



# جایزه‌ی نوبل فیزیک

۲۰۰۴

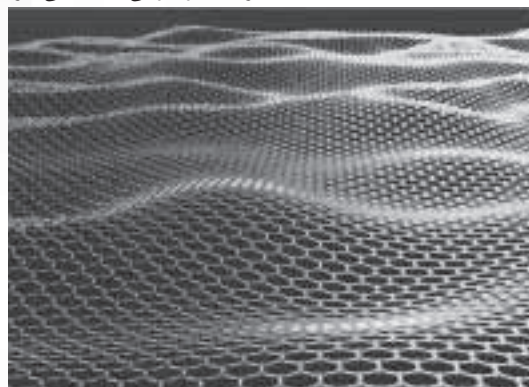
## گرافن - شبکه‌ی اتمی کامل

پوسته‌ی نازکی از کربن<sup>۱</sup> معمولی، درست به ضخامت یک اتم، عامل جایزه‌ی نوبل فیزیک امسال است. آندره گایم و کنستانتین نوسلوف<sup>۲</sup> نشان داده‌اند که کربن به این شکل تخت دارای ویژگی‌های خارق‌العاده‌ای است که از دنیای شگفت‌انگیز فیزیک کوانتومی نشأت می‌گیرد.

گرافن نوعی کربن است. نه عنوان ماده‌ای کاملاً جدید - نه تنها نازک‌ترین بلکه محکم‌ترین است. به عنوان رسانای گرما عملکردی بهتر از تمام مواد شناخته شده دارد. نزدیک به شفاف کامل است، با وجود این چنان چگال است که حتی هلیوم، کوچک‌ترین اتم گاز، نمی‌تواند از آن عبور کند.

در نتیجه، مقاله‌ای که درباره‌ی گرافن در اکتبر ۲۰۰۴ در مجله ساینس منتشر شد سروصدای زیادی در سراسر جهان به وجود آورد. از یک سو، ویژگی‌های عجیب گرافن این امکان را در اختیار دانشمندان می‌گذارد تا مبانی نظری فیزیک را آزمایش کنند. از سوی دیگر اکنون کاربردهای عملی گسترده‌ای از جمله به وجود آوردن مواد جدید و ساخت الکترونیک مبتکرانه با استفاده از آن ممکن به نظر می‌رسد.

یک بار دیگر کربن، مبنای تمام زندگی شناخته شده در روی زمین، شگفتی‌آفرین شده



است.

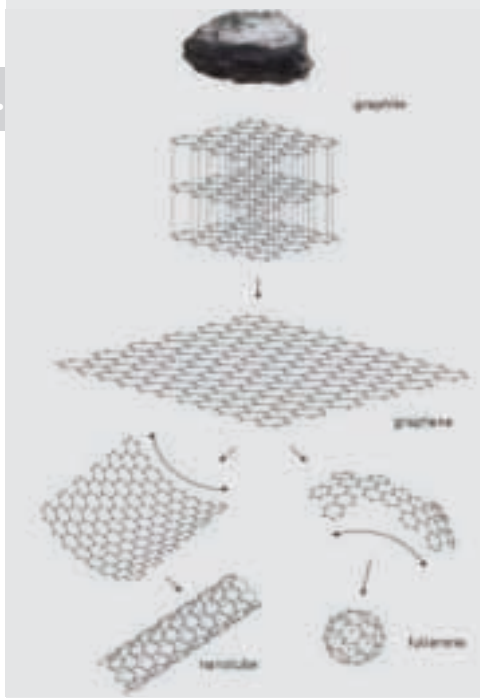
به دست آوردن گرافن بسیار ساده بوده است، این ماده‌ی معجزه‌آسا از گرافیک معمولی به دست می‌آید که در مداد هم یافته می‌شود. با این همه، چیزهای ساده و بدیهی اغلب از چشم ما پنهان هستند.

گرافن از اتم‌های کربنی تشکیل شده که در یک شبکه‌ی تخت - مانند ساختار کندوی عسل اما به ضخامت فقط یک اتم - به هم پیوسته‌اند. در واقع یک میلی‌متر گرافن از سه میلیون لایه‌ی روی هم انباشته تشکیل شده است. پیوند این لایه‌ها با هم ضعیف است و در نتیجه جدا کردن آن‌ها از هم به راحتی صورت می‌گیرد. هر کسی که با مداد معمولی چیزی نوشته باشد این تجربه را داشته است، و ممکن است با جدا کردن آن‌ها یک لایه اتم، گرافن، روی کاغذ باقی بماند.

این چیزی است که وقتی اتفاق افتاد که آندره گایم و کنستانتین نوسلوف با استفاده از نوار چسب پوسته‌های نازک را به صورتی منظم از قطعه‌ی بزرگ از گرافیت برداشتند.

در ابتدا پوسته‌هایی را به دست آوردند که از لایه‌های زیادی گرافن تشکیل شده بود، اما وقتی این شگرد استفاده از نوار چسب را بیت بار تکرار کردند پوسته‌ها نازک و نازک‌تر شدند. گام بعدی یافتن قطعه‌های بسیار ریز گرافن در بین لایه‌های ضخیم‌تر گرافیت

**شکل ۱.** گرافن ضخامت این شبکه‌ی تقریباً کامل فقط یک اتم است. از اتم‌های کربنی تشکیل شده که به صورت شش ضلعی شبیه تورسیمی به هم متصل شده‌اند.



و دیگر تراشه‌های کربن بود. در اینجا بود که فکر بکر دیگری از ذهن‌شان گذشت: دانشمندان دانشگاه منچستر برای مشاهده نتایج کار بسیار دقیق خود، تصمیم گرفتند پوسته‌ها را به صفحه‌ای از سیلیسیم اکسید شده متصل کنند که ماده کاری استاندارد در صنعت نیم‌رساناست.

وقتی صفحه در زیر میکروسکوپ استاندارد قرار گیرد می‌توان رنگین‌کمانی از رنگ‌ها را مشاهده کرد که همانند روغنی است که روی آب ریخته شده باشد. بدین ترتیب می‌توان تعداد لایه‌های گرافن در پوست را تعیین کرد. ضخامت این لایه دی‌اکسید سیلیسیم زیرین نیز به نوبه‌ی خود در آشکار ساختن گرافن مهم است. آن‌ها در زیر میکروسکوپ گرافن در دمای اتاق را به صورت یک لایه‌ی بلورین دوبعدی مشاهده کردند.

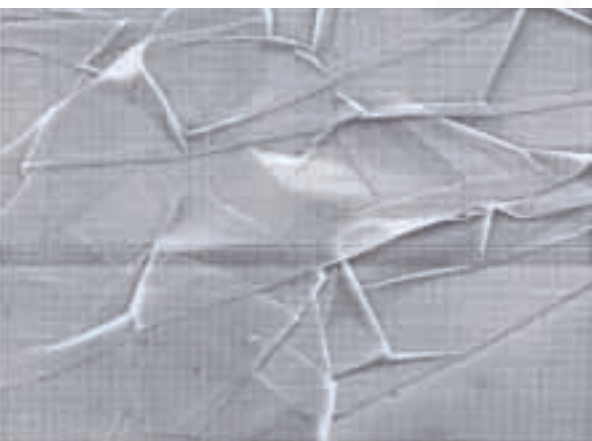
گرافن یک شبکه‌ی کاملاً منظم کربن فقط با دو بُعد طول و عرض است. واحد بنیادی این طرح از شش اتم کربن تشکیل شده است که به‌طور شیمیایی به هم پیوسته‌اند. گرافن، مانند سایر شکل‌های کربن که می‌شناسیم، از میلیاردها اتم کربن تشکیل شده است که در طرحی شش ضلعی به هم پیوسته‌اند.

## منتظر کشف شدن

**شکل ۲. گرافن ضخامت این شبکه‌ی تقریباً کامل فقط یک اتم است. از اتم‌های کربنی تشکیل شده که به صورت شش ضلعی شبیه تورسیمی به هم متصل شده‌اند.**

البته گرافن همواره وجود داشته است؛ چیز مهم توانایی پی بردن به وجود آن است. همین‌طور، سایر شکل‌های طبیعی کربن وقتی مقابل دانشمندان ظاهر شدند که به درستی به آن‌ها نگاه کردند: ابتدا نانولوله‌ها و سپس گوی‌های توخالی کربن (جایزه نوبل شیمی ۱۹۹۶). گرافن به دام افتاده در گرانیات هم منتظر رها شدن بود (نگاه کنید به شکل ۲). هیچ‌کس واقعاً فکر نمی‌کند چنین چیزی امکان‌پذیر باشد. بسیاری از دانشمندان گمان می‌کردند که جدا کردن چنین ماده‌ی نازکی ناممکن است: زیرا فکر می‌کردند در دمای اتاق چروک می‌خورند یا لوله می‌شوند، یا حتی صرفاً ناپدید می‌گردند. با وجود این، بعضی افراد به‌رغم کوشش‌های ناموفق قبلی سعی خود را کردند. پیش از این، امکان به دست آوردن لایه‌های با ضخامت کمتر از ۱۰۰ اتم امکان‌پذیر بود - در واقع نازکی برخی از آن‌ها به اندازه‌ی بود که شفاف بودند.

یک راه به دست آوردن گرافن از گرافیت وارد کردن مواد شیمیایی بین لایه‌های اتمی به منظور ضعیف کردن پیوند بین آن‌ها و سپس جدا کردن لایه‌ها از یکدیگر است. روش دیگر خراشیدن لایه‌هاست. روش «تبخیر» سیلیسیم از بلورهای سیلیسیم کار باید هم با موفقیت امتحان شد. در ماه‌های بسیار زیاد لایه‌های نازکی از کربن به جا می‌ماند. روش‌های مختلف رشد برآرستی<sup>۲</sup>، که برای تولید مواد نیم‌رسانای مختلف به کار می‌رود، در تولید گرافن برای استفاده از صنعت الکترونیک از همه نویدبخش‌تر است. حلقه‌ای از ورقه‌های گرافن به عرض ۷۰ سانتی‌متر بزرگ‌ترین گرافنی است که تاکنون تولید شده است.



**شکل ۳. گرافن ضخامت این شبکه‌ی تقریباً کامل فقط یک اتم است. از اتم‌های کربنی تشکیل شده که به صورت شش ضلعی شبیه تورسیمی به هم متصل شده‌اند.**

## در دنیای پارادوکس‌ها

آندره گایم و کنستانتین نوسلوف فقط توانستند پوسته‌های میکرونی از ماده‌ی جدید به دست آورند. اما به‌رغم اندازه‌ی کوچک این ماده کار روی دو ویژگی جالب توجه گرافن را شروع کردند که هر دو در ویژگی‌های الکتریکی آن تأثیر داشتند. اولین ویژگی ترکیب تقریباً کامل گرافن است. نظم عاری از خطا ناشی از پیوند محکم بین اتم‌های کربن است. همزمان با آن، پیوندهای به قدر کافی انعطاف‌پذیرند که امکان کشیدگی تا ۲۰٪ اندازه‌ی اولیه‌ی آن را امکان‌پذیر سازند. همچنین شبکه به الکترون‌ها امکان می‌دهد که فاصله‌های زیاد را بدون آشفتنگی در گرافن طی کنند. در رساناهای معمولی، الکترون‌ها اغلب به صورت گلوله‌هایی در ماشین پین‌بال ۴ درمی‌آیند. این واجهش‌ها عملکرد رسانا را تضعیف می‌کند.

ویژگی منحصر به فرد دیگر گرافن آن است که رفتار الکترون‌ها در آن مانند ذرات نور، فوتون‌های بی‌جرم، دست که در خلأ بی‌وقفه با سرعت ۳۰۰ میلیون متر در ثانیه به پیش می‌روند. همین‌طور، رفتار الکترون‌هایی که در گرافن حرکت می‌کنند به گونه‌ای است

که گویی جرم ندارند و با سرعت ثابت یک میلیون تر در ثانیه حرکت می‌کنند. این موضوع امکان مطالعه‌ی بعضی پدیده‌ها در کوچک مقیاس را بدون استفاده از شتاب‌دهنده‌های بزرگ فراهم می‌سازد.

همین‌طور گرافن به دانشمندان امکان می‌دهد تا برخی اثرهای کوانتومی شیخ-گونه‌ای را بیازمایند که تاکنون فقط بررسی نظری آن‌ها امکان‌پذیر بوده است. یکی از این پدیده‌ها نوعی **تونل زنی کلاین** است که آن را فیزیکدان سوئدی اسکار کلاین<sup>۵</sup> در سال ۱۹۲۹ فرمول‌بندی کرد. اثر **تونل** در فیزیک کوانتومی بیان می‌کند که چگونه ذرات گاهی می‌توانند از سد بگذرند که معمولاً راه آن‌ها را سد می‌کند. هرچه ارتفاع سد بیشتر باشد احتمال عبور ذرات کوانتومی از آن کمتر است. با این همه، این در مورد الکترونی‌هایی که در گرافن حرکت می‌کنند صادق نیست. در بعضی موارد آن‌ها طوری حرکت می‌کنند که گویی سدی وجود ندارد.

## دنیاهای رویایی

به کاربردهای عملی ممکن گرافن توجه زیادی شده است. تاکنون، اغلب آن‌ها فقط در رویاهای ما وجود داشته‌اند، اما اکنون گیم و نووسلوف مشغول آزمایش آن‌ها هستند.

قابلیت هدایت الکتریکی گرافن توجه زیادی را به خود جلب کرده است. پیش‌بینی شده که ترانزیستورهای گرافنی باید بسیار سریع‌تر از ترانزیستورهای باسیلیسیم باشند که اکنون از سیلیسیم ساخته می‌شوند. برای سریع‌تر و کارآمدتر شدن تراشه‌های رایانه‌ای باید آن‌ها را کوچک‌تر کرد. سیلیسیم به مرز اندازه‌های برخورد می‌کند که پس از آن دیگر کار نخواهد کرد. این حد برای گرافن بسیار کمتر است، بنابراین قطعه‌های گرافن را می‌توان در تراشه‌های کوچک‌تر از آن‌چه اکنون وجود دارد کنار هم گذاشت.

یک نقطه‌ی عطف چند سال پیش بود که معلوم شد ترانزیستور گرافنی سرعتی قابل مقایسه با همتایان سیلیسیم خود دارند. شاید در آستانه باز هم کوچک‌تر کردن قطعه‌های الکترونیکی باشیم که به کارآمدتر شدن رایانه‌ها در آینده می‌انجامد. فعلاً رایانه‌های گرافنی رویایی در دست به نظر می‌رسند، گرچه نمایشگرهای رایانه‌ای شفاف به ضخامت کاغذ را که می‌توان لوله کرد و در کیف دستی حمل کرد در آگهی‌های مربوط به وسایل الکترونیکی آینده ظاهر شده‌اند.

در این میان، در مورد کاربردهایی که کمتر واقع‌گرایانه هستند یا بیشتر فقط می‌توانیم حدس بزیم، زیرا همه‌ی آن‌ها به ابتکار عمل‌های زیادی نیاز دارند و نتیجه‌ی آن‌ها معلوم نیست.

چون گرافن عملاً شفاف است (تا حدود ۹۸٪) و هم‌زمان با آن می‌تواند الکتریسیته را هدای کند. برای تولید صفحه نمایش‌های لمسی، تابلوهای نوری، و یا حتی سلول‌های خورشیدی مناسب خواهد بود. هم‌چنین پلاستیک با مخلوط کردن فقط ۱٪ گرافن با آن می‌تواند به صورت رسانای الکتریکی درآید. همین‌طور افزودن مقدار اندکی گرافن به پلاستیک، مقاومت گرمایی آن‌ها را به میزان ۳۰ C افزایش می‌دهد و آن‌ها را به لحاظ مکانیکی محکم‌تر می‌سازد. از این ویژگی می‌توان برای تولید مواد بسیار محکم استفاده کرد که نازک، کشسان و سبک‌وزن نیز هستند. در آینده، می‌توان ماهواره‌ها، هواپیماها، و اتومبیل‌ها را از مواد ترکیبی جدید ساخت.

ساختار کامل گرافن آن را برای تولید حسگرهای بسیار حساسی مناسب می‌سازد که می‌توانند کوچک‌ترین سطح آلودگی را آشکار سازند. حتی می‌توان یک مولکول جذب‌شده در سطح گرافن را هم کشف کرد.

## یک بازی جدی

فهرست کاربردهای ممکن گرافن بسیار طولانی است. فعالیت شدیدی که پس از کشف آن شروع شده است به احتمال زیاد ثمربخش خواهد بود. هیچ‌کس، حتی برندگان جایزه‌ی نوبل امسال، نمی‌دانند که در آینده چه پیش خواهد آمد. آن‌ها از فرصت ممکن برای پیشروی در هزار توی شانس استفاده کردند و این خوشبختی را داشتند که از فرصت‌های موجود استفاده کنند. همه‌ی ما می‌دانیم که بخت به سراغ ذهن‌های آماده می‌رود.



**شکل ۱.** گرافن ضخامت این شبکه‌ی تقریباً کامل فقط یک اتم است. از اتم‌های کربنی تشکیل شده که به صورت شش ضلعی شبیه تور سیم به هم متصل شده‌اند.

**بی‌نوشت** هر دو برنده فکر می‌کنند که پژوهش باید لذت‌بخش باشد، آن دو مدتی است که با هم کار می‌کنند. کنستانتین نوسلوف، ۳۶ ساله، کار با آندره گایم، ۵۶ ساله، را به‌عنوان دانشجوی دکتری در هلند آغاز کرد. سپس همراه گیم به بریتانیا رفت. هر دوی آن‌ها ابتدا کار خود را به‌عنوان فیزیک‌دان در روسیه آغاز کردند. اکنون هر دو در دانشگاه منچستر استاد هستند.

بازیگوشی یکی از صفات بارز آن‌هاست. این دو کوشیدند با قطعه‌های ساختمانی در اختیارشان، حتی با پرسه زدن بی‌هدف مغزهایشان، چیزی تازه بسازند. در این فرایند همواره می‌توان چیزهایی یاد گرفت، و کسی چه می‌داند، حتی پول کلانی به‌دست آورد. این مورد هفت سال پیش رخ داد که آن‌ها با الهام از توانایی مارمولک برای چسبیدن به حتی هموارترین سطوح نوعی نوار چسب جدید ساختند. پیش از آن، آندره گیم در سال ۱۹۹۷ موفق به بلند کردن یک قورباغه در میدان مغناطیسی شده بود؛ که روش مبتکرانه‌ای برای نمایش اصول فیزیک بود. قورباغه‌ی معلق در سال ۲۰۰۰ برایش جایزه‌ای را به ارمغان آورد که هدفش آن بود «که اول مردم را بخنداند و سپس به تفکر وادارد.»

اکنون، آندره گایم و کنستانتین نوسلوف با گرافن نام خود را در سال‌نامه‌ی علم ثبت کرده‌اند.

- منابع** (الف) وب‌سایت‌ها
- Websites**
1. A. K. Geim's Condensed Matter Physics Group, University of Manchester. [www.graphene.org](http://www.graphene.org)
  2. Kim Group, Columbia University, <http://pico.phys.columbia.edu>
  3. Scientific American, [www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com), search for "graphene"
- (سخنرانی‌ها (دیدنو))
4. Geim, A. K. Graphene, Magic of Flat Carbon, Lancaster University, June 2010. [www.viddler.com/explore/lancsunisciteh/videos/21](http://www.viddler.com/explore/lancsunisciteh/videos/21)
- Popular scientific articles** (مقاله‌های علمی برای همگان)
5. Geim, A. K. and Kim, P. (2008) Carbon Wonderland. *Scientific American* 298(4): 90-97, [www.condmat.physics.manchester.ac.uk/pdf/mesosopic/news/graphene/SciAm\\_2008.pdf](http://www.condmat.physics.manchester.ac.uk/pdf/mesosopic/news/graphene/SciAm_2008.pdf)
  6. Chodos, A. (Ed.) (2009) October 22, 2004: Discovery of Graphene, *APS News* 18(9): 2, [www.aps.org/publications/apsnews/200910/physics/history.cfm](http://www.aps.org/publications/apsnews/200910/physics/history.cfm)
- (ب) مقاله‌ی علمی
7. Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. C., Grigorieva, I. V. and Firsov, A. A. (2004) Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science* 306(5696): 666-669.

## برندگان

**آندره گایم**  
شهروند هلند، متولد ۱۹۵۸، روسیه، دکتر، ۱۹۸۷ از انستیتوی فیزیک حالت جامد، فرهنگستان علم روسیه، رئیس مرکز موزسانیس و نانوفناوری منچستر، استاد فیزیک دانشگاه منچستر و استاد پژوهشی انجمن سلطنتی بریتانیا.

**کنستانتین نوسلوف**  
شهروند بریتانیا و روسیه، متولد ۱۹۷۴ در نیژنی تاژیل، روسیه، دکتر، ۲۰۰۴ از دانشگاه رادبرد نیزمژن، هلند، استاد و عضو انجمن سلطنتی، دانشگاه منچستر، بریتانیا.



به نام دوست

## محمدعلی پیغامی (۱۳۸۹ - ۱۳۰۹) درگذشت

شادروان محمدعلی پیغامی مؤلف کتاب‌های درسی فیزیک و همکار جناب آقای دکتر ابوالقاسم قلم‌سیاه در ۱۳۸۹/۸/۲۰ درگذشت. مرحوم پیغامی در ۱۳۰۹/۵/۱ در ارومیه به دنیا آمد. تحصیلات ابتدایی و دوره اول دبیرستان را در زادگاه خود گذراند و به دانشسرای مقدماتی تبریز رفت و برای تدریس به مراغه رفت و از آنجا به تبریز منتقل شد. در سال ۱۳۴۸ به اصفهان منتقل شد و طرح سوادآموزی حرفه‌ای به کار پرداخت. آقای پیغامی در سال ۱۳۵۱ به تهران منتقل شد و در دفتر تحقیقات و برنامه‌ریزی درسی به کار خود ادامه داد. در این دفتر بود که به همراهی آقای دکتر قلم‌سیاه به تألیف کتاب‌های فیزیک دبیرستان مشغول شد و جمعاً در نوشتن ۸ جلد کتاب فیزیک همکاری کرد. ایشان همراه دکتر قلم‌سیاه علاوه بر تألیف کتاب‌های درسی فیزیک در آموزش معلمان شرکت فعال داشت. آموزش و پرورش در سال ۱۳۵۸ بازنشسته شد و سرانجام در سال ۱۳۸۹ دعوت حق را لیبیک گفت. او یکی از دبیران و کارشناسان برجسته و از خادمان واقعی روحش شاد و یادش گرامی باد.