

ساختارهای جدید - کربن

عزیزاله شفیع‌خانی

کربن که ۶ الکترون دارد در گروه چهارم جدول مندلیف است. برای ۴ الکترون ظرفیت کربن سه امکان آرایش هست: یا چهار پیوند با زاویه تقریباً 109.5° ، یا سه پیوند با زاویه 120° ، یا دو پیوند با زاویه 180° درجه.

تا اواخر قرن بیستم، از کربن دو ساختار بلورین پایدار شناخته شده بود: الماس و گرافیت. الماس سخت‌ترین ماده‌ی طبیعی روی زمین است. در الماس، هر اتم کربن به چهار اتم دیگر متصل است، به این نحو که هر اتم در مرکز یک چهاروجهی منتظم است و در هر رأس این چهاروجهی منتظم یک کربن نشسته. گرافیت ماده‌ای است نرم و سیاه. در گرافیت اتم‌های کربن در صفحه‌های موازی به گونه‌ای مرتب شده‌اند که در هر صفحه، هر اتم کربن به سه اتم دیگر متصل است، به نحوی که در هر صفحه یک شبکه‌ی شش‌ضلعی تشکیل می‌شود. این صفحه‌های دو بُعدی را، یک نیروی ضعیف واندروالس، به هم متصل کرده است. گرافیت در راستای این صفحه‌های دو بُعدی رسانای الکتریسیته است. در گرافیت، اتم‌ها در صفحه‌های شش‌ضلعی‌ها به یک‌دیگر نزدیک‌تر از کربن‌های الماس اند، ولی چون صفحه‌ها از هم دورترند، تراکم اتمی آن کم‌تر از الماس است.

در سال ۱۹۷۰، پژوهشگری ژاپنی به نام اوزاوا^(۱) استدلال کرد که 6° اتم کربن می‌توانند در ساختاری مثل توپ فوتبال به هم پیوندند، و معتقد بود که کربن در چنین ساختار مصنوعی‌ای پایدار است. در سال ۱۹۸۵ هنگامی که پژوهشگران طیف جذبی غبار بین سیاره‌ای را مطالعه می‌کردند، متوجه وجود نوعی زنجیره‌ی طویل از مولکول‌های کربن شدند. پژوهش آن‌ها منجر به مشاهده و کشف یک توپ - توخالی از 6° کربن شد. کرل^(۲)، کروتو^(۳)، و اسمالی^(۴) به خاطر این کشف در ۱۹۹۶ جایزه‌ی نوبل - شیمی را گرفتند. C_{60} مولکولی است از 6° اتم کربن که آرایشی از ۱۲ پنج‌ضلعی و ۲۰ شش‌ضلعی دارد - درست مثل یک توپ - فوتبال که تکه‌های سیاه پنج‌ضلعی و تکه‌های سفید شش‌ضلعی اند. هر کربن در محل تلاقی 6° سه تکه‌ی مختلف نشسته است. مقیاسی از اندازه‌ی مولکول C_{60} را می‌توان این‌گونه تجسم کرد که اگر C_{60} به اندازه‌ی یک توپ - فوتبال باشد، در آن صورت توپ - فوتبال به اندازه‌ی کره‌ی زمین خواهد بود (با یک یا دو مرتبه‌ی بزرگی اختلاف).

از خصوصیات بارز مولکول C_{60} ، تقارن بسیار بالای آن است: 12° عمل تقارنی از قبیل دوران حول یک محور و انعکاس نسبت به یک صفحه را می‌توان نام برد. C_{60} متقارن‌ترین مولکول - شناخته شده است.

می‌توان کره را با ۱۲ تا پنج ضلعی و تعدادی شش ضلعی پوشاند.¹ یک مثال دوازده وجهی منتظم است که متشکل از ۱۲ تا پنج ضلعی است. مثال دیگر توپ فوتبال است که متشکل از ۱۲ تا پنج ضلعی و ۲۰ تا شش ضلعی است. اگر در هر رأس چنین آرایش‌هایی یک اتم کربن بنشینند، مولکول‌هایی به وجود می‌آید که آن‌ها را فولیرن⁶ یا بوکی‌بال⁷ (یا توپ بوکی) می‌نامند. این هر دو نام از نام معمار آمریکایی، ریچارد بوک می‌نستر فولیر⁸ می‌آید. فولیر در دهه ۱۹۵۰ از پنج وجهی‌ها برای ساخت گنبد‌های ساختمان‌ها استفاده می‌کرد.

کشف C₆₀ سرآغاز شاخه‌های پژوهشی جدیدی شد: مطالعه‌ی فولیرن‌ها (C₂₄, C₂₈, C₃₂, C₆₀, C₇₀, و ...). تاکنون بیش از ۹۰۰۰ ترکیب جدید فولیرن شناسایی شده است. مولکول‌های C₆₀ می‌توانند با پیوندهایی ضعیف به هم پیوندند تا جامدی از کربن شکل گیرد. این شکل بلورین، حالت جدیدی از کربن جامد است که با الماس و گرافیت فرق دارد و به آن فولیریت⁹ می‌گویند. اگر اتم‌های قلبیایی خاصی را به C₆₀ جامد اضافه کنیم، ترکیب‌های جدیدی به شکل A₃C₆₀ (که در آن A نشان‌دهنده‌ی اتم قلبیایی است) ساخته می‌شود. اگر A پتاسیم یا روبیدیم باشد، این ماده، با $T_c \sim 20 - 40 \text{ K}$ ابررسانا است.

در سال ۱۹۹۱ یک جلوه‌ی دیگری از کربن، موسوم به لوله‌های نانومتری توسط سومی‌نو لی‌جی‌ما¹⁰ کشف شد: نانولوله‌ی کربن. این ساختار جدید از کربن در واقع یکی از صفحه‌های گرافیت است (صفحه‌های شامل شش ضلعی‌ها) که وجه جانبی استوانه‌ای به قطر ۱ nm را پوشانده است. نانولوله‌ها در امتداد محورشان رسانا اند.

اخیراً نیز نانولوله‌هایی از نانولوله‌ها به شعاع ۰.۷ μm ساخته شده است که هادی‌های یک‌بُعدی هستند.

این مواد جای‌گاه ویژه‌ای در تکنولوژی آینده خواهند داشت، زیرا خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی منحصر به فردی دارند. مثلاً بعضی سخت‌تر از فولاد اند؛ بعضی مقاومت کمی دارند؛ و بعضی هدایت حرارتی زیادی دارند.

نام‌های خاص و یادداشت‌ها

1) E. Osawa, 2) Robert Curl, 3) H. Kroto, 4) Richard. E. Smalley, 5) Leonhard Euler, 6) Fulleren, 7) Buckyball, 8) Richard Buckminster Fuller, 9) Fullerite, 10) Sumino Lijima,

یک مرجع خوب برای مطالعه‌ی خواص C₆₀

H. O. Pierson, "Handbook of Carbon, Graphit, Diamond and Fullerenes", Noyes Publication, 1993.

¹ اثبات این مطلب با استفاده از قضیه‌ای است که اویلر⁵ ثابت کرده؛ قضیه‌ای که می‌گوید اگر کره را با تعدادی چندضلعی پوشانید، همواره $V - E + F = 2$ است. در این جا V تعداد رأس‌ها، E تعداد یال‌ها، و F تعداد وجه‌ها است.