شناخته می‌شود. به تازگی تعمیم SPDC دو فوتونی استاندارد مورد مطالعه قرار گرفته اما این تلاش‌ها هم از نظر تئوری و هم عملی با چالش‌های فراوانی مواجه شده است.

با توجه به نتایج پژوهش‌های اخیر، محققان به این فکر افتادند که SPDC دو فوتونی را به مراتب بالاتر نیز تعمیم دهند تا بتوانند فوتون‌های سه‌گانه درهم‌تنیده را تولید کنند. هر چند که تولید مستقیم فوتون‌های دوگانه از طریق یک فرآیند SPDC، همچنان بی نتیجه باقی مانده است.

اما محققان دانشگاه واترلو، با بهره‌گیری از یک کاواک پارامتری ابررسانا با شار پمپ، SPDC مستقیم سه فوتونی را با فوتون سه‌گانه تولید شده در یک مد تک کاواکی یا جدایی بین مدهای چندگانه را با موفقیت آزمایش کردند.

آنها نشان دادند با یک پمپاژ قوی، حالت‌ها می‌توانند به طور کامل روشن شوند (با چگالی‌های شاری بیش از ۶۰ فوتون در هر ثانیه در هر هرتز).



شکل بالا طرحواره‌ای از فرآیند تبدیل کاهشی پارامتری دو فوتونی را نشان می‌دهد.

حالت‌های مشاهده شده به طور کامل غیر گوسی بودند که این مسئله برای کاربردهای بالقوه بسیار حائز اهمیت است. در حالت تک مد، توزیع ستاره‌ای شکل مثلثی از ولتاژهای مربعی، نشان‌دهنده حالت ستاره‌ای است که از قبل پیش‌بینی شده بود.

حالت‌های مشاهده شده همبستگی مرتبه سوم را از خود نشان می‌دهند که برای حالت تولید شده با هامیلتونی مکعبی همین انتظار می‌رفت.

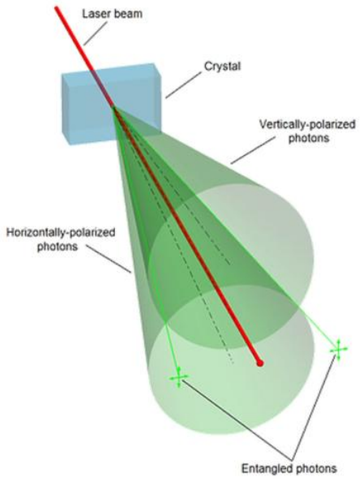
با پمپاژ سیستم در بسامد مجموع مدهای چندگانه، همبستگی مرتبه سوم قوی بین مدهای چندگانه مشاهده شد. این در حالی بود که اثری از روابط مرتبه دوم وجود نداشت.

روابط مرتبه سوم غیرگوسی به دست آمده قدم رو به جلوی مهمی در اپتیک کوانتومی است که می‌تواند در ارتباطات کوانتومی با میدان‌های مایکروویو و نیز محاسبات کوانتومی متغیر-پیوسته بسیار اثرگذار باشد.

کریس ویلسون، یکی از محققان اصلی این طرح و عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه واترلو در این باره می‌گوید: "متوجه شدیم که برای درهم‌تنیدگی تولید شده با دو فوتون محدودیت‌هایی وجود دارد اما این نتایج زیربنای نمونه جدیدی از اپتیک کوانتومی سه فوتونی را تشکیل داد.

با توجه به این که نتایج این تحقیق عدم توانایی تبدیل یک فوتون به دو فوتون دختر درهم‌تنیده را نشان می‌دهد، ما خوشبین هستیم که دریچه نوینی از اکتشافات را به روی بشر گشوده باشیم."

ویلسون می‌گوید: "حدود سی سال است که نسخه دو فوتونی زحمت زیادی را برای محققان کوانتوم به همراه داشته است. ما فکر می‌کنیم که نسخه سه فوتونی می‌تواند این محدودیت‌ها را پس زده و محققان را برای انجام تحقیقات نظری و کاربردهای تجربی بیشتر ترغیب کند. همچنین امیدواریم که محاسبات کوانتومی نوری



بتواند با بهره‌گیری از بخش‌های ابررسانا توسعه یابد."

او برای بسط محدودیت‌های شناخته شده SPDC از فوتون‌های ماکروویو استفاده کرده است. در آزمایش انجام شده از یک تشدیدگر پارامتری ابر رسانا بهره‌گیری کرده است.

نتایج به وضوح نشان از وجود ارتباط قوی بین سه فوتون تولید شده در بسامدهای مختلف دارد. کار با هدف اثبات درهم‌تنیدگی فوتون‌ها همچنان ادامه دارد.

محققان این گروه همچنین روابط مرتبه سوم را تحت تبدیل مدی با گروه متقارن سیمپلکتیک مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که ویژگی‌های تبدیلی به عنوان اثر انگشت هامیلتونی مکعبی خاص که آن را تولید می‌کند، به کار می‌رود.

به گفته‌ی ویلسون: "عملکرد و حالت‌های غیرگوسی پیش‌نیاز مهم دستیابی به مزایای کوانتومی است. شبیه‌سازی این حالت‌ها بسیار دشوار است و مدل کلاسیکی نیز قادر به انجام کارهای نظری در این زمینه نیست."

محققان موسسه محاسبات کوانتومی در دانشگاه واترلو برای اولین بار موفق به پیاده‌سازی این نظریه شدند و توانستند به صورت مستقیم یک فوتون را به سه فوتون مجزا تقسیم کنند.

به گفته‌ی ویلسون: "عملکرد و حالت‌های غیرگاوسی پیش‌نیاز مهم دستیابی به مزایای کوانتومی است. شبیه‌سازی این حالت‌ها بسیار دشوار است و مدل کلاسیکی نیز قادر به انجام کارهای نظری در این زمینه نیست."

superconducting quantum interference devices (SQUIDs)ها افزاره‌های تداخل کوانتومی ابر رسانایی هستند که در گستره وسیعی از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از آن جایی که کاربردهای اولیه SPDC با یک هامیلتونی مرتبه دوم محقق شده است، تعمیم فشردگی به مراتب بالاتر هامیلتونی موضوع مطالعه جذاب بسیاری از محققان قرار گرفت. در مورد SPDC تک مد، فرآیند فشردگی عام با هامیلتونی SPDC مرتبه kام به صورت زیر با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\hat{H} = \hbar g_k(\alpha^* \hat{a}^k + \alpha \hat{a}^{\dagger k}),$$

که در این رابطه α بیانگر پمپ (با تقریب پارامتری)، g_k ثابت جفت‌شدگی مرتبه kام است و $\hat{a}$ عملگر فنا در حالت تک مد است.

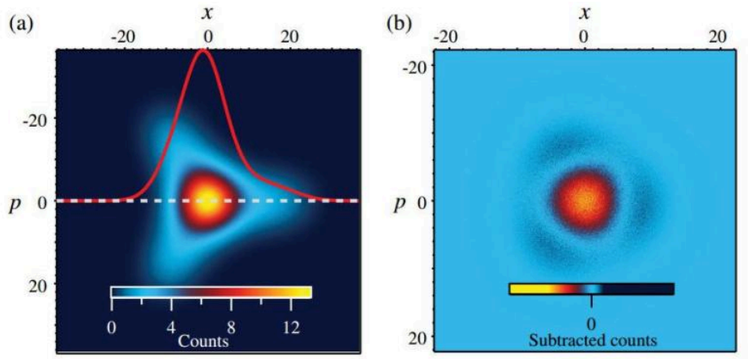
در اواسط دهه ۱۹۸۰جمع‌بندی مطالعات اولیه بر آن بود که فرآیندهای فشردگی عام غیر فیزیکی هستند. کارهای بعدی نشان داد که این مسائل ریاضی محض است و اولین توزیع فضای فاز حالت‌های عام با استفاده از جدیدترین روش‌های پیوستگی تحلیلی محاسبه شد. بعدها ثابت شد که با کوانتیزه شدن پمپ، دیورژانس ظاهری که در تقریب پارامتری وجود دارد، از بین می‌رود.

علی‌رغم چالش‌های نظری، تحقیقات بر مبنای استاتیک غیرگوسی جدید و مشخصه‌های غیرکلاسیکی (مانند منفی ویگنر که در حالت‌های فشرده معمولی وجود ندارد اما در حالت‌های فشرده از مرتبه بالاتر وجودش پیش‌بینی می‌شود)، همچنان ادامه دارد.

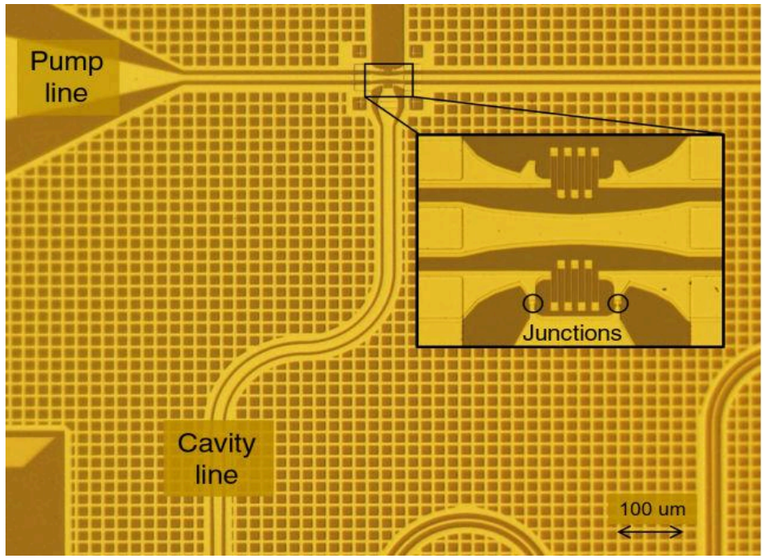
حالت‌های تعداد زیاد فوتون‌ها همواره بسیار جذاب بوده و به طور بالقوه در کاربردهای پردازش اطلاعات کوانتومی متعددی موثر واقع می‌شود. به این ترتیب، انجام آزمایشی فرآیند SPDC ابتدایی قادر به تولید سه یا تعداد بیشتری فوتون نبود و همچنان به صورت چالشی مهم باقی ماند. در حوزه نوری، آزمایش‌هایی با استفاده از SPDC آبشاری و تولید فوتون با یک نقطه کوانتومی با موفقیت به تولید سه فوتون همبسته انجامید. از آن جایی که نرخ تولید فوتون سه‌گانه در این روش‌ها بسیار کوچک بود، تحلیل جزئی حالت‌های سه فوتونی یا اصول هامیلتونی با دشواری انجام می‌شد.

در این روش‌ها امکان کنترل فرکانس‌های کاهشی وجود نداشت و همین امر تولید فوتون سه گانه تک مد را با مشکل مواجه می‌کرد.

در محدوده مایکروویو، نوسانات پارامتری سه‌گانه دوره‌ای کلاسیکی با بهره‌گیری از یک کاواک ابررسانای پارامتری و با شار پمپ قوی، مشاهده شد. کاواک‌ها و تشدیدکننده‌های



بافت‌نگار(histogram) اندازه‌گیری شده حالت‌های فشرده سه‌گانه در یک تک مد (a) بافت‌نگار یک حالت فشرده سه‌گانه روشن با F=66 که تقارن مثلثی آن به وضوح مشخص است و مشخصه غیرگاوسی آن را نشان می‌دهد. (b) بافت‌نگار یک حالت فشرده سه‌گانه با F=1 بعد از استخراج بافت‌نگار نوفه سیستم



ابررسانای پارامتری بر مبنای افزاره‌های تداخل کوانتمی ابررسانا (SQUID)ها افزاره‌های مهمی هستند که در گستره وسیعی از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این افزاره‌ها، از بالاترین مرتبه غیر خطی کسینوسی SQUIDها برای تولید تبدیل کاهشی دو فوتونی استفاده می‌شود.

در این مقاله، محققان این افزاره‌ها را به گونه‌ای اصلاح کرده و توسعه دادند که بتوانند به مرتبه بالاتر غیرخطی‌های SQUID دست یابند.

این افزاره یک تشدیدکننده موجبر هم‌صفحه یک چهارم طول موجی است که از یک سر به یک SQUID وصل است و از سوی دیگر به خازن (Q=7000) متصل به Ω Z=50 متصل شده است (شکل بالا). مد پایه بسامد پایینی حدود ۱ گیگاهرتز دارد و سه مد مرتبه بالاتر با پهنای باند اندازه‌گیری ۴-۸ گیگاهرتز نیز قابل دسترسی است.

دستیابی به مد فضای غیرتبهگن و همچنین فرکانس‌های مد ۴ و ۶ و ۷ گیگاهرتز، از طریق مهندسی امپدانس امکان‌پذیر است. فرآیندهای پارامتری توسط یک پمپ مایکروویو هدایت می‌شوند و به صورت استقرایی با SQUID تنظیم می‌شوند به گونه‌ای که شرایط مرزی کاواک را تنظیم کنند. با بهره‌گیری از اندوکتانس حرکتی (شکل ۱) و دیگر اصلاحات، در مقایسه با طراحی‌های قبلی، جفت‌شدگی پمپ نزدیک به ۳۰ دسی‌بل افزایش یافته است که این خود نقش مهمی در دستیابی به فرآیندهای پارامتری مرتبه بالاتر دارد. بسیاری از کاواک‌ها و تشدیدگرهای پارامتری که پیش از این راجع به آنها صحبت شد، از یک SQUID متقارن بهره می‌گرفتند که در آن دو پیوندگاه جوزفسون که شامل SQUID هستند به گونه‌ای طراحی شده‌اند که همان انرژی جوزفسون را داشته باشند. این تقارن مزایای متعددی را به همراه دارد، به عنوان مثال قابلیت تنظیم فرکانس کاواک‌ها را به حداکثر می‌رساند.

با این وجود، این امر برهم‌کنش‌های مکعبی بین مدهای کاواک (به خاطر تقارن زوج غیرخطی کسینوسی خالص مربوط به تقارن SQUID) را سرکوب می‌کند.

برای دستیابی به غیرخطی‌های مکعبی (فرد)، لازم است تقارن SQUID شکسته شود.

علاقه‌مندان می‌توانند برای کسب اطلاعات بیشتر به مرجع زیر مراجعه نمایند.

C. W. Sandbo Chang and et al., Observation of Three-Photon Spontaneous Parametric Down-Conversion in a Superconducting Parametric Cavity, PHYS. REV. X 10, 011011 (2020)