

ARTÍCULO

EL GRAFENO. UNA AVENTURA ESPACIAL, hecha a base de preguntas

EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA PARA 2010

Máximo Barón (FCEN-UB)

Para el tema corresponde hablar de estos señores:



Andre Geim

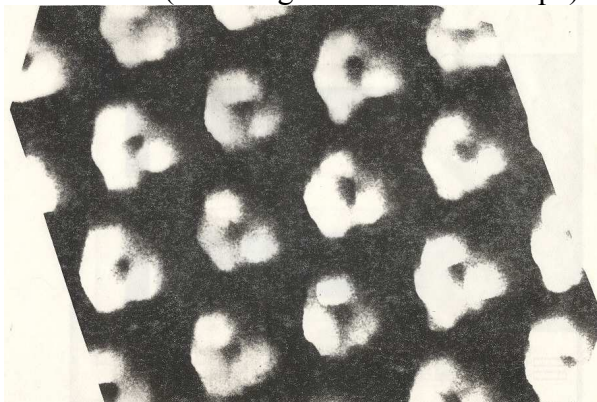
Oleg Novoselov

Ambos fueron galardonados con el Premio Nobel de Física para 2010 “por sus trabajos pioneros en el desarrollo del grafeno, un material bidimensional cuyas láminas solo tienen el espesor de un átomo de carbono”. Según lo que dijo la Real Academia de Ciencias de Suecia.

PERO, aquí cabe preguntarse: ¿QUE COSA ES EL GRAFENO?

ASÍ LLAMARON SUS DESCUBRIDORES A LA DELGADA CAPA DE ÁTOMOS DE CARBONO DENSAMENTE EMPAQUETADA EN UNA ESTRUCTURA SEMEJANTE A LA DEL BENZENO

Es posible que al hacerlo tuvieron in mente la imagen del benceno obtenida con el microscopio electrónico de barrido (Scanning Electron Microscope)



Pero aquí surge otra pregunta: ¿es posible la existencia de átomos en un espacio de dos dimensiones?

Hoy es lo más natural, y en tres dimensiones también. Pero no siempre fue así. Y la historia empieza en 1872 con J. H. van't Hoff. Que, dicho sea de paso fue el primer Premio Nobel de Química en 1901.

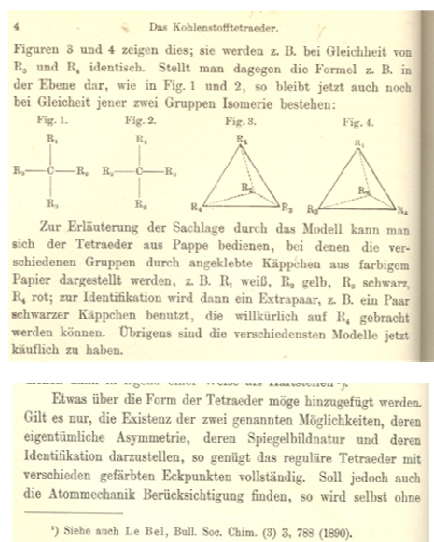


1852-1911

van't Hoff era un joven químico holandés que, intrigado por la forma en la que se representaban las estructuras de los compuestos químicos, tuvo la “peregrina” idea de sacar las fórmulas del plano. Como se las representaba hasta la década de los años 70 del siglo XIX.

Esta es la página pertinente de su trabajo en la que se ve, con toda claridad, como veía el pasaje de las formulas planas a las espaciales, particularmente en el caso del carbon para el que propuso la ya clásica distribución tetrahédrica de sus cuatro valencias.

LA PROPUESTA DE van't HOFF



Apareció en un folleto en 1872 con el nombre de “La Chimie dans L’Espace”

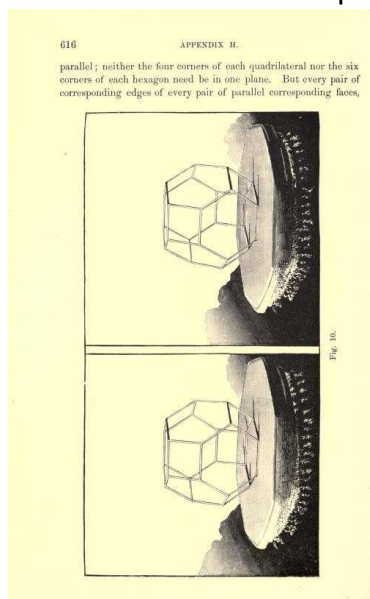
Pero la propuesta enfureció a Adolph Wilhelm Hermann Kolbe (1818-1882)



Que no vaciló en emitir una opinión contundente y hasta diría feroz

Un tal Dr. H. van 't Hoff, de la Escuela Veterinaria de Utrecht, no tiene, aparentemente, ningún interés por la investigación química rigurosa. Le ha parecido más cómodo montarse en Pegaso (tomado prestado, al parecer, de la Escuela Veterinaria) y proclamar en su “La chimie dans l'espace” cómo le parece que los átomos se disponen en el espacio cuando está subido al Monte Parnaso, que ha alcanzado mediante un atrevido vuelo.

Hoy sabemos que van't Hoff tenía razón, pero ya lo había visto hasta Lord Kelvin que, en su Robert Boyle Lecture en Oxford el 16 de mayo de 1893, imaginó posibles estructuras cristalinas de lo mas curiosas. Vale recordar sus propias palabras al respecto.

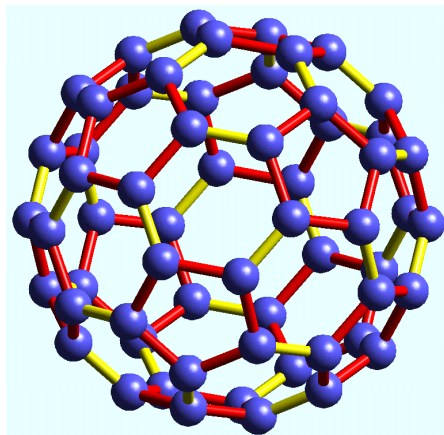


APPENDIX H ON THE MOLECULAR TACTICS OF A CRYSTAL

My subject this evening is not the physical properties of the crystals, not even their dynamics, it is merely the geometry of the structure – the arrangement of the molecules in the constitution of the crystal.

Este es un muy curiosos anticipo de lo que habría de venir más de medio siglo más tarde

LA MOLÉCULA DE BUCKMINSTERFULLERENO

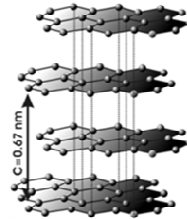
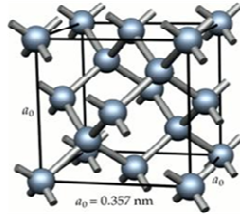
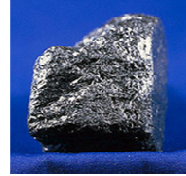


Harold Kroto, Robert Curl y Richard Smalley- Premio Nobel de Química para 1992

El célebre buckminsterfullerene o buckyball con las uniones simples en rojo y las dobles en amarillo

¿Y para qué sirvió esta visión?

Entre otras cosas para entender como se distribuían los átomos en materiales como



DIAMANTE

GRAFITO

Del diamante ya sabemos bastante, sin embargo del grafito muy poco salvo que sirve para hacer minas de lápiz y electrodos, pero tiene otras propiedades que apenas se empezaron a sospechar en la década de los años 40

En efecto, P. R. Wallace. En su trabajo *En The Band Theory of Graphite. Phys. Rev. 71, 622 (1947)*, mediante cálculos teóricos, predijo la existencia de la banda de conducción del grafito. Poco más tarde J. W. McClure, en el trabajo en *Band Structure of Graphite and de Haas-van Alphen Effect, Phys. Rev. 108, 612-618 (1957)* analizó la estructura de bandas del grafito aplicando la fórmula de susceptibilidad para bandas en general de Lifschitz y Kosevich.

Pero no hubo más novedades hasta 2004 cuando apareció el trabajo que este año fue galardonado con el Premio Nobel.

Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films

K. S. Novoselov, A. K. Geim¹, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva and A. A. Firsov *Science* 22 October 2004; Vol. 306 no. 5696 pp. 666-669

Department of Physics, University of Manchester, Manchester M13 9PL, UK. Institute for Microelectronics Technology, 142432 Chernogolovka, Russia. **Cuyo Abstract, breve y hasta contundente vale la pena de ser reproducido:**

We describe **monocrystalline graphitic films**, which are a few atoms thick but are nonetheless **stable under ambient conditions**, metallic, and of remarkably high quality. The films are found to be a two-dimensional semimetal with a tiny overlap **between valence and conductance bands**, and they exhibit a strong ambipolar electric field effect such that electrons and holes in concentrations up to 10^{13} per square centimeter and with room-temperature mobilities of $\sim 10,000$ square centimeters per volt-second can be induced by applying gate voltage.

Lo má interesante de este trabajo, sin embargo, es lo que dijeron sus descubridores:

Para ellos parece haber sido producto del azar y lo caracterizaron, medio en broma medio en serio, como "un proyecto para un viernes por la tarde". Indicando

tal vez que se trataba de uno de esos tantos estudios que son más frutos de la curiosidad que de un razonamiento sistemático.

Sin embargo su comunicación en Science trató el problema muy en serio, sobre todo por su trascendencia en el futuro de la electrónica. Naturalmente dieron los motivos

MOTIVOS

1. PELÍCULAS TAN DELGADAS DEBERÍAN SER TERMODINÁMICAMENTE INESTABLES

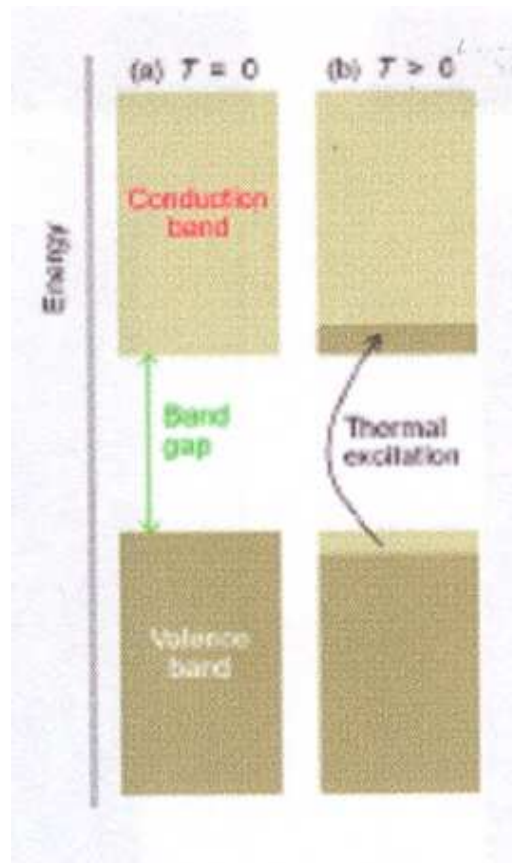
2. SU CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN ELÉCTRICA A TEMPERATURA AMBIENTE DEBERÍA SER NULA

3. NO SE CREÍA POSIBLE UNA ESTRUCTURA PLANA DENSAMENTE EMPAQUETADA.

SIN EMBARGO

En el grafeno la separación entre la banda de conducción y la banda de valencia de los electrones es mucho más chica que en los semiconductores habituales. especialmente de silicio. por ello resultaría la solución para lograr componentes electrónicos de tamaño mucho menor, con lo que de alguna manera se superaría la barrera del silicio. Material utilizado hasta entonces en los componentes electrónicos.

GRÁFICAMENTE SE VERÍA ASÍ



PHYSICAL CHEMISTRY Peter Atkins. 6ª. Ed. Pag. 421 Oxford University Press – 1998

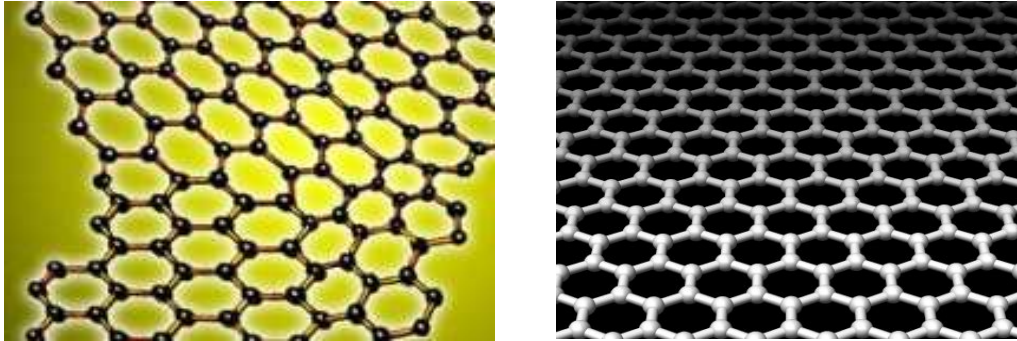
¿PERO, CÓMO SE ESTUDIARON LAS PELÍCULAS DE GRAFENO?

MUY SIMPLE, CON EL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA (ATOMIC FORCE MICROSCOPE)

Es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nanonewton. Al analizar una muestra, se registra continuamente la altura sobre la superficie de una sonda o punta cristalina de forma piramidal.

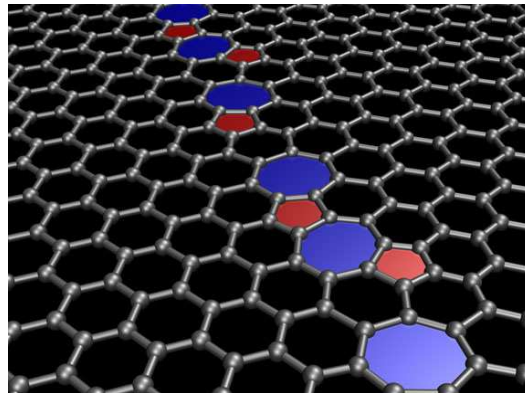
Permite analizar todas las características de una superficie y su resolución es de menos de 1 nm.

ASÍ SE OBTUVIERON DOS IMÁGENES TÍPICAS



PERO LA MÁS ESPECTACULAR

Es la imagen del grafeno que se puede presentar aquí se presenta por cortesía de Oleg V. Yazyev y Steven G. Louie (UC Berkeley y LBNL).



FINALMENTE LA ÚLTIMA PREGUNTA

SENCILLAMENTE: ¿PARA QUÉ SIRVE TODO ESTO, además de haberle valido el Premio Nobel a los físicos Novoselov y Geim?.

Desde ya que abre las puertas para toda una nueva serie de componentes electrónicos, por cuanto en grafeno no tiene las limitaciones de los materiales como el silicio en cuanto a la accesibilidad de la capa de conducción.

Pero además ya se han hecho ensayos muy promisorios de pantallas planas base de grafeno sensibles al tacto. Esencialmente se trata de una monocapa de grafeno sobre una lámina de cobre y ésta a su vez adherida a una lámina de polímero que actúa como soporte y luego el conjunto sobre un substrato final que es el que recibe los impulsos eléctricos que lo hace actuar como pantalla. Es un desarrollo muy reciente y se lo puede ver en: J. H. Ahn y coll. Nature nanotechnology, 2010. DOI: 10.1038/nnano.2010.132.

La presentación de 34 minutos de Andre Geim sobre el Premio Nobel se puede ver en la siguiente dirección:

<http://130.242.18.21/mediaplayer/index.php?id=1418>