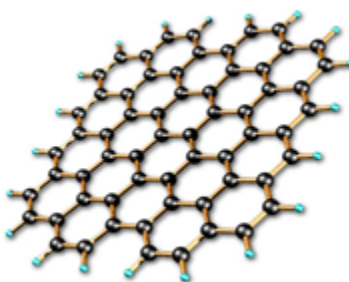


## گرافن، جادوی قرن بیست و یک :

چند سالی است که گرافن به یکی از جالب توجه‌ترین سوژه‌های دنیای فناوری تبدیل شده است؛ ماده‌ای سخت‌تر از الماس، رساناتر از مس و با شفافیتی بالا که می‌تواند به بسیاری از عرصه‌های علم و فناوری نفوذ کند. نمودی از اهمیت گرافن را می‌توان در اختصاص جایزه نوبل فیزیک به دو دانشمندی که مطالعات خود را بر آن متمرکز کرده بودند دانست؛ ماده‌ای که به گفته کنستانتین نووسلوف یکی از دو دانشمند مذکور، به مثابه یک معدن طلا است. حتی قبل از این که پیشگامان تحقیق بر روی گرافن، جایزه نوبل فیزیک را به خود اختصاص دهند، از این ماده به عنوان «حادثه بزرگ بعدی» یاد می‌شد. خیلی‌ها اعتقاد دارند که این ماده پایانی بر سیلیکون خواهد بود. در این مطلب به معرفی گرافن و صفحه مختصات گرافنی می‌پردازیم.



گرافن را «ماده جادویی» قرن ۲۱ می‌نامند. این ماده که گفته می‌شود محکم‌ترین ماده‌ای است که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته، جایگزینی برای سیلیکون است و خواص عجیب آن مانند بیشترین میزان رسانایی الکتریکی در بین مواد شناخته شده، دنیای علم و رسانه‌ها) را تکان داده است. گرافن ماده‌ای منحصر به فرد با پایه‌ی کربنی و دانسیته‌ی اتمی بالاست. ترکیب غیر عادی خواص آن نظیر سختی و استحکام مکانیکی بسیار بالا، رسانایی الکتریکی و حرارتی بالا و قابل تنظیم، خصوصیات عالی نوری و سطحی است و از طریق عامل دار کردن شیمیایی، مورد توجه خاص محققان قرار گرفته است و این حقیقت که شیمی‌دانان به سختی می‌توانند جایگزینی برای گرافن پیدا کنند، سبب شده که این ماده دارای کاربردهای فراوانی در نانو الکترونیک، پیل‌های خورشیدی و ابزارهای ذخیره انرژی مثل باتری‌ها و ابرخازن‌ها باشد.

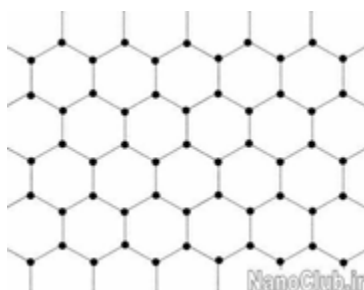
### معرفی گرافن (Graphene):

اما گرافن چیست؟ جدیدترین تعریفی که برای گرافن ارائه شده این است که: گرافن ماده‌ای تخت و تک‌لایه متشکل از اتم‌های کربن است که این اتم‌ها در یک شبکه دوبعدی و کندو مانند به هم متصل شده‌اند و این

ساختاری است که همه مواد گرافنی در ابعاد دیگر نیز از آن تبعیت می‌کنند. این ماده دارای ضخامت یک اتم با ویژگی‌های منحصر به فرد است، که به دلیل ضخامت کم این ماده را به عنوان باریک‌ترین ماده جهان نیز می‌شناسند. در واقع گرافن اصطلاحی هست که به نوارهای بسیار نازکی از تک لایه های گرافیت گفته می‌شود، اگر گرافیت را یک دفترچه از صفحات موازی در نظر بگیریم، به هر ورق آن گرافن گفته می‌شود.

همان طور که می‌دانیم گرافیت یکی از آلوتروپ‌های (اشکال) کربن است. یکی از راه‌های تولید گرافن این است که اینقدر لایه‌های گرافیت را از هم دور کنیم تا به گرافن تبدیل شود. (ورقه ورقه کردن گرافیت)

همان طور که گفتیم صفحات گرافن با کنار هم قرار گرفتن اتم‌های کربن تشکیل می‌شوند. در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن با ۳ اتم کربن دیگر پیوند داده است. این سه پیوند در یک صفحه قرار دارند و زوایای بین آن‌ها با یکدیگر مساوی و برابر با  $120^\circ$  است. در این حالت، اتم‌های کربن در وضعیتی قرار می‌گیرند که شبکه‌ای از شش ضلعی‌های منتظم را ایجاد می‌کنند. البته این ایده‌آل‌ترین حالت یک صفحه‌ی گرافن است. در برخی مواقع، شکل این صفحه به گونه‌ای تغییر می‌کند که در آن پنج‌ضلعی‌ها و هفت‌ضلعی‌هایی نیز ایجاد می‌شود.



ساختار اتمی صفحه گرافن: در این تصویر اتم‌های کربن با نقاط سیاه و پیوندها با نقطه چین نمایش داده شده‌اند.

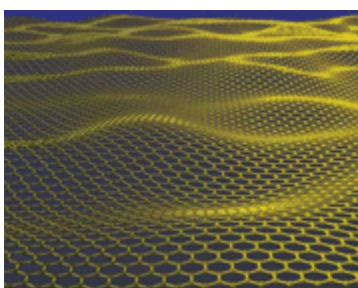
در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن یک پیوند آزاد در خارج از صفحه دارد. این پیوند مکان مناسبی برای قرارگیری برخی گروه‌های عاملی و هم‌چنین اتم‌های هیدروژن است. پیوند بین اتم‌های کربن در اینجا کووالانسی بوده و بسیار محکم است. بنابراین گرافن استحکام بسیار زیادی دارد. گفتیم گرافیت نیز که یک ماده‌ی کربنی پر مصرف و شناخته شده است، از روی هم قرار لایه‌های گرافن و تشکیل یک ساختار منظم تشکیل می‌شود. اما همانطور که می‌دانیم، گرافیت بسیار نرم است.

به نظر شما دلیل این امر چیست؟

آنچه لایه های گرافن را روی یکدیگر نگه می‌دارد، پیوندهای واندروالس بین آنهاست. این پیوند بسیار ضعیف است. بنابراین لایه‌های گرافن به راحتی می‌توانند روی هم بلغزند و به همین دلیل گرافیت (نوک مداد سیاه) نرم است.

گرافن سخت‌ترین و نازک‌ترین ماده‌ای است که بشر تاکنون به آن دست یافته‌است. این ماده با وجود این که ساختار متراکمی دارد، به علت ضخامت بسیار اندکش که برابر با ضخامت یک اتم کربن است، نور را از خود عبور می‌دهد و از شفافیت ۹۷٫۳ درصد برخوردار است

گرافن سخت‌ترین و نازک‌ترین ماده‌ای است که بشر تاکنون به آن دست یافته‌است. این ماده با وجود این که ساختار متراکمی دارد، به علت ضخامت بسیار اندکش که برابر با ضخامت یک اتم کربن است، نور را از خود عبور می‌دهد و از شفافیت ۹۷٫۳ درصد برخوردار است؛ همچنین آسانی تهیه و رسانا بودن این ماده و قابلیت آن در عبور دادن گرما و جریان الکتریسیته آن را به گزینه‌ای جدید برای استفاده در پنل‌های نوری و کامپیوترها تبدیل کرده‌است. شاید به همین دلیل است که از این ماده در ساخت نمایشگرهای لمسی بسیار ظریف و مقاوم استفاده خواهد شد. هم‌اکنون گرافن در حال نفوذ به کاربرد های الکترونیکی می باشد و ممکن است بزودی پایه و اساس تجهیزات الکترونیکی را عوض کند. با استفاده از گرافن، ساخت وسایل برقی کوچک، قابل انعطاف و کم هزینه، ممکن خواهد بود.



در همین راستا، سامسونگ و آی‌بی‌ام از جمله شرکت‌هایی هستند که قصد دارند این ماده نوظهور را به صورت کاربردی مورد استفاده قرار دهند.

جیمز هون، استاد مهندسی مکانیک دانشگاه کلمبیا می‌گوید: "پژوهش‌های ما گرافن را به عنوان مستحکم‌ترین ماده شناخته شده تاکنون ثبت کرده است. گرافن ۲۰۰ برابر قوی‌تر از فولاد است و برای این که یک مداد بتواند یک ورقه نازک گرافن را سوراخ کند، باید وزن یک فیل را به آن اعمال کرد."

کاربردهای متعدد گرافن حتی از خواصش نیز شگفت‌انگیزتر است. گرافن حتی یک ماده هم نیست، بلکه طیف بسیار گسترده‌ای از مواد است. از این حیث می‌توان آن را با پلاستیک مقایسه کرد. می‌توان آن را در هر جایی به کار برد، از مواد کامپوزیت مثل فیبر کربنی گرفته تا صنایع الکترونیک.

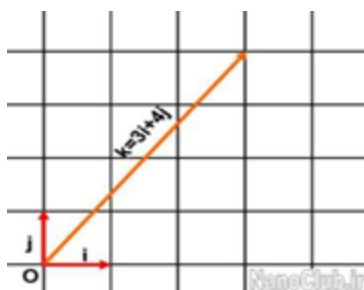
از آن‌جا که خواص گرافن هنوز ناشناخته است، هر روز دانشمندان بیشتری به کار بر روی پروژه‌های آن علاقمند می‌شوند. اکنون حدود ۲۰۰ شرکت به پژوهش بر روی گرافن مشغولند و فقط در سال ۲۰۱۰ تقریباً ۳۰۰۰ مقاله در مورد آن منتشر شده است.

فواید آن برای شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان هم کاملاً روشن است: ابزارهای سریع‌تر و ارزان‌تر که باریک‌تر و انعطاف‌پذیرترند. به این فکر کنید که گوشی هوشمند خود را لوله کنید و مانند مداد نجاران، پشت گوش بگذارید!

اگر گرافن را با کاربردهای امروزی پلاستیک مقایسه کنیم، باید به انتظار روزی باشیم که همه چیز، از پاکت میوه گرفته تا لباس‌ها، دیجیتال شوند. کارت‌های ارتباطی آینده، توان پردازشی به اندازه موبایل‌های هوشمند امروزی خواهند داشت. گرافن می‌تواند کاربردهای کاملاً جدیدی در ابزارهای الکترونیکی شفاف، انعطاف‌پذیر و بسیار سریع‌تر از امروز پیدا کند. یک مثال از استفاده‌های دیگر آن می‌تواند افزودن پودر گرافن به تایرها برای قوی‌تر کردن آنها باشد.

## صفحه‌ی مختصات گرافنی :

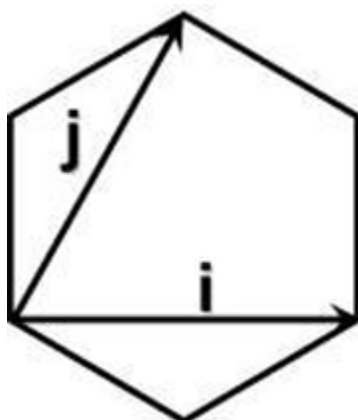
صفحه‌ی مختصات کارت‌زین یا دکارتی معروف را می‌شناسید. این صفحه، شبکه‌ای است که از مربع‌هایی با طول و عرض واحد تشکیل شده است. در این صفحه دو بردار یکه‌ی  $i$  و  $j$  هر یک به طول یک واحد وجود دارد که توسط آن‌ها می‌توان از نقطه‌ی مبدا به هر نقطه‌ی دیگری مثل  $(n, m)$  و  $(m, n)$  این کار با تعریف یک بردار به شکل  $k = mi + nj$  امکان پذیر می‌گردد .



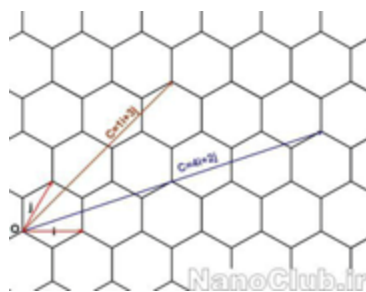
صفحه‌ی مختصات دکارتی؛ بردارهای یکه‌ی  $i$  و  $j$  هم اندازه و بر یکدیگر عمود هستند

دستگاه مختصات کارتزین، یک دستگاه دو بعدی است که در آن دو بردار یکه‌ی یاد شده، هم اندازه بوده و بر یکدیگر عمود هستند. اما باید توجه داشت که تمام دستگاه‌های مختصات به این شکل نیستند. بلکه می‌توان دستگاه‌هایی را تعریف کرد که در آن اندازه‌ی بردارهای یکه نابر و زاویه‌ی بین آن دو مقدار دیگری باشد مانند صفحه‌ی مختصات گرافنی. صفحه‌ی مختصات گرافنی یک صفحه‌ی دو بعدی متشکل از شش ضلعی‌های منتظم می‌باشد. این صفحه یادآور شکل منظم کندوی زنبورهای عسل است.

در این صفحه‌ی مختصات دو بعدی، دو بردار یکه‌ی هم اندازه‌ی  $i$  و  $j$  را به طوری که در تصویر نشان داده شده است، تعریف می‌کنیم. زاویه‌ی بین این دو بردار برابر با  $60^\circ$  است. برای حرکت روی این صفحه می‌توانیم بردار  $C=mi+nj$  را تعریف نماییم. این بردار را بردار کایرال می‌نامیم. به عنوان نمونه ما چند بردار دلخواه را با شروع از یک نقطه، به عنوان مبدا، در تصویر ۴ رسم کرده‌ایم.

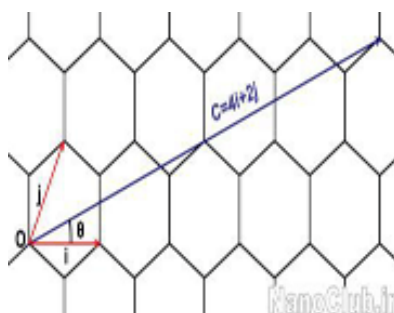


بردارهای یکه‌ی  $i$  و  $j$  در صفحه‌ی مختصات گرافنی

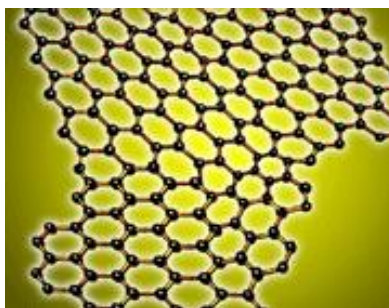


بردارهای کایرال  $C=4i+2j$  و  $C=4i+3j$  در صفحه‌ی مختصات گرافنی

همچنین می‌توانیم زاویه‌ی بین بردار کایرال و محور متناظر با بردار یک‌ه‌ی  $i$  را به عنوان زاویه کایرال که مشخصه‌ی راستای بردار کایرال است در نظر بگیریم. این زاویه در تصویر ۵ نشان داده شده است. همانطور که در آینده خواهیم دید، این زاویه یکی از مشخصه‌های نانولوله‌های کربنی می‌باشد.



زاویه‌ی کایرال بین بردار  $C=4i+3j$  و محور مربوط به بردار یک‌ه‌ی  $i$



## کاربردهای بالقوه آن را به طور خلاصه می‌توان چنین عنوان کرد:

✓ ساخت ترانزیستورهای بسیار کوچک و بسیار سریع با استفاده از گرافن

گروه تحقیقاتی دانشگاه منچستر یک ترانزیستور گرافنی یک نانومتری ساخت که ضخامت آن یک اتم و قطرش برابر ده اتم بود. عده ای پیش بینی کرده بودند که ترانزیستورهای مذکور که از مشتقات گرافن بودند روزی جای سیلیکون را به عنوان پایه ی محاسبات آینده بگیرد.

به مدت چهل سال، یک قانون کلی به نام قانون مور بر محاسبات حکمفرما بوده است. این قانون پیش بینی می کند که تقریباً هر دو سال، تعداد ترانزیستورهای مورد استفاده روی تراشه ها دو برابر خواهد شد. با این وجود، سیلیکون که تا به حال پا به پای قانون مور آمده است، در ابعاد زیر ده نانومتر ساختارهای پایداری ندارد. جدیدترین تراشه های امروز تنها چهل و پنج نانومتر ابعاد دارند. بنابراین وجود جایگزینی برای سیلیکون احساس می شود.

گرافن ها از خواص رسانشی فوق العادهای برخوردارن و به همین دلیل نامزد نسل آینده ی ترانزیستورهای سرعت بالا هستند

شرکت‌هایی مانند آی‌بی‌ام و نوکیا هم به آینده گرافن امید بسته‌اند. آی‌بی‌ام یک ترانزیستور ۱۵۰ گیگاهرتزی تولید کرده است؛ در حالی که سریع‌ترین ترانزیستور سیلیکونی قابل قیاس با این ترانزیستور، در فرکانس ۴۰ گیگاهرتز کار می‌کند.

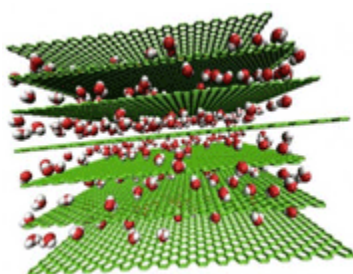
به گفته دکتر یو مینگ لین از آی‌بی‌ام، "در مورد سرعت ترانزیستورها، در حال حاضر هیچ مرزی برای حد نهایی سرعت آنها وجود ندارد. هرچند به مشکلاتی برخوردیم که باید برطرف شوند، ولی فکر نمی‌کنم که مشکلی با خواص گرافن داشته باشیم"

✓ ذخیره بسیار متراکم داده‌ها



گروهی از پژوهشگران دانشگاه Rise یک نمونه حافظه شبیه حافظه‌های فلش کنونی ساختند که مبتنی بر گرافن طراحی شده بود و علاوه بر این که از چگالی و تراکم بیشتری برخوردار بود، اتلاف حافظه کمتری داشت. ذخیره انرژی

کاربرد گرافن در بخش انرژی نیز قابل توجه است. تلاش‌ها برای استفاده از این ماده جهت ساخت خازن‌های پر قدرت با قابلیت ذخیره و انتقال جریان الکتریسیته آغاز شده است. هم‌اکنون نیز بعضی از شرکت‌هایی که در ساخت محصولات الکترونیکی ویژه از نانولوله‌های کربنی استفاده می‌کنند، در حال روی آوردن به گرافن هستند. نمونه‌ای از این محصولات الکترونیکی ویژه، لباس‌هایی هستند که می‌توان آن‌ها را پوشید و در صورت نیاز تجهیزات الکتریکی را با آن‌ها شارژ کرد. همچنین از ترکیب گرافن و آب برای ذخیره انرژی استفاده می‌کنند. آب، سبب خیس نگهداشتن گرافن (به شکل ژل) می‌شود و یک نیروی دافعه میان ورقه‌های منفرد ایجاد کرده و با جلوگیری از اتصال دوباره این ورقه‌ها به یکدیگر، امکان استفاده از این ماده را در کاربردهای واقعی ایجاد می‌کند. کارایی ژل گرافنی در ابزارهای ذخیره انرژی هم از نظر میزان بار قابل ذخیره‌سازی و هم از نظر زمان رهایش این بار بسیار بهتر از فناوری دیگر مبتنی بر کربن بود.



دکتر دان لی، استاد دانشکده مهندسی مواد دانشگاه موناخ به همراه همکارانش روی گرافن کار کرده‌اند؛ این ماده می‌تواند مبنایی برای تولید نسل بعدی سامانه‌های بسیار سریع ذخیره انرژی باشد. وی می‌گوید: «اگر بتوانیم این ماده را به درستی دستکاری کنیم، به‌طور مثال آیفون شما می‌تواند در عرض چند ثانیه و یا حتی کمتر شارژ شود.»

✓ تجهیزات نوری، سلول‌های خورشیدی و نمایشگرهای لمسی انعطاف‌پذیر



گروهی از پژوهشگران دانشگاه کمبریج اظهار داشتند مزیت اصلی گرافن در این است که می‌تواند نور و الکتریسیته را از خود عبور دهد. این ویژگی‌ها در کنار مزایایی مانند استحکام و انعطاف‌پذیری باعث می‌شود تا استفاده از آن به افزایش بازده سلول‌های خورشیدی و لامپ‌های LED بیانجامد، مضاف بر این‌که در ساخت تجهیزات نسل جدید از جمله نمایشگرهای لمسی، نوریاب‌ها و لیزرهای فوق سریع نیز سودمند خواهد بود.

