مرزهای فیزیک

دکتر منیژه رهبر

جریان الکترون‌ها در گرافن آغازگر موجی جدید در فیزیک است

دانشمندان با مشاهدهٔ حرکت غیرعادی الکترون‌ها در گرافن شناخت تازه‌ای از فیزیک مواد رسانا به‌دست آورده‌اند.

گرافن تا اندازه‌ای به واسطهٔ ساختار دوبعدی‌اش بسیار رساناتر از مس است. در بیشتر فلزات، ناکاملی‌های بلوری که باعث می‌شوند الکترون‌ها مانند توپ‌های بیلیارد هنگام حرکت در مواد پراکنده شوند، رسانایی را محدود می‌کنند.

اکنون، آزمایش‌های صورت گرفته در انستیتوی ملی گرافن شناخت لازم برای چگونگی جریان الکترون‌ها در **گرافن** را در اختیار می‌گذارند که برای طراحی مدارهای نانوالکترونیک آینده ضروری است.

در برخی مواد با کیفیت مانند گرافن، الکترون‌ها می‌توانند بدون پراکنده شدن مسافت‌های حدود میکرون را طی کنند که این کار رسانندگی را چند مرتبهٔ بزرگی بهبود می‌بخشد. این رژیم به اصطلاح پرتابیک، رسانایی الکتریکی بیشینه‌ای را به فلز معمولی تحمیل می‌کند که با فرمالیسم لانداور ـ بوتیکر[1] تعیین می‌شود.

در مقاله‌ای که در مجلهٔ **نیچر فیزیکز**[2] چاپ شده است پژوهشگران دانشگاه منچستر با همکاری فیزیک‌دانان نظری پروفسور مارکو پولینی[3] و پروفسور لئونید لیوتیف[4] نشان داده‌اند که با استفاده از گرافن می‌توان این محدودیت را از میان برداشت. سازوکار مسئول این کار بسیار جالب توجه است.

سال گذشته حوزهٔ جدیدی در فیزیک حالت جامد با نام «هیدرودینامیک الکترون»، توجه علمی شدیدی را به خود جلب کرد. سه آزمایش متفاوت، از جمله آزمایش انجام شده در دانشگاه منچستر، نشان داده‌اند که در برخی دماها الکترون‌ها به قدری با هم برخورد می‌کنند که روی هم رفته یک جریان جمعی مانند **شارهٔ چسبنده** را به وجود می‌آورند.

این پژوهش جدید نشان می‌دهد که این شارهٔ چسبنده حتی از الکترون‌های پرتابیک هم رساننده‌تر است. این نتیجه تا اندازه‌ای دور از انتظار است چون معمولاً رویدادهای پراکندگی با جلوگیری از حرکت الکترون‌ها در بلور رسانندگی را کم می‌کنند. با این همه، وقتی الکترون‌ها به هم برخورد کنند، شروع به همکاری با یکدیگر می‌کنند و عبور جریان را آسان می‌سازند.

این موضوع بدین جهت رخ می‌دهد که برخی الکترون‌ها در حوالی لبه‌های بلور باقی می‌مانند که در آنجا به واسطهٔ اتلاف بیشتر تکانه و حرکت با سرعت کمتر الکترون‌های همجوار خود را محافظت می‌کند و مانع از برخورد آن‌ها با این نواحی می‌شوند. در نتیجه، برخی **الکترون‌ها** به صورت اَبَر ـ پرتابیک درمی‌آیند زیرا به کمک دوستان خود در کانال‌هایی هدایت می‌شوند.

سِرآندره گایم[5] گفت: «در درس‌های مدرسه آموخته‌ایم که بی‌نظمی بیشتر همواره مقاومت الکتریکی را زیاد می‌کند. در این مورد، بی‌نظمی ناشی از پراکندگی در واقع به جای زیاد کردن مقاومت آن را کم می‌کند. این موضوع منحصربه‌فرد و دور از انتظار است. الکترون‌ها وقتی مایعی را به وجود آوردند شروع به انتشار سریع‌تر از زمانی می‌کنند که مانند حرکت در خلأ آزادند.»

این پژوهشگران مقاومت گرافن منقبض شده را اندازه گرفتند و دریافتند که مقدار آن، برخلاف رفتاری که از گرافن آلاییده انتظار می‌رود، با افزایش دما کم می‌شود.

با مطالعه چگونگی تغییر مقاومت در دو سر مواد منقبض شده بر حسب دما، دانشمندان به کمیت فیزیکی جدیدی برخوردند که آن را رسانایی چسبنده نامیدند. اندازه‌گیری‌های انجام شده این امکان را برای آن‌ها فراهم ساخت که چسبندگی را با چنان دقتی تعیین کنند که مقادیر حاصل سازگاری کمّی بسیار خوبی با نظریه داشته باشد.

پی‌نوشت‌ها

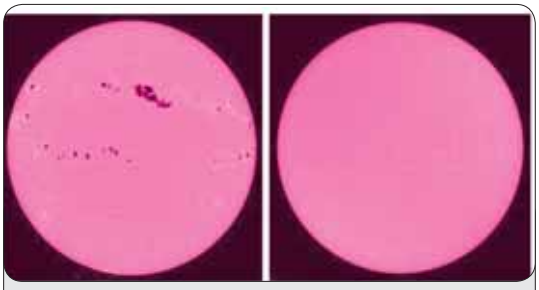
1.Landaver - Buttiker Formalism
2. Nature Physics
3. Marco - Polini
4. Leonid Levitor
5. Sir Andre Geim

برای اطلاعات بیشتر مراجعه کنید به:

R.Krishna Kumar et al. Superballistic flow of viscous electron Fluid through graphene constrictions, *Nature physics* (2017). Dol:10.1038/nphys 4240

منبع

university of Manchester



▲ **چرخه خورشیدی:** تابندگی خورشید ثابت نیست. درخشندگی خورشید ما در یک دورهٔ تقریباً یازده ساله تغییر می‌کند که طی آن تعداد لکه‌های خورشیدی هم متغیر است. تصویر سمت چپ مربوط به سال ۲۰۰۱ (بیشینه فعالیت خورشید) است و تصویر طرف راست در سال ۲۰۰۹ (کمینه فعالیت خورشید) گرفته شده است.

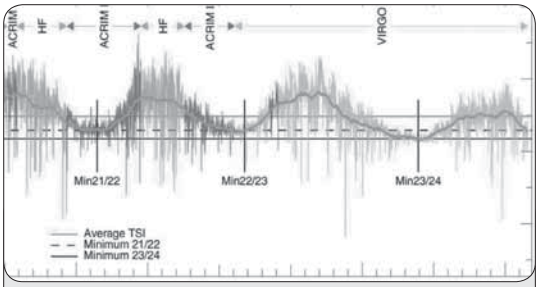
هوای روی زمین گرم‌تر می‌شود. به‌عنوان مثال، دماهای مربوط به دورهٔ ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ حدود ۰/۲ درجه سلسیوس از دهه پیش از آن بیشتر بوده است. هیچ دانشمند فعالی تردید ندارد که بشر نقشی سرنوشت‌ساز در این مورد داشته است. با این همه، عوامل دیگری مانند هندسهٔ مدار زمین و فوران‌های آتشفشانی نیز در آب و هوای جهانی نقش دارند. اما نقش خورشید در این میان چیست؟

وقتی گوی سرخ و تابان خورشید در هنگام غروب در دریا فرومی‌رود شاید لحظاتی آرام و آسوده را در اختیارمان بگذارد. و حتی در تاریک و روشن هنوز می‌توانیم گرمای دلپذیری را که خورشید در طول روز تولید کرده است حس کنیم. اما، ستارهٔ ما می‌تواند زیان‌آور هم باشد. نه تنها **تابش** UV آن برخی معاصران بی‌احتیاط ما را دچار آفتاب سوختگی شدید کرده است. بلکه ذاتاً بسیار فعال است و بسته‌هایی از امواج پلاسمای داغ در سطح آن وجود دارند که فوران‌هایی از گاز داغ را به فضا تزریق می‌کنند. علاوه بر آن، بادی متشکل از ذرات پرانرژی مدام می‌وزد که گاهی به‌صورت طوفان درمی‌آید و برای دستگاه‌های الکترونیکی حساس موجود در ماهواره‌ها زیان‌بار است.

علاوه بر این پدیده‌های روزمره، توان تابندگی خورشید در معرض افت و خیزهای درازمدت هم قرار دارد. این افت و خیزها ناشی از **میدان مغناطیسی خورشید** هستند که خطوط میدان آن در گاز به لحاظ الکتریکی رساننده «درهم می‌آمیزند». این تلاطم شدید دوران می‌کند و لوله‌های پلاسما را مانند نوارهای لاستیکی می‌پیچاند ـ که گاهی پاره و سپس با میدان مغناطیسی همراه می‌شوند.

این فعالیت‌ها با پدیده‌هایی چون لکه‌های تاریک یا شعله‌های درخشان همراه‌اند؛ که مورد اول نواحی خنک‌تر و مورد دوم نواحی با لکه‌های درخشان رشته مانندی هستند که گرم‌تر از نواحی اطراف‌اند. تعداد این لکه‌ها یا شعله‌ها همواره ثابت نیست، بلکه در یک دورهٔ تقریباً یازده ساله تغییر می‌کند. بنابراین، شدت کل تابش خورشیدی هم در این دوره دچار افت و خیز می‌شود. این افت و خیزها حدود ۰/۱ درصد است. با این همه، این تغییرات هم می‌توانند ـ بر حسب طول‌موج ـ نوسان داشته باشند. زیرا تابش خورشید در گسترهٔ وسیعی از طول‌موج‌ها صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال، **تابش فرابنفش** که شرح آن رفت و ارتباط تنگاتنگی با آب و هوا دارد، در طول‌موج‌های کوتاه چند درصد تغییر می‌کند.

خورشید از طریق انرژی‌ای که به زمین گسیل می‌کند می‌تواند در آب و هوای سیارهٔ ما تأثیر بگذارد. با این همه، جو زمین فقط تابش با طول‌موج‌های خاص را از خود عبور می‌دهد که بیشتر در ناحیهٔ نور مرئی قرار دارند. بقیهٔ آن‌ها را مولکول‌های جو جذب می‌کند. بنابراین فقط بخشی از تابش به سطح زمین می‌رسد و می‌تواند آن را گرم کند. سطحی که تحت تابش قرار گرفته است به نوبهٔ خود نور فروسرخ گسیل می‌کند، که ابرها یا ذرات گرد و غبار معلق در فضا جلوی آن را می‌گیرند. این اثر، که بدون آن دمای زمین حدود ۳۲ درجه سلسیوس سردتر می‌بود، جو زمین را گرم می‌کند. این فرایند شبیه شرایط موجود در گلخانه است.



▲ **افت و خیزهای تابش خورشیدی:** این شکل تغییرات دورهٔ یازده ساله چرخهٔ خورشیدی همین‌طور تغییرات کوتاه مدت ناشی از هر گروه لکهٔ خورشیدی و شاره‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. میانگین روشنایی کل را منحنی خاکستری نشان می‌دهد. منحنی‌های مختلف مربوط به اندازه‌گیری‌های با ابزارهای مختلف است.

در اینجاست که تابش فرابنفش نقش خود را ایفا می‌کند. این تابش در گستره‌ای از واکنش‌های شیمیایی مختلف دخیل است ـ که در آن‌ها UV فقط UV نیست! به‌عنوان مثال، تابش در طول‌موج کمتر از ۲۴۰ نانومتر به تشکیل اوزون کمک می‌کند، برعکس آن طول‌موج‌های بلندتر تابش UV همین مولکول را از بین می‌برند. و روی هم‌رفته، تابش با طول‌موج‌های مختلف، مقادیر متفاوت انرژی را وارد تروپوسفر یا وردسپهر می‌کند که پائین‌ترین لایه جو است و تقریباً تا ارتفاع ۱۵ کیلومتر بالاتر از سطح زمین امتداد دارد.

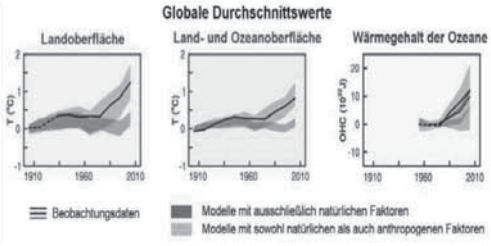
با این همه، خورشید علاوه بر تابش، جریان پیوسته‌ای از ذرات باردار را هم گسیل می‌کند که همان باد خورشیدی گفته شده است. اگر این ذرات به لایه‌های بالای جو زمین برخورد کنند الکترون‌هایی را از اتم‌های نیتروژن و اکسیژن جو جدا می‌سازند، یعنی آن‌ها را یونیده می‌کنند. این فرایند بر شیمی جو تأثیر می‌گذارد ـ اینکه این موضوع چه تأثیری بر آب و هوا می‌گذارد موضوعی است که اکنون مورد بحث قرار می‌گیرد.

جهت بررسی تأثیر خورشید بر آب و هوا پژوهشگران به گذشته می‌نگرند، آن‌ها توجه خود را به فعالیت مغناطیسی ستاره معطوف می‌کنند که شدت تابش حاصل از آن را بتوان بازسازی کرد. سپس معلوم می‌شود که خورشید در دورهٔ فعالیت شدید تابش بیشتری تولید می‌کند ـ که ناشی از تعداد بیشتر لکه‌ها و شراره‌ها نسبت به دوران آرام است.

خورشید دارای یک افت فعالیت در نیمهٔ دوم قرن هفدهم، مثلاً بین سال‌های ۱۶۴۵ تا ۱۷۱۵ بوده است که موتور آن به پت‌پت افتاده بود. طی این دوران که از آن به‌عنوان دورهٔ کمینهٔ ماندر[1] یاد می‌شود، تغییر آب و هوا در اروپا، آمریکای شمالی و چین زمستان‌های بسیار سردی را به‌وجود آورد و حتی تابستان هم در برخی از نواحی مربوط به این «عصر یخبندان کوچک» خنک‌تر بود. به‌عنوان مثال، نقاشی‌های این دوران، اسکیت‌بازهایی را بر سطح یخزده رود تیمز نشان می‌دهند.

دانشمندان با نگاه به گذشته و بهره‌گیری از اطلاعات مربوط به آن و داده‌های مربوط به لکه‌های خورشیدی (با شروع از سال ۱۶۱۰) و استفاده از روش کربن ـ ۱۴ که به‌ویژه می‌توان آن را به‌خوبی در مورد چوب به کار برد زیرا ورودی کربن ـ ۱۴ در زمین (درختان) ثابت نیست بلکه با فعالیت خورشید تغییر می‌کند. این ایزوتوپ پرتوزا وقتی تولید می‌شود که پرتوهای کیهانی در لایه‌های بالای جو به جو زمین برخورد کنند.

میدان مغناطیسی خورشید در سراسر منظومهٔ شمسی گسترده شده است و تا اندازه‌ای جلوی پرتوهای کیهانی را می‌گیرد. اگر میدان مغناطیسی افت و خیز داشته باشد، تولید کربن ـ ۱۴ نیز نوسان پیدا می‌کند. بدین ترتیب انحراف بین سن به‌دست آمده از حلقه‌های درخت و روش کربن ـ ۱۴ معیاری از فعالیت مغناطیسی و در نتیجه توان تابش خورشید است.



▲**به حساب آوردن تأثیر بشر:** مدل‌ها فقط وقتی داده‌های رصدی را تأیید می‌کنند که تأثیر ناشی از فعالیت بشر در محاسبه‌ها در نظر گرفته شود.

پس، شدت تأثیر کنونی خورشید بر آب و هوا چیست؟ آنچه می‌دانیم این است که زمین در طی ۱۰۰ سال گذشته حدود یک درجهٔ سلسیوس گرم‌تر شده است. تنها در طول ۳۰ سال گذشته، دمای زمین با چنان آهنگی افزایش یافته است که در ۱۰۰۰ سال گذشته بی‌سابقه بوده است. واقعیت دیگر این است که غلظت دی‌اکسید کربن پس از انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم ۳۰ درصد افزایش یافته است.

در طی این مدت، خورشید در معرض افت‌وخیزهای دوره‌ای فعالیت خود قرار داشته است. و بدون شک روشنایی خورشید در ۳۰ یا ۴۰ سال اخیر نه تنها زیاد نشده بلکه اندکی هم کاهش یافته است. این بدان معناست که **گرم شدن سراسری** را نمی‌توان ناشی از خورشید دانست. در واقع، با درنظر گرفتن تأثیر خورشید و سایر منابع طبیعی (به‌عنوان مثال **فوران‌های آتشفشانی**) در مدل‌ها نمی‌توان افزایش دمای دهه‌های اخیر را بازتولید کرد. تنها وقتی عوامل ناشی از فعالیت بشر در داده‌های مربوط به آب و هوا منظور شود، آن‌ها با داده‌های مشاهده و اندازه‌گیری شده سازگار می‌شوند.

بنابراین پژوهشگران به این نتیجه می‌رسند که افزایش دمای جهانی بعد از سال‌های ۱۹۷۰ را نمی‌توان به کمک خورشید توجیه کرد. روند دمای مشاهده شده در سه دههٔ اخیر خطی است ـ این روند ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای است، به‌طور خلاصه: تأثیر انسان بر آب و هوا چند مرتبهٔ بزرگی بیشتر از خورشید است. از سوی دیگر، این باور دانشمندان که کاهش کنونی فعالیت خورشید در جهت خلاف گرم شدن سراسری عمل می‌کند مورد بررسی دقیق قرار نگرفته است، چون گرم‌شدن سراسری در واقع همچنان افزایش می‌یابد. بر عکس، به نظر می‌رسد که تأثیر خورشید بر آب و هوا دراز مدت باشد. با این همه، میزان و سازوکار دقیق این تأثیر روشن نیست.

پی‌نوشت‌ها

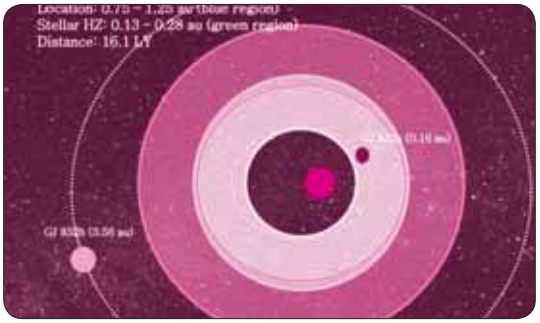
1. Maunder Minimum

* در این دوره تقریباً هیچ لکه‌ای بر سطح خورشید مشاهده نشده است. ابتدا این امر باور نکردنی به نظر می‌رسید ولی پژوهش ادوارد والتر ماندل نشان داد که در واقع چنین بوده است.

منبع

Max Planck Society

پیش‌بینی وجود سیارهٔ زمین مانند در فاصلهٔ ۱۶ سال نوری



منظومهٔ GJ۸۳۲

اخترفیزیک‌دانان دانشگاه تگزاس در آرلینگتون[1] پیش‌بینی کرده‌اند که شاید سیاره‌ای زمین ـ مانند در فاصلهٔ ۱۶ سال نوری وجود داشته باشد.

این گروه منظومهٔ ستاره‌ای گلیز۸۳۲[2] را برای یافتن سیارهٔ فراخورشیدی اضافی بین دو سیارهٔ موجود در این منظومه بررسی می‌کنند. محاسبه‌های آن‌ها نشان می‌دهد که شاید سیارهٔ زمین ـ مانند دیگری با پیکربندی پایدار در گستره فاصلهٔ ۰/۲۵ تا ۲/۰ یکای نجومی (AU) از ستاره وجود داشته باشد.

سومن ساتیال[3] مؤلف اصل مقاله می‌گوید «طبق محاسبه‌های ما، این سیاره به احتمال زیاد جرمی بین ۱ تا ۱۵ برابر جرم زمین دارد.»

اخترفیزیک‌دانان یافته‌های خود را با عنوان «دینامیک یک سیارهٔ احتمالی زمین ـ مانند در منظومهٔ GJ۸۳۲» در *استروفیزیکال جورنال*[4] چاپ کرده‌اند. الکساندر وایس[5] رئیس بخش فیزیک دانشگاه تگزاس این موفقیت را به پژوهشگران تبریک گفت و اظهار داشت «این یک تحول مهم است که امکان وجود یک سیاره جدید در اطراف ستاره‌ای نزدیک به ما را نشان می‌دهد. اینکه دکتر ساتیال توانسته است نشان دهد که این سیاره مداری پایدار در منطقهٔ قابل سکونت کوتوله‌ای سرخ به مدت ۱ میلیارد سال را دارد بسیار شگفت‌انگیز است و قابلیت بسیار زیاد بخش اخترفیزیک دانشگاه را نشان می‌دهد.»

گلیز۸۳۲ کوتوله‌ای سرخ است که جرم و شعاع آن کمتر از نصف خورشید ماست. یک سیاره فراخورشیدی غول‌آسای مشتری ـ مانند به نام گلیز ـ ۸۳۲ ب و یک سیارهٔ بزرگ‌تر از زمین به نام گلیز-۸۳۲ج دور این ستاره می‌گردند. سیارهٔ غول‌آسای گازی با جرم ۰/۶۴ مشتری در فاصلهٔ AV ۳/۵۳ از ستاره دور آن می‌گردد، در حالی‌که سیارهٔ دیگر بالقوه صخره‌ای است و با جرمی پنج برابر زمین به ستارهٔ میزبان نزدیک‌تر و فاصله‌اش تا آن حدود AV ۰/۱۶ است.

گروه پژوهشگر در این بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده را با دادن جرم سیاره‌ای برابر زمین به این منظومهٔ سیاره‌ای نزدیک بررسی کردند تا پیکربندی مداری پایداری را که می‌توانست در فضای وسیع بین دو سیاره شناخته شده قرار داشت بیابند.

گلیز۸۳۲ب و گلیز۸۳۲ج به روش **سرعت شعاعی** یافته شدند که تغییرات سرعت ستارهٔ مرکزی را آشکار می‌سازد که ناشی از تغییر جهت کشش گرانشی به علت وجود سیاره‌های موجود در اطراف ستاره است. با بررسی منظم طیف ستاره ـ و در نتیجه اندازه‌گیری سرعت آن ـ می‌توان فهمید که آیا حرکت تناوبی ناشی از تأثیر یک همدم وجود دارد یا نه.

دکتر ساتیال اظهار داشت، «ما از داده‌های انتگرالی ناشی از تحول زمانی پارامترهای مداری هم برای تولید منحنی‌های سرعت شعاعی سیاره‌های زمین ـ مانند در منظومه استفاده کرده‌ایم. ما منحنی‌های سرعت شعاعی را برای جرم‌ها و فاصله‌ها متغیر به دست آوردیم که وجود یک سیاره جدید میانی را نشان می‌دادند».

به‌عنوان مثال، اگر سیاره جدید در فاصلهٔ حدود 1AU از ستاره قرار داشت حد بالای جرم این سیاره ۱۰ برابر زمین می‌شد و سیگنال سرعت شعاعی ۱/۴ متر بر ثانیه را تولید می‌کرد. سیاره‌ای با جرم حدود جرم زمین در همان محل سیگنال سرعت شعاعی ۰/۱۴m/s را تولید می‌کرد که بسیار کوچک‌تر و آشکارسازی آن با فناوری کنونی بسیار دشوارتر می‌بود.

به گفتهٔ ساتیال، «امکان وجود این سیاره را پایداری مداری درازمدت منظومه، دینامیک مداری و تحلیل سیگنال سرعت شعاعی ممکن ساخته است. همزمان با آن تعداد زیادی رصدهای مرتبط به سرعت شعاعی، بررسی‌های روش‌گذار، همین‌طور تصویرگیری مستقیم باید انجام شود تا وجود این سیارهٔ جدید در گلیز۸۳۲ تأیید شود.»

در سال ۲۰۱۴ ساتیال و همکارانش یافته‌های خود دربارهٔ گسیل‌های رادیویی را در **استروفیزیکال جورنال** منتشر کردند و نشان دادند که قمرهای فراخورشیدی زیادی می‌توانند دور یک سیارهٔ فراخورشیدی در حرکت باشند و پیشنهاد کردند که بر هم کنش‌های میدان مغناطیسی مشتری با قمرش یو را می‌توان برای آشکارسازی قمرهای فراخورشیدی در منظومه‌های فراخورشیدی دوردست به‌کار برد.

پی‌نوشت‌ها
1. Arlington
2. Gliese832
3. Suman Satyal
4. Astropysical Journal
5. Alexander Weiss

برای اطلاعات بیشتر مراجعه کنید به:
S. Satyal et al, Dynamics of a Probable Earth-mass Planet in the GJ832 System, The Astrophysical Journal(2017). Dol:10.3847/1538-4357/aa80e2

منبع
University of Texas at Arlington

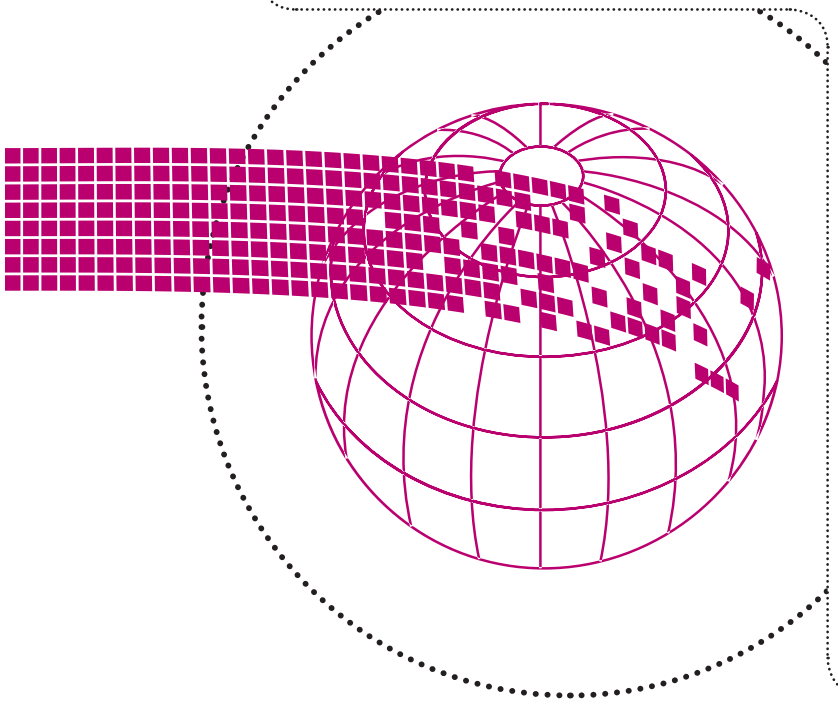
▲فولر[1] و همکاران مدل جدیدی را برای تشکیل عناصر سنگین پیشنهاد کرده‌اند که در آن سیاهچالهٔ کوچکی یک ستاره نوترونی را که به سرعت می‌چرخد از درون می‌بلعد. سطح مقطع ستاره‌ای که به‌صورت مرکزگریز تغییر شکل داده است را در تصویر مشاهده می‌کنید. این ستاره بر اثر چرخش و انتقال تکانه به بیرون جرم قابل ملاحظه‌ای را در استوا از دست می‌دهد. هسته‌های اتمی سنگین، شامل طلا و پلاتین، می‌توانند از طریق فرایند r ـ به معنی سریع در ماده غنی از نوترون خارج‌شده از ستاره تشکیل شدند.

گروهی از پژوهشگران دانشگاه کالیفرنیا نظریهٔ جدیدی را مطرح کرده‌اند که چگونگی تشکیل عناصر سنگین مانند فلزات را توضیح می‌دهد. این گروه نظریهٔ خود را در مقاله‌ای شرح داده‌اند که در مجله *فیزیکال ریویولترز*[2] چاپ شده است و شامل این ایده است که سیاهچاله‌های آغازین[3] (PBHS) با هجوم بردن به مرکز ستارگان نوترونی آن‌ها را از درون بلعیدند.

دانشمندان علوم فضا اطمینان دارند که توضیحی برای منشأ عناصر سبک و متوسط یافته‌اند، اما چگونگی تشکیل **عناصر سنگین‌تر** هنوز اسرارآمیز است. نظریه‌های کنونی مطرح می‌کنند که این عناصر به احتمال زیاد طی فرایندی که پژوهشگران آن را فرایند r ـ به معنی سریع است به وجود آمده‌اند. طی این فرایند تعداد زیادی نوترون با چگالی زیاد به وجود می‌آید و جذب هسته‌های اتمی می‌شود ـ روشن است که این موضوع به محیطی خاص نیاز دارد. محتمل‌ترین نامزد تولید چنین محیطی یک ابرنواختر است. اما به نظر می‌رسد برای توجیه کردن مقدار **عناصر سنگین** موجود تعداد کافی ابرنواختر وجود نداشته باشد. بنابراین، پژوهشگران در تلاشی جدید ایدهٔ تازه‌ای را مطرح کرده‌اند. آن‌ها بر این باورند که سیاهچاله‌های آغازین گاهی با ستارگان نوترونی برخورد کرده‌اند که در این برخورد سیاهچاله به مرکز ستاره چسبیده و شروع به جذب ماده از مرکز آن کرده است.

البته، سیاهچاله‌های آغازین هنوز صرفاً یک نظریه‌اند. گمان می‌رود که آن‌ها درست اندکی پس از مهبانگ به‌وجود آمده‌اند. همچنین این باور وجود دارد که آن‌ها در کهکشان‌ها پرسه می‌زنند و شاید به **مادهٔ تاریک** مربوط شوند. طبق این نظریهٔ جدید اگر یک سیاهچالهٔ آغازین به ستاره‌ای نوترونی برخورد کند، در مرکز آن جایگزین می‌شود و شروع به جذب نوترون و سایر مواد می‌کند. این امر سبب چرخش سریع ستاره می‌شود که به نوبهٔ خود ماده را از لایهٔ خارجی ستاره به فضا پرتاب می‌کند. پژوهشگران فکر می‌کنند که مادهٔ پرتاب شده در محیطی قرار می‌گیرد که شرایط لازم برای فرایند r ـ را داراست و به تشکیل عناصر سنگین می‌انجامد.

این نظریه فرض می‌کند که تعدادی از این برخوردها می‌توانسته صورت گیرد و در واقع به وقوع پیوسته است، و همچنین دست‌کم مقدار کمی از مادهٔ تاریک را سیاهچاله‌ها تشکیل می‌دهند. همین‌طور امکان گردآوری دلایل لازم برای تأیید نظریه در جهان واقعی را با تحلیل فوران‌های اسرارآمیز امواج رادیویی که می‌توانند ناشی از فروریختن **ستارگان نوترونی** پس از درون‌سوزی توسط یک سیاهچاله آغازین باشد را در اختیار می‌گذارد.



پی‌نوشت‌ها

1. Fuller
2. Physical Review Letters
3. Primordial black holes

برای اطلاعات بیشتر رجوع کنید به :

George M.Fuller rt al. Primorclial Black Holes and r-Process Nucleo scythesis/ *Physical Review letters* (2017) Dol:10,1103/ PhyRev-lett.119.061101