

میکروکاوک‌های تار اپتیکی به دقت آنکستروم می‌رسند / مارک ویلسون

منبع: Nature (February 2012) 14-16.

اما قراردادادن تشدیدگرها به صورت سری به‌شکلی که سیگنال با بازدهی زیاد بین آنها ردوبدل شود نیاز به تطبیق طول موج تشدید هر کدام از آنها دارد و به‌دلیل این‌که تشدید را اندازه و شکل میکروکاوک معین می‌کند بسیار مشکل است.

در یک روش نویددهنده که طی دهه‌ی پیش به‌بار آمده است، محققان به صورت موضعی تارشیشه را با شعله یا لیزر کربن‌دی‌اکسید حرارت می‌دهند و آن را می‌کشند تا این‌که بین ناحیه‌هایی که باریک شده‌اند برآمدگی شکل بگیرد.

در سال ۲۰۰۹ آرنو راوشن‌بویتل و همکارانش از دانشگاه یوهانس گوتنبرگ با این روش میکروتشدیدگرهایی به‌شکل بطری ساختند که انحای موضعی محوری‌شان مدهای دالان نجوا را مقید می‌کرد و ساخت آنها با دقت ۲ میکرومتر تکرارپذیر بود [۱].

میشا سومتسکی و همکارانش در آزمایشگاه‌های OFS (قبلاً یکی از شاخه‌های آزمایشگاه‌های بل) گزارش کرده‌اند که دقت روش قبلی را تا میزان حیرت‌انگیز ۲ آنکستروم بهتر کرده‌اند و آن هم به صورتی که ساده‌تر از آن امکان نداشت: آنها تصمیم گرفتند تار را تحت کشش قرار ندهند بلکه تنها آن را به صورت موضعی گرم کنند و با عملیات گرمایی تنش‌های مانده را از بین ببرند [۲]. برآمدگی‌های مقیدکننده‌ی مد با یک‌نواختی شگفت‌انگیز هم‌چنان ظاهر شدند.

برای اثبات درستی این روش، این گروه سری ۵ تشدیدگر تقریباً یک‌سان را ساخته است، که مانند دانه‌های تسبیح روی تار سیلیکای معمولی در فاصله‌ی ۱۰۰ میکرومتر از یک‌دیگر قرار گرفته‌اند. قسمت الف شکل این آرایش‌رنامایش می‌دهد.

SNAP

سومتسکی سال گذشته حین تلاش برای تعیین تغییرات طبیعی قطر تار نوری این

تغییر موضعی شعاع و ضریب شکست تار شیشه‌ای با استفاده از نور و گرما، روشی ساده و تکرارپذیر برای خلق و کوک کردن تشدیدگرهای ریزمقیاس است.

یکی از اهداف قدیمی دانش اپتیک، ساخت ابزارهایی مانند حائل^۱ مینیاتوری، میکرولیزر، کلید نوری و فیلتر است که بتوان در کامپیوتری تماماً نوری (بی‌نیاز از حضور الکترون) جای داد. ساختار پایه‌ی لازم برای اجزاء چنین مداری، میکروتشدیدگر^۲ است که می‌تواند سیگنال نوری را در حجم بسیار کوچک درون دیواره‌های بسیار بازتابنده‌اش تا چند صد میکروثانیه، مقید کند. این تشدیدگرها اگر به‌شکل چمبره، قرص یا کهری دی‌الکتریک با قطر تقریبی چند ده میکرون ساخته شوند، می‌توانند نور را به صورت مدهای دالان نجوا^۳ ذخیره کنند. وجه تسمیه این مدها به نحوه‌ی حرکت امواج نور برمی‌گردد که در اثر بازتاب کلی از دیواره‌ها، درست مشابه امواج صوتی در کلیسای جامع سنت پل لندن، پیرامون فضای تشدیدگر را دور می‌زنند. شرط تشدید هنگامی برقرار می‌شود که مسافت یک دور گردش، ضریب صحیحی از طول موج باشد. جذابیت تشدیدگرها با مد «دالان نجوا»، خصوصاً آنهایی که از سیلیکا (سیلیسیوم‌اکسید) ساخته می‌شوند در بزرگ‌بودن ضریب Q آنهاست. ضریب Q معیاری برای زمان ماندگاری نور است و از نسبت طول موج تشدید به پهنای طیف به‌دست می‌آید که در این تشدیدگرها تا ۱۰^{۱۰} هم می‌رسد.

این مقدار حداقل دو مرتبه‌ی بزرگی بیشتر از همین مقدار برای تشدیدگرهایی است که با روش خوردگی و لیتوگرافی ساخته می‌شوند و در بلورهای فوتونیک به‌کار می‌روند.

هر چه مقدار Q بیشتر باشد نور زمان بیشتری در تشدیدگر می‌گردد، طیف تشدید قله‌ی تیزتری خواهد داشت، و حساسیت نسبت به تغییرات ضریب شکست در هر تشدیدگر مدار بیشتر خواهد شد.

و کپلر ۱۶ ب [۱]. نه تنها این سه سیاره از جلوی ستاره‌شان می‌گذرند و نور ستاره را کم می‌کنند بلکه خود ستاره‌ها هم نور یک‌دیگر را سد می‌کنند.

گرچه کشف کپلر ۱۶ ب نشان داد که چنین جرم آسمانی می‌تواند وجود داشته باشد، کشف ولش و همکاران نشان می‌دهد که نه تنها این جرم آسمانی استثنا نیست بلکه امکان می‌دهد فراوانی چنین اجرامی را تخمین زد. نویسندگان مقاله به این نتیجه می‌رسند که برای ستاره‌های دوتایی با دوره‌ی کوتاه امکان یافتن سیاره‌های دوتایی گرد دست کم یک درصد است [۲]. اگر نگاهی به کسری از ستارگان که دوتایی کوتاه‌دوره هستند بیاندازیم معلوم می‌شود که این نتیجه به معنای میلیون‌ها سیاره‌ی دوتایی گرد در تمام کهکشان راه شیری است. دوتایی‌های بلنددوره که فراوانی‌شان در کهکشان راه شیری به همان اندازه است در این تحلیل به حساب نیامده‌اند.

شاید برخی سیاره‌های دوتایی گرد قابل سکونت نیز باشند، گرچه سه سیاره‌ی که تاکنون شناسایی شده‌اند چنین نیستند. کپلر ۱۶ کمی سرد است و کپلر ۳۴ و کپلر ۳۵ بیش از حد گرم‌ند. فصل‌های آنها نیز به شدت متغیر است زیرا میزان نوری که از ستاره‌ی میزبان‌شان دریافت می‌کنند نه تنها طی دوره تناوب ستاره‌هاشان (حدود چند ده روز) و دوره تناوب گردش خود سیاره (چند صد روز) تغییر می‌کند بلکه در دوره‌ی حرکت تقدیمی مدارها برخاسته از آثار سیستم سه‌ذره‌ای نیز تغییر می‌کند.

ویژگی‌های مشترک این سه سیاره چیست؟

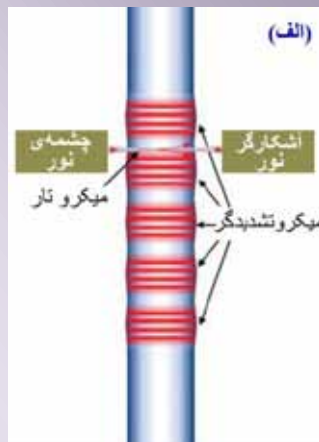
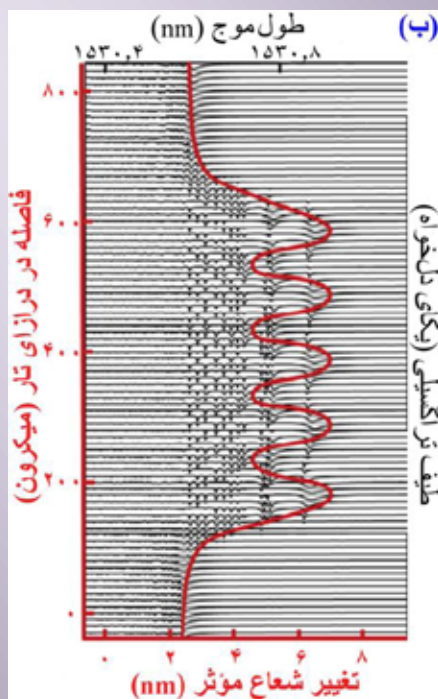
فاصله‌ی ستاره‌ها در سیستم‌های دوتایی بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۲ یکای نجومی ست و سیاره‌ها در فاصله‌ی بین ۰/۶ تا ۱/۱ یکای نجومی به دور میزبان‌شان می‌گردند. به این ترتیب این سیاره‌ها تقریباً در فاصله‌ی نزدیک به کوچک‌ترین مدار ممکن و پایدار قرار دارند. اما بخشی از این نکته که این سیاره‌ها نخستین سیاره‌هایی بودند که کشف شدند برخاسته از روش آشکارشدن‌شان است. با ادامه‌ی رصدهای کپلر حساسیت آن به سیاره‌هایی با دوره‌های بلندتر بیشتر خواهد شد: این سه سیستم تنها نماینده‌ی نوک کوه یخ است.

A new class of planet
John Southworth

مترجم: نادر حیدری

۱. گروه اختر فیزیک دانشگاه کیل، نیوکاسل کنار جنگل لایم، استافوردشایر، انگلستان

2. circumbinary
3. HATNet
4. SuperWASP
5. Cygnus
6. Lyra



(الف) زنجیره‌ی ۵ میکرو تشدیدگر در درازای تار شیشه‌ای را می‌توان با تغییرات ظریف شعاع و ضریب شکست (که ترکیبشان به نام «شعاع مؤثر» شناخته می‌شود) حاصل از گرمادهی با لیزر به وجود آورد. به کمک تار نازکتر عمود بر تار اصلی میتوان نور را درون تار اصلی فرستاد و مدهای دالان نجوا را برانگیخت که باز تاب کلی داخلی در جهت شعاعی و پتانسیل هم آهنگ حاصل از خمیدگی تشدیدگرها در جهت محور آنها را مقید می‌کنند. بیشینه‌ی شدت مدها با رنگ سرخ نشان داده شده است.

(ب) میکروتار را می‌توان برای اندازه‌گیری مقطع موجدار تار نیز به کار برد. طیف تراگسیلی که در هر ۱۰ میکرومتر در درازای تار گرفته شده است (سیاه) طول موج تشدید در هر چاه پتانسیل را آشکار می‌کند. پوش مدهای مجاز (خط سرخ پر) نگاهی از تغییر شعاع مؤثر هر تشدیدگر به دست می‌دهد. تونل‌زنی مدها از سدهای پتانسیل گواه جفت‌شدگی بین تشدیدگرهاست ابر گرفته از مرجع ۱۳.

روش را کشف کرد. فیزیک‌پیشگان دانشگاه بته، تیم برکس، جانانان نایت و تیم دیمیک یک دهه پیش‌تر برای این موضوع راه‌حلی تجربی پیشنهاد کرده بودند [۴]:

اگر درون تار میکرونی که قطرش به تدریج کم می‌شود و بر تار اصلی عمود است نور فرستاده شود، این نور به واسطه‌ی امواج محوشونده^۵ با تار اصلی جفت می‌شود و مدهائی که طول موج‌شان شرط تشدید را برآورده کند برانگیخته می‌شوند. به این ترتیب می‌توان با طیف تراگسیلی تار میکرونی شعاع تار اصلی را تعیین کرد طول موج تشدید را فرورفتگی‌های طیف به دست می‌دهد. تغییر شعاع مستقیماً با تغییرات طول موج متناسب است.

سومتسکی و همکارانش که میکروتار را در درازای محور تار اصلی هر بار چند میکرون حرکت می‌دادند، تغییرات بسیار ظریفی در طول موج تشدید مشاهده کردند که نشان می‌دهد یک نواختی تارهای سیلیکا، حتی تارهای استاندارد موجود در بازار، در درازای چند میلی‌متر طول تار در حد چند آنگستروم است.

با داشتن این اطلاعات آنها تصمیم گرفتند برای مقید کردن مدهای تشدید برآمدگی‌های بسیار کم عمق (در حد چند نانومتر تغییر قطر) بسازند.

شیشه‌ی داغ که تحت نیرو کشیده می‌شود و به تار تبدیل می‌شود، در سرد شدن این تنش را حفظ می‌کند. این اثر چند سال پیش در آزمایشگاه‌های OFS کشف شده بود. محققین دریافتند که این تنش مانده در شیشه را با گرم کردن موضعی تار به مدت تنها ۵ ثانیه تا چند صد درجه (بسیار کم‌تر از نقطه‌ی ذوب سیلیکا) به تدریج می‌توان آزاد کرد. افزایش توان لیزر و داغ‌تر شدن تار، با واهلش بیشتر و در نتیجه افزایش «شعاع مؤثر» تار همراه است. شعاع مؤثر کمیتی است که اثر تغییر شعاع واقعی و تغییر ضریب شکست تار را توأم می‌سازد. این که شعاع مؤثر به این شکل تکرارپذیر بر حسب توان لیزر و امی‌هلد به گفته‌ی سومتسکی «کاملاً غیرمنتظره و از بخت خوش ما بود.» سادگی، سرعت، هزینه‌ی کم و تکرارپذیری باعث شد تا محققین نام «فوتونیک سطحی محوری

شعاع - و در نتیجه طول موج تشدید - هر تشدیدگر با همسایه‌هایش، محققین طیف تراگسیلی را در هر ۱۰ میکرومتر در طول محور تار اندازه گرفتند. دستورالعمل پیشین برکس برای برابر گرفتن تغییر شعاع با تغییر طول موج تشدید به خوبی برای بیرون میکروکاوک کار می‌کند. ولی درون میکروکاوک، مدهای تشدید در راستای محور به شکل مارپیچی بین دو نقطه‌ی عطف نوسان می‌کنند. در نتیجه فرورفتگی‌های طیف در اثر تغییر شعاع جابه‌جا نمی‌شوند بلکه هنگام گذر تار میکرونی از چاه‌های پتانسیل تقریباً ثابت می‌مانند. اما پهنای تشدیدها در ناحیه‌ی سد پتانسیل که جفت شدگی با تار میکرونی ضعیف‌ترین است به طور ناگهانی کم می‌شود. بنابراین برای اندازه‌گیری میزان کوک‌بودن مدها در گذر از تشدیدگرهای مختلف پژوهشگران می‌بایست مستقیماً طول موج‌های باریک‌ترین تشدیدها را مقایسه کنند. تغییرات این طول موج‌ها نشان

نانومتري» که سرواژه‌ی SNAP را می‌سازد برای این فناوری برگزینند.^۶

محققین OFS تار معمولی به قطر ۳۶ میکرومتر را در معرض ۵ تابش جداگانه‌ی لیزر قرار دادند که هر کدام به اندازه ۲/۵ نانومتر شعاع مؤثر را تغییر می‌دهد.

در کل این تابش‌ها زنجیره‌ی از چاه‌های کوانتومی که در واقع میکروتشدیدگر هستند در طولی نزدیک به نیم میلی‌متر تار ایجاد کرد (قسمت ب تصویر). با این که چاه‌های کوانتومی سه‌بعدی هستند، انتشار کند نور در راستای محور از معادله‌ی یک‌بعدی شرودینگر تبعیت می‌کند. پتانسیل این معادله از تغییرات کم شعاع حاصل می‌شود. معلوم شد سد پتانسیل بین چاه‌ها به اندازه‌ی کافی کوچک هستند که تشدیدگرها بتوانند به هم جفت شوند. جدا شدن یک نوار مدها و تونل‌زنی از یک تشدیدگر به تشدیدگر بعدی گواه این نکته است.

برای اندازه‌گیری دقت تطبیق تغییرات

تازه‌ترین اخبار درباره‌ی هیگز

منبع: CERN Courier (Jan 25, 2012)

روز سیزده دسامبر ۲۰۱۱ روزی است که افراد بسیاری آن را به خاطر خواهند سپرد. همه بی‌صبرانه منتظر بودند که آخرین نتایج آشکارسازهای ATLAS و CMS در مورد به دام اندازی بوزون هیگز گریز یا، چه خواهد بود. تنها مدیریت ارشد هر آزمایش می‌دانست که آزمایش دیگر چه نتایجی را ارائه خواهد کرد و این اخبار از بقیه مخفی نگاه داشته شده بود تا جنبه‌ی غافلگیرکننده‌ی آن حفظ شود.

از ساعت ۸:۳۰ صبح فیزیک‌پیشگان به سمت تالار اصلی همایش‌های سرن سرازیر شدند و در ساعت ۱۰:۳۰ سالن به کلی از جمعیت پر شده بود (در حالی که هنوز سه ساعت و نیم تا شروع سخنرانی‌ها مانده بود) و دیگر کسی به داخل سالن راه داده نمی‌شد. فضای هم‌آیش تقریباً حالت جشن و روز تعطیلی را داشت شاید به این دلیل که شبکه‌ی بی‌سیم اشباع شده بود و هیچ‌کس نمی‌توانست کار کند. در اتاق جداگانه‌ای که خبرنگاران خبرگزاری‌های مختلف و کانال‌های تلویزیونی حضور داشتند تا بتوانند در این هیجان سهیم شوند همین انتظار بی‌صبرانه حس می‌شد.

این همه هیجان برای چه بود؟

جواب کوتاه این است: در سخنرانی‌ها معلوم شد اگر بوزون هیگز به همان شکلی وجود داشته باشد که مدل استاندارد پیش‌بینی می‌کند جرم آن باید بین ۱۱۵/۵ GeV تا ۱۲۷ GeV باشد. اگر بخواهیم دقیق‌تر بگوییم، آزمایش CMS با میزان اطمینان ۹۵٪ امکان وجود بوزون هیگز با جرم بیشتر از ۱۲۷ GeV را رد می‌کند و آزمایش ATLAS جرم کم‌تر از ۱۱۵/۵ GeV و جرم بیشتر از ۱۳۱ GeV را. (به استثنای بازه‌ی کوچک بین ۲۳۷-۲۵۱ GeV که آزمایش ATLAS هنوز رد نکرده است). حدهای بالا برای محدوده‌ای که جرم هیگز در آن قرار نمی‌گیرد برای ATLAS برابر است با ۴۶۸ GeV و برای CMS ۶۰۰ GeV.

پیدا کردن حد پایین بازه‌ی را که جرم هیگز در آن قرار نمی‌گیرد، رخ داده‌ای افزون بر انتظار در انرژی‌های حدود ۱۲۰ GeV در هر دو

بسیار چشم‌گیر و سریع بود اما جهت آن معکوس بود. محققین دانشگاه سیدنی مقدار این تغییر را ۰/۲۴- نانومتر در هر دقیقه اندازه‌گیری کردند. این مقدار آن قدر هست که ۱۲ دقیقه تابش نور بتواند میکروکاواک به دام‌اندازنده‌ی مد را به وجود آورد. (علامت منفی به این معنی است که باید ناحیه‌ی بیرون کاواک را تابش داد.) علاوه بر این، چون ماده در طول تابش‌دهی خنک می‌ماند، اگلتون توانست به‌صورت دینامیک تغییرات در طیف تراگسیلی را تحت‌نظر داشته باشد. این که شعاع مؤثر تار کالکونید چه‌گونه با حرارت و آرایش یونی تغییر می‌کند موضوعی جالب و مسئله‌ی باز است.

Optical-fiber microcavities reach angstrom-scale precision
Mark Wilson

مترجم: محمدکریم سعیدقلاتی

مراجع:

- [1] M. Pöllinger et al., Phys. Rev. Lett. 103 (2009) 053901.
- [2] M. Sumetsky et al., Opt. Lett. 36 (2011) 4824.
- [3] M. Sumetsky et al., <http://arxiv.org/abs/1112.5175v1>.
- [4] T. A. Burks, J. C. Knight, T. E. Dimmick, IEEE Photonics Technol. Lett. 12 (2000) 182.
- [5] F. Luan et al., Opt. Lett. 36 (2011) 4761.
- [6] B. J. Eggleton et al., Nat. Photonics 5 (2011) 141.

1. buffer
2. microcavity
3. whispering-gallery modes
4. University of Bath
5. evanescent
6. Surface Nanoscale Axial Photonic: در انگلیسی واژه‌ی snap به معنی «بشکن» است و وقتی گفته می‌شود "it's a snap" منظور سادگی کار است که به آسانی بشکن‌زدن است [ویراستار].
7. chalcogenide: کالکونیدها به عناصر گروه ۱۶ (نیز معروف به خانواده‌ی اکسیژن) گفته می‌شود، کالکونید نمک‌های دوتایی عناصر این گروه به‌غیر از اکسیژن هستند و معمولاً نامی‌ست که برای سولفیدها، سلنیدها، و تلوریدها به‌کار می‌رود منبع: ویکی‌پدیا.

می‌دهد که شعاع‌ها با دقت ۲ آنگستروم یک‌سان هستند.

کالکونیدها

گرما تنها عاملی نیست که می‌تواند به‌صورت تکرارپذیر شعاع مؤثر تار سیلیکا را تغییرات ظریف بدهد. سومتسکی و همکارانش متوجه شدند کنترل تغییر شعاع مؤثر سیلیکای آلانید با ژرمانیوم حساس به نور در اثر تاباندن نور فرابنفش حتی ظریف‌تر (با دقت یک آنگستروم) است.

سیلیکا نیز تنها تار شیشه‌ای نیست که با آن می‌توان با تاباندن نور لیزر میکروتشدیدگر ساخت. بنجامین اگلتون و همکارانش در دانشگاه سیدنی روش ظریف دیگری را برای جای‌گزینش مدهای الکترومغناطیسی در میکروکاواک ابداع کرده‌اند. میکروکاواک آنها نواری نیم میلی‌متری شکل‌گرفته از تارهای آرسنیک‌تری‌سولفید است [۵].

As_۳S_۳ عضوی از خانواده‌ی نیم‌رساناهای بی‌شکل کالکونید است که (دست‌کم در مقایسه با اکسیدها مثلاً سیلیکا) پیوندهای بین‌اتمی ضعیف می‌سازد که باعث می‌شود این ماده در ناحیه‌ی فروسرخ میانی تقریباً شفاف باشد. هم‌چنین مانند سیلیکای آلانید، وقتی تحت تابش نور با طول‌موج نزدیک لبه‌ی نوار انرژی قرار بگیرد پیوند شیمیاییش تغییر می‌کند و این حساسیت به نور به کاربرد آن در یاخته‌های خورشیدی، حسگرهای فروسرخ و حافظه‌های مبتنی بر تغییر فاز (در لوح‌های فشرده) منجر شده است [۶]. این ماده هم‌چنین به‌شدت قطبش‌پذیر است و ضریب شکست آن صدها بار غیرخطی‌تر از سیلیکای آلانید است. اگلتون و همکارانش نیز مانند تیم سومتسکی با استفاده از حساسیت این ماده به‌نور با تاباندن لیزر سبز، طول موج‌های تشدید را برای مدهای چرخنده‌ی دالان نجوا مشاهده کردند.

مانند سیلیکا تغییر در شعاع مؤثر As_۳S_۳

برای سفارش آگهی در «فیزیک روز» به وبگاه www.psimag.ir مراجعه کنید.