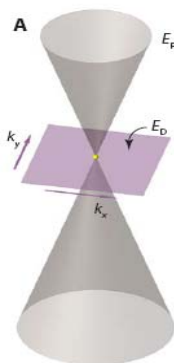


کربن یکی از مهم‌ترین و جالب‌ترین عناصر جدول تناوبی است که به اشکال مختلفی یافت می‌شود. گرافین (کربن دو بعدی) لایه‌ای از گرافیت به ضخامت یک اتم است که اتم‌های کربن روی شبکه‌ای لانه‌زنبوری شکل (شش ضلعی منتظم) قرار گرفته‌اند. چنین لایه دو بعدی نه تنها پیوسته است بلکه یک کریستال با کیفیت بالا است، به طوری که حامل‌های بار می‌توانند بدون پراکندگی مسافت حدود هزار برابر فاصله‌ی بین اتمی را بپیمایند. به عبارتی تحریک پذیری حامل‌ها بالاست. چنین ساختار کریستالی دو بعدی با حذف ملایم بعد سوم به دست آمده است و شدیداً پایدار است. پس از ساخته شدن گرافین در آزمایشگاه در سال ۲۰۰۴ به‌خاطر رفتار شگفت‌آور و غیر معمول این سیستم دو بعدی و کاربردهای عملی بلقوه‌ی این ماده، تحقیقات گسترده‌ای بر روی این ماده صورت گرفته است. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد در گرافین، طبیعت خاص حامل‌های بار در آن است. در فیزیک ماده چگال، عموماً به کارگیری معادله شرودینگر در توصیف خواص الکترونی مواد موفق است. گرافین یک استثنا است. حامل‌های بار آن از معادلات ذرات نسبیتی بدون جرم تبعیت می‌کنند. هر چند که هیچ مشخصه نسبیتی برای الکترون و حرکت آن در حوالی اتم کربن وجود ندارد. چنین شبه ذراتی را فرمیون‌های دیراک بدون جرم می‌نامیم که الکترون‌هایی هستند که جرم سکون خود را از دست داده‌اند، پس معادله‌ی حاکم بر گرافین همانند معادله‌ی نوترینوی باردار است. به‌خاطر رابطه‌ی پاشندگی خطی در گرافین سرعت فرمی الکترون‌های کم انرژی از انرژی آن مستقل است. در نتیجه گرافین نیمه فلزی بدون گاف انرژی است که ساختار نواری آن در منطقه‌ی بریلوین مخروطی شکل است و نوار رسانش و نوار ظرفیت آن فقط در یک نقطه به نام نقطه دیراک هم‌دیگر را قطع می‌کنند. در سال‌های اخیر با کشف گرافین و نتایج حاصل از کارهای تجربی و نظری فراوانی که برای بررسی ویژگی‌های الکترونیکی جالب این ماده‌ی جدید صورت گرفته به نظر می‌رسد که گرافین به‌خاطر قابلیت آن در ساخته شدن در ابعاد بسیار کوچک (کوچک‌تر از ۱۰ نانومتر) و بسیاری ویژگی‌های مناسب الکتریکی و عمل‌کرد با سرعت بالاتر نسبت به سیلیکون نامزد مناسبی برای جایگزینی سیلیکون و حرکت به سمت نانو الکترونیک مدرن است. الکترون‌ها در آن رفتار تراپردی شبه-پرتابی از خود نشان داده و با مقاومت کمی که در برابر خود می‌بینند گرمای اندکی تولید می‌کنند، از طرفی آزمایش‌های اخیر نشان از رسانندگی گرمایی بالای گرافین می‌دهد به گونه‌ای که با دارا بودن رسانندگی گرمایی در دمای اتاق تا مرتبه‌ی $5.3 \times 10^3 W/mK$ ، دارای رسانندگی گرمایی بالاتری نسبت به نانو لوله‌های کربنی است. هم‌چنین آزمایش‌های اخیر خبر از تحرک‌پذیری بالای الکترون‌ها در گرافین از مرتبه‌ی حدود $10^5 cm^2/Vs$ حتی در دمای اتاق می‌دهد، که در مقایسه با بالاترین تحرک‌پذیری ثبت شده در $H-Si(111) FET$ که حدود $8 \times 10^3 cm^2/Vs$ در دمای $4.2K$ است و بالاترین تحرک‌پذیری به‌دست آمده در $Si-SiO_2(100) MOSFET$ که در دمای کم حدود $25 \times 10^3 cm^2/Vs$ است، بسیار بزرگ‌تر است.

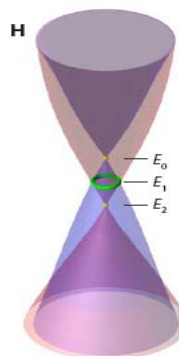
این ویژگی‌های مطلوب ذکر شده در گرافین و هم‌چنین قابلیت کنترل نوع و چگالی حامل‌های بار در گرافین به‌وسیله ولتاژ گیت یا تزریق شیمیایی، آن را مناسب برای ساخت قطعات نانو الکترونیک مدرن ساخته است.

در کار تحقیقات اخیر ما که در جلد ۳۲۸، صفحه ۹۹۹ در مجله ساینس به چاپ رسیده است ما با اندازه گیری تابع طیفی حامل های بار در لایه گرافین تقریباً معلق، توسط طیف سنجی گسیل فوتونی با تفکیک زاویه ای (ARPES) و محاسبه نظری تابع بس ذره ای خود-انرژی حاصل از برهم کنش های بس ذره ای الکترون-الکترون و الکترون-فونون، نشان داده ایم، در گرافین آلاینده، طیف خطی متصور برای توصیف کامل حامل های برانگیخته بار کافی نیست. وجود شبه ذرات پلاسمارون که ذرات باردار مقید شده به مد دسته جمعی نوسانی الکترون ها هستند و از محاسبات ما پیش بینی شده بود به طور تجربی تاکید شد. در نهایت چه از نظر تجربی و چه از نظر نظری نشان داده ایم که تک نقطه دیراک متعارف در فضای فاز به نقطه تلاقی دیراک برای باند انرژی ذرات باردار، به نقطه تلاقی باند انرژی شبه ذرات پلاسمارون و همچنین حلقه بسته ای که بین باندهای باری و پلاسمارون تشکیل می شود، تفکیک می گردد. نتایج به دست آمده نشان داد که اولاً تصور قبلی ما از گرافین کامل نبود و حال شناخت درست تری از ماهیت اصلی الکترون ها در گرافین داریم و دوم اینکه دریچه جدیدی از کاربرد های بیشتر گرافین به روی دانشمندان گشوده شد. به طور مثال گرافین با چنین خصوصیات جدید را می توان در صنعت فوتونیک برای ساخت لیزرهای با فرکانس تراهرتز به کار گرفت. توجه کنید که این فرکانس بسیار بالاتری از فرکانس های ساختارهای الکترونی موجود در کامپیوترهای امروزی است که حداکثر فرکانس چند گیگا هرتز دارند. در حقیقت با به کار گیری شبه ذرات پلاسمارونی می توان ادوات بسیار ریزی ساخت که از ویژگی های الکترونی و فوتونی به طور همزمان پیروی می کند و بدون شک این مهم، تحول عظیمی در صنعت، ارتباطات راه دور، کامپیوترهای نسل آینده که بر مبنای محاسبات کوانتومی کار می کنند و صنعت الکترونیک-فوتونیک خواهد داشت.

A: Non-interacting, single-particle picture



H: Interacting, many-body picture



- 1) "Observation of Plasmarons in Quasi-Free-Standing Doped Graphene" A. Bostwick, F. Speck, T. Seyller, K. Horn, M. Polini, Reza Asgari, A. H. MacDonald and Eli Rotenberg, Science **328**, 999 (2010).