

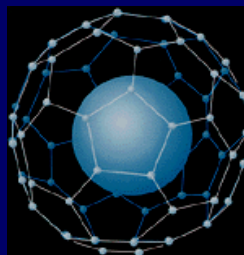
Escola Secundária Rainha D. Leonor, Lisboa, 26/10/2011



A descoberta do C_{60} e de outros Fulerenos

Arte, Geometria e Química

Fernando Fernandes, CCMM, DQBFCUL



Vou contar-vos uma história que atravessa a nossa Galáxia da Via Láctea, envolve cúpulas geodésicas de arquitectos visionários, Euler, tartarugas, outros seres e “bolas de futebol” a que os químicos chamam *fulerenos*.

Os protagonistas principais são químicos, físicos e artistas, persistentes e sonhadores, quais crianças que brincam com bolas coloridas entre as mãos, e... “o Mundo pula e avança...”

Era uma vez...

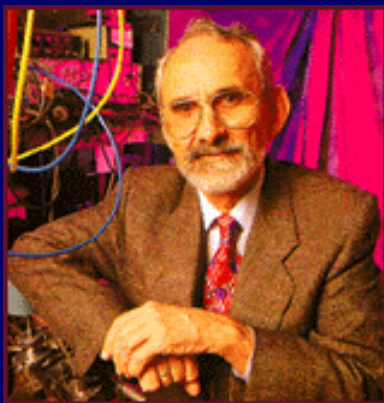
Os Laureados Nobel da Química em 1996

Robert F. Curl Jr, Rice University, USA

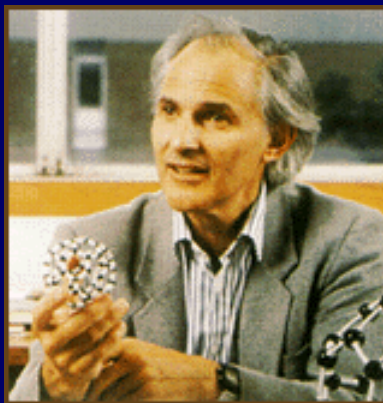
Harold W. Kroto, Sussex University, UK

Richard E. Smalley, Rice University, USA

pela descoberta do C_{60}



R. Curl

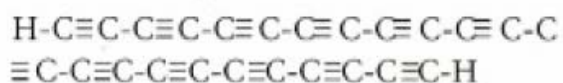


H. Kroto

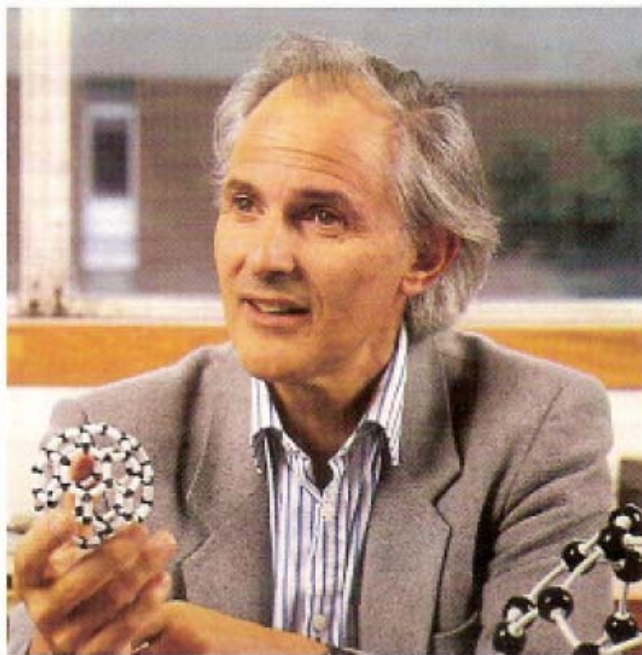


R. Smalley

Na década de 70, a síntese de moléculas novas, contendo carbono, era o objectivo principal do meu grupo na Universidade de Sussex. Um tipo de moléculas que investigávamos era constituído por longas cadeias de átomos de carbono. O meu colega de Sussex, David Walton, e os seus estudantes conseguiram conceber métodos elegantes para sintetizar poliinos, como a seguinte espécie com 24 átomos de carbono



Na minha mente, eles fizeram surgir, como que por magia, a imagem de um microscópico regente de banda de música que atirava, a grande altura, um bastão de bambu, muito flexível, e que tentava apanhá-lo, quando descia, torcendo-se e rodando ao mesmo tempo. Este comportamento podia ser estudado por espectroscopia de micro-ondas e o primeiro composto que escolhemos para análise



(Fig.1), possuíam profundos segredos há muito ocultos. Abriu-se como que uma boceta de Pandora, revelando que essas nuvens estavam repletas de moléculas. Subitamente os astrónomos aperceberam-se do papel crucial de moléculas nos processos recônditos envolvidos no nascimento de estrelas e planetas. Assim, o espaço deixou de ser um domínio reservado aos astrónomos e passou, então, a apresentar-se aos químicos como uma nova

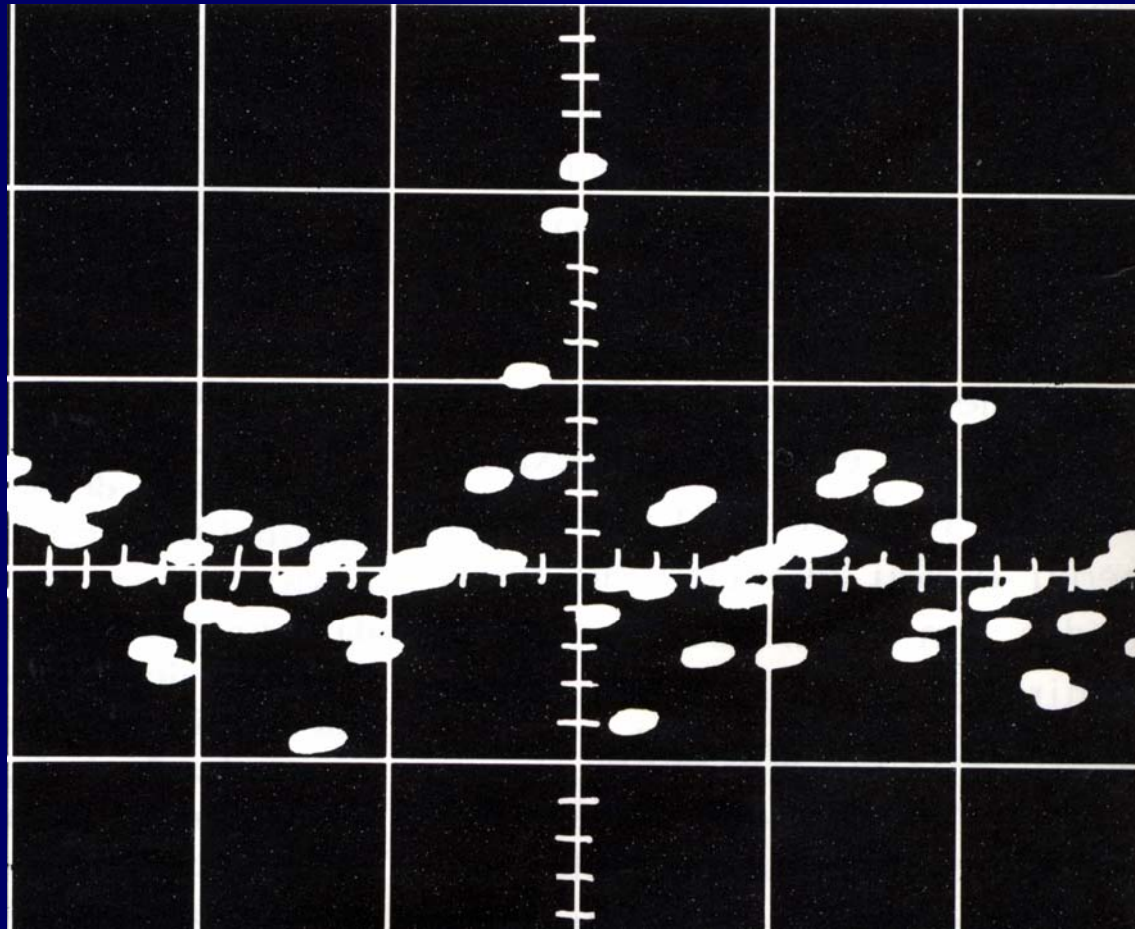
"amostra", de dimensões colossais, contendo uma plétora de moléculas exóticas. Dado que já tínhamos registado as radio-frequências de HC_5N , escrevi a Takeshi Oka, para o NRC (National Research Council, Ottawa, Canadá) com vista a procurar-se essa molécula no espaço. Takeshi e eu próprio tínhamos trabalhado (64-66) no mesmo laboratório do NRC; ele respondeu-me que estava "muito, muito, muito, muito, mesmo muito interessado".

Em Novembro de 1975, a busca, por rádio, de HC_5N (com os

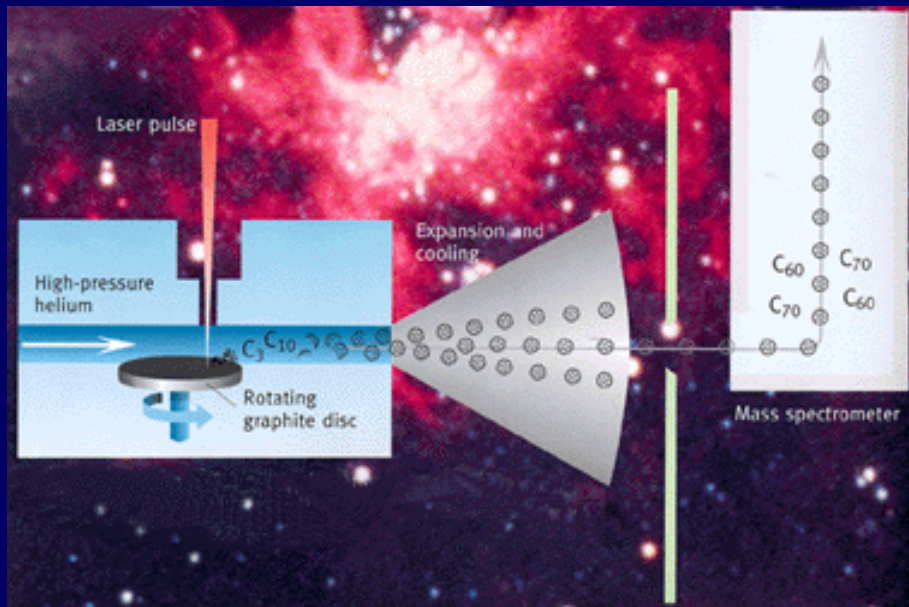
Galáxia da Via Láctea



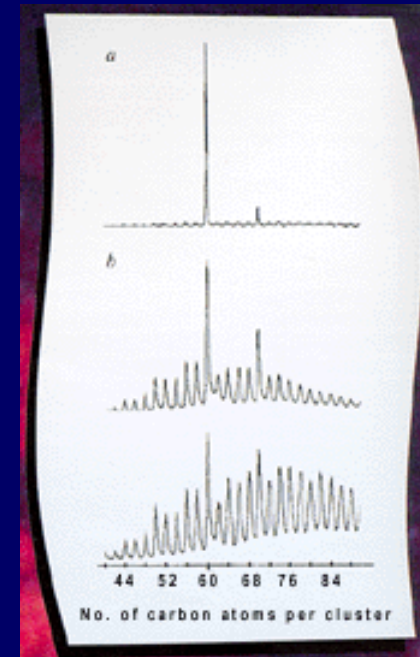
Sinal radioastronómico de HC₇N



Descoberta dos Fulerenos



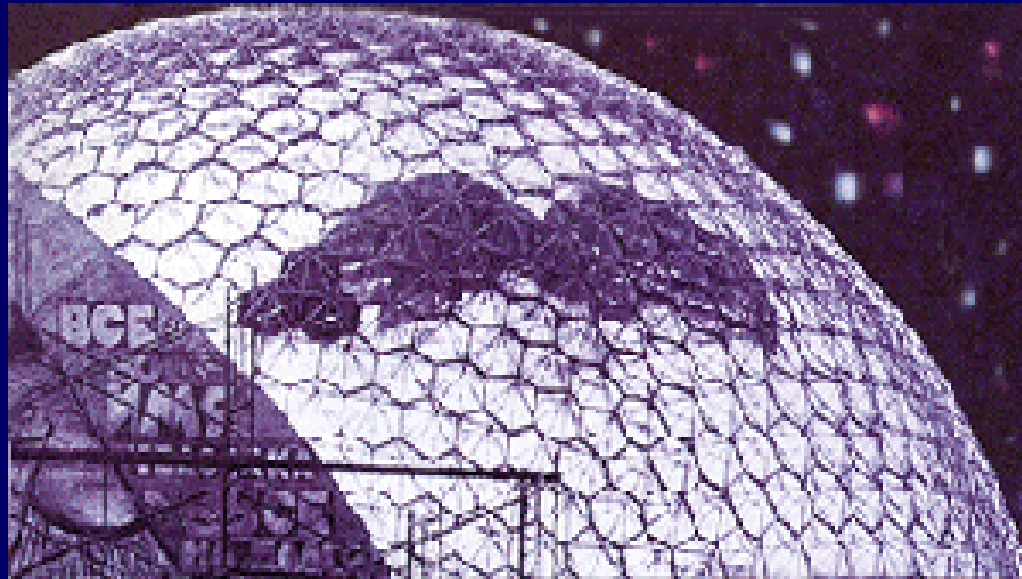
Esquema do Aparato de Smalley



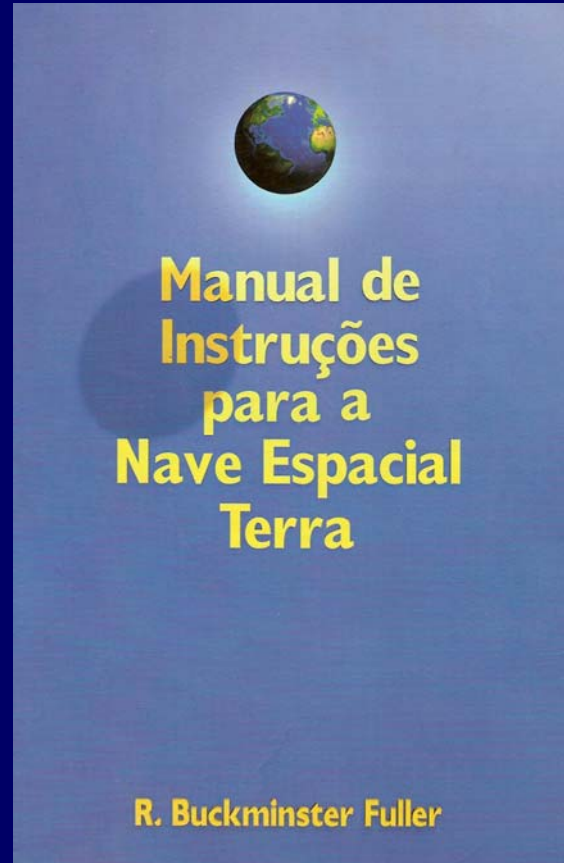
Espectros de Massa

A Cúpula Geodésica de Buckminster Fuller

Expo 67, Montreal



Um clássico da literatura ecológica



Kroto e os filhos

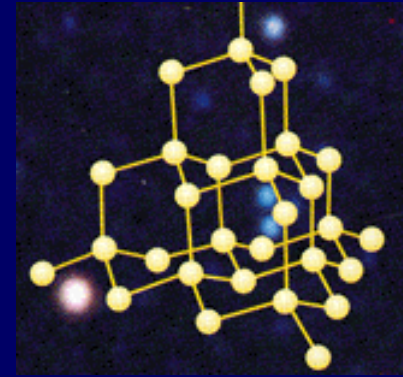
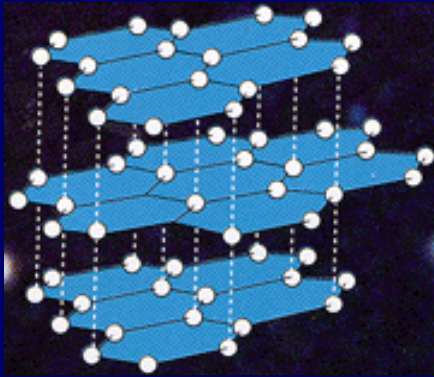


Teorema de Euler

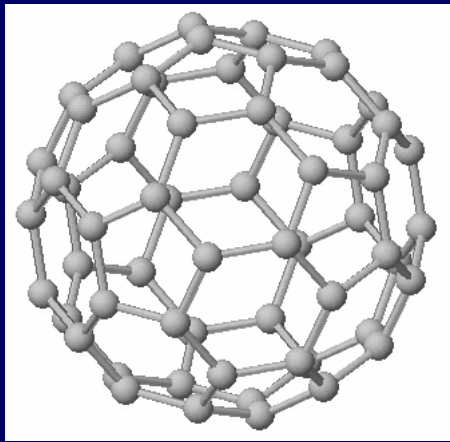
Pode fechar-se uma caixa, com um número par de vértices, usando qualquer número de hexágonos (excepto um) desde que se incluam 12 pentágonos.

Carbono em Diferentes Formas

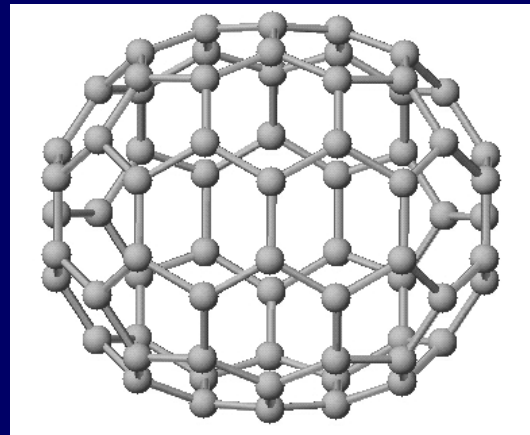
(formas alotrópicas)



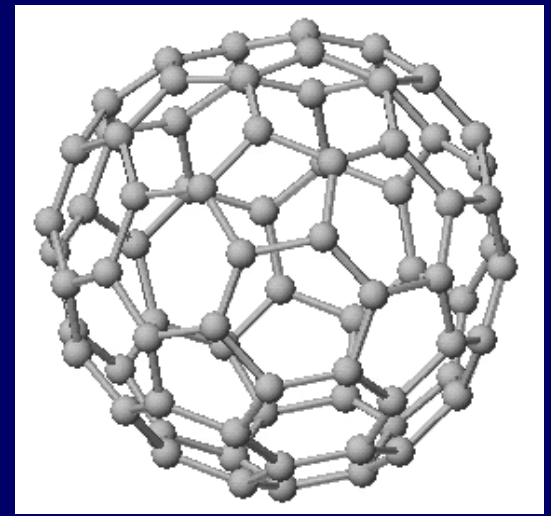
Fulerenos, Euler, Pentágonos e Hexágonos



C_{60}



C_{70}

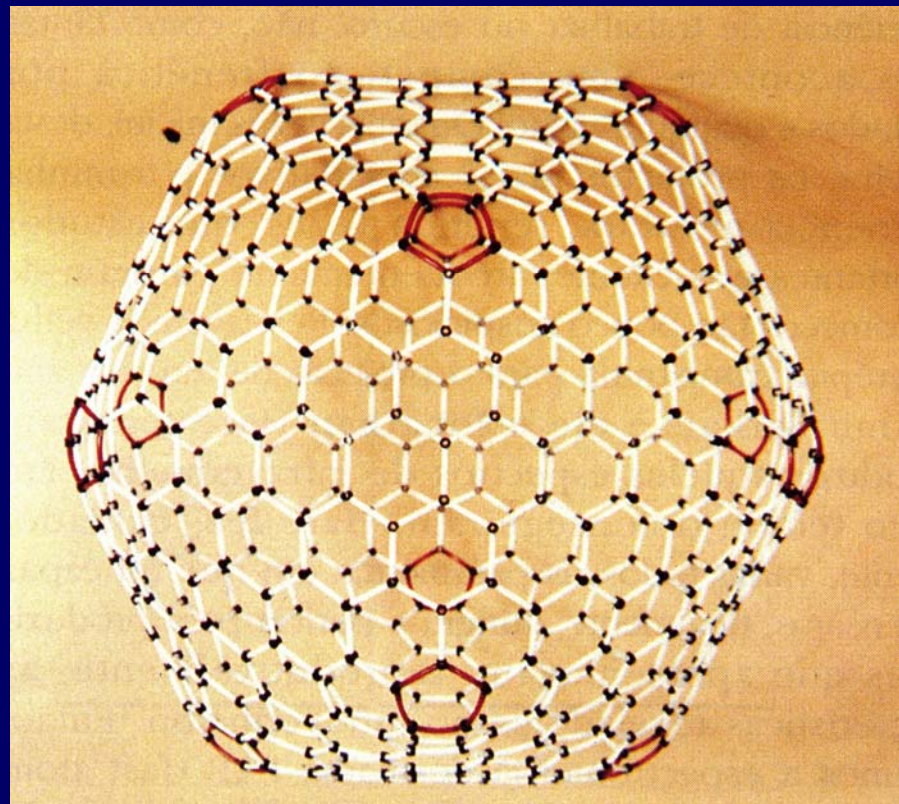
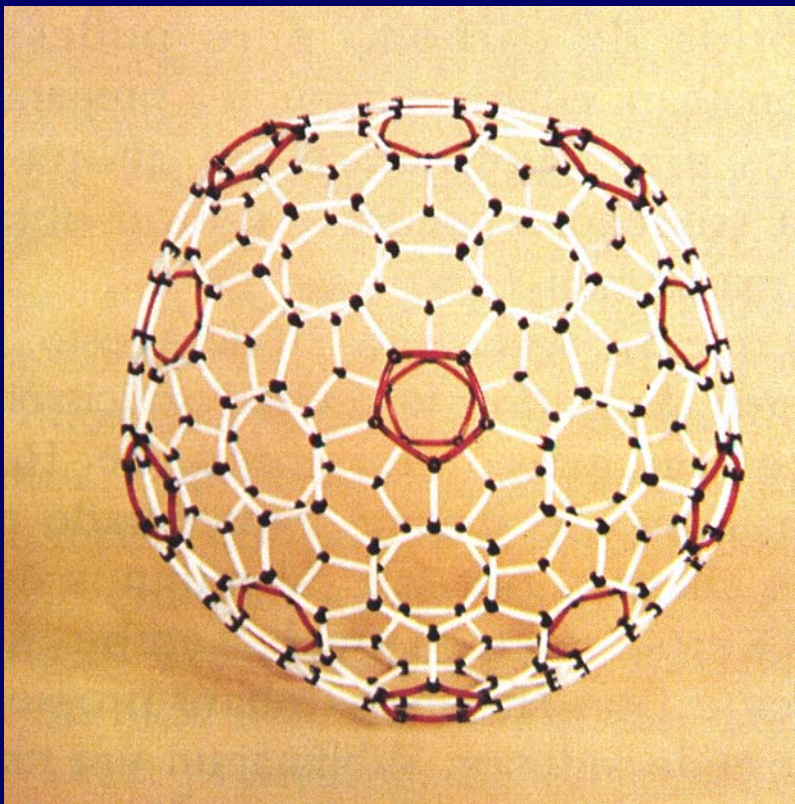


C_{76}

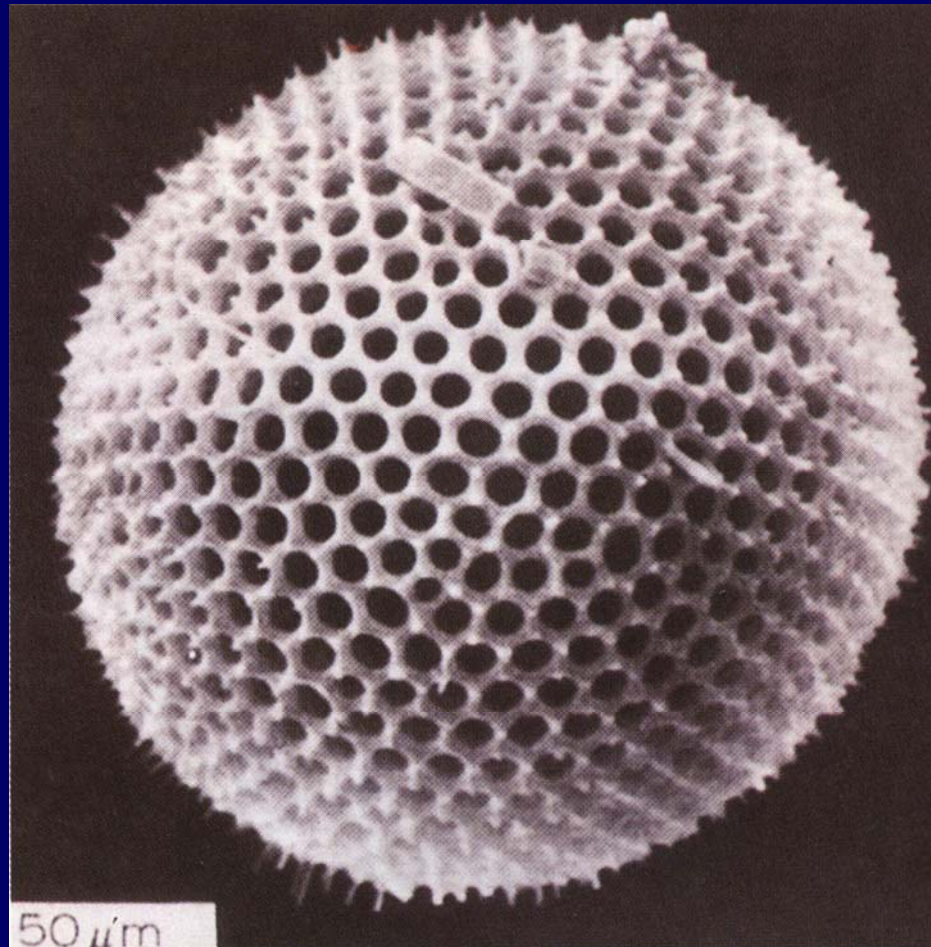
Buckminsterfulereno

(buckyball)

C_{246} e C_{540}



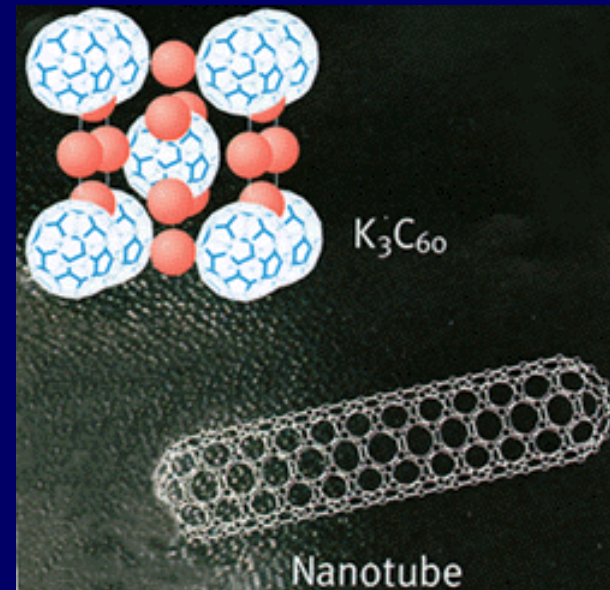
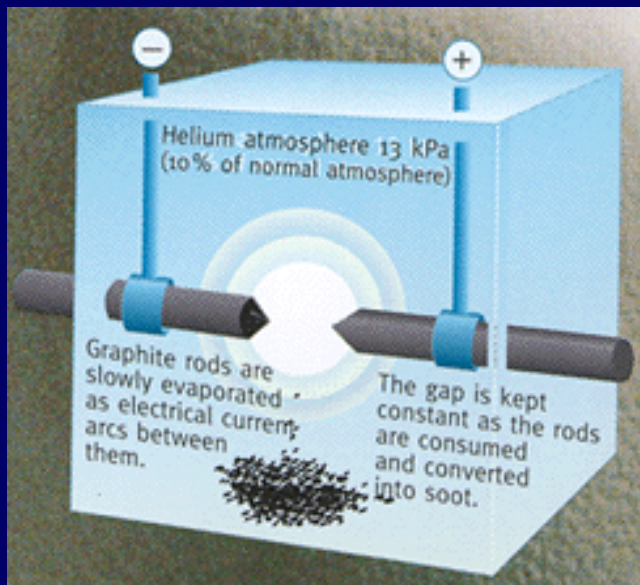
Aulonia Hexagona



Dona Tartaruga!



Produção de Fullerenos



Soluções (1990)



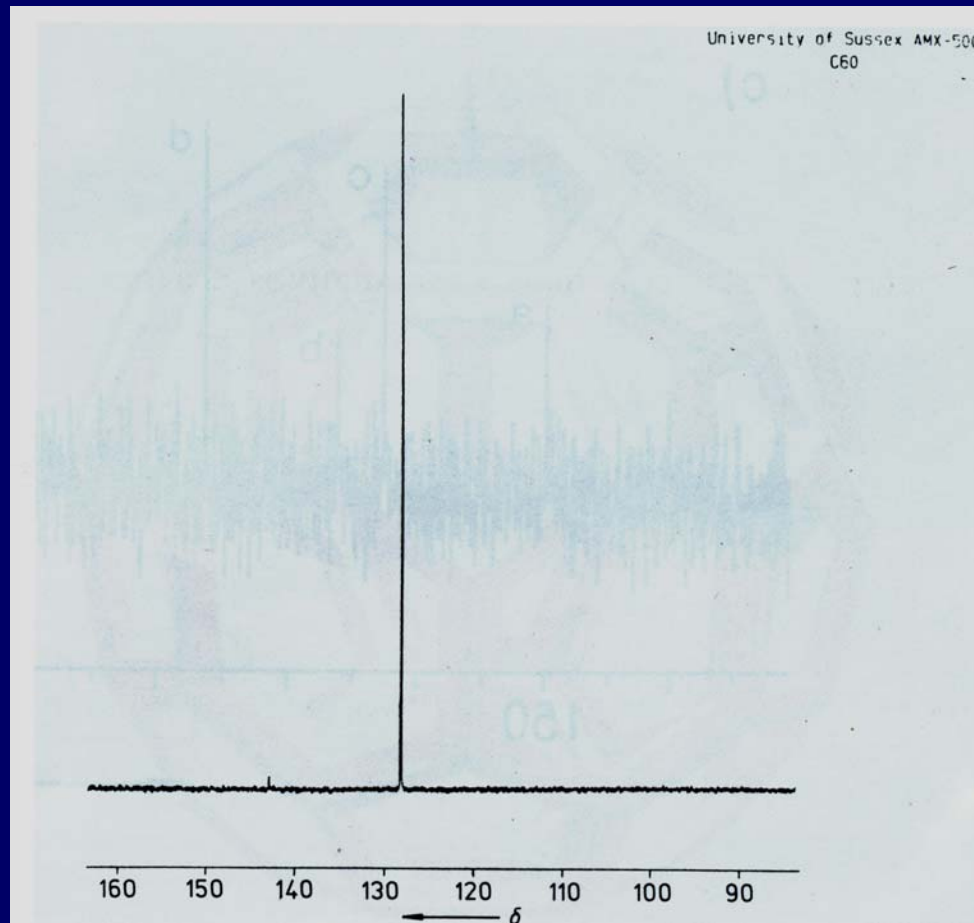
$C_{60} + C_{70}$



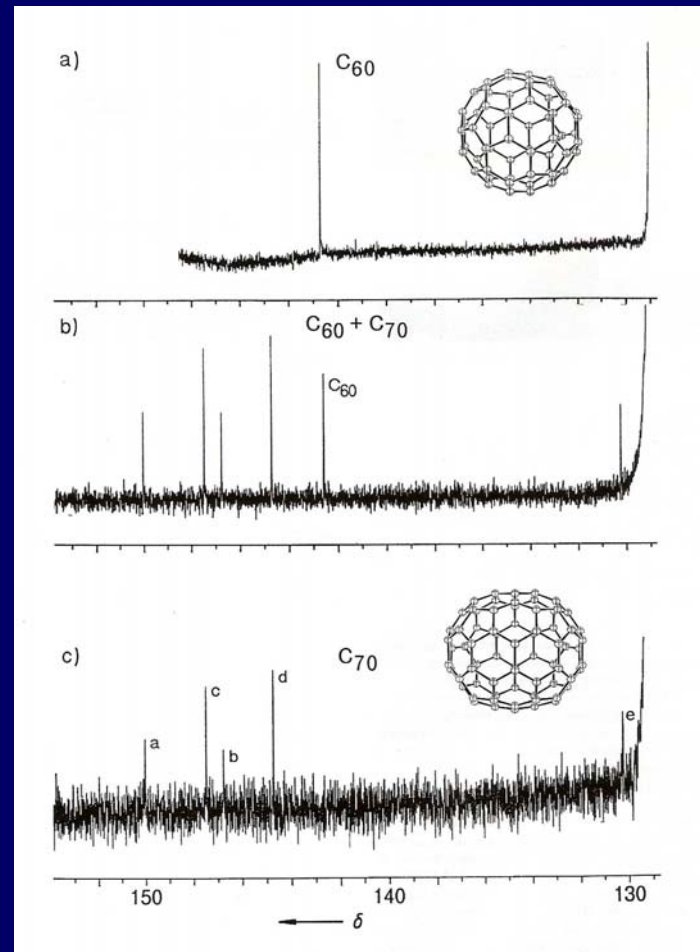
C_{60}

C_{70}

Espectro de RMN do C_{60} (1990)



Espectros de Ressonância Magnética Nuclear



Structure of C₆₀ molecule

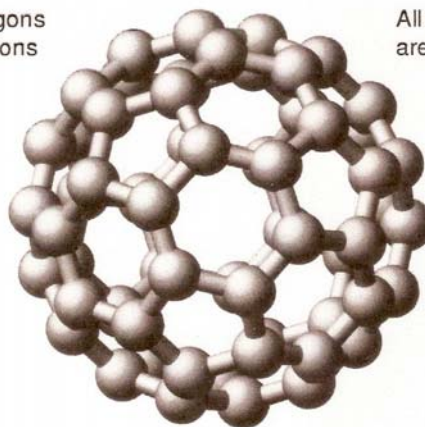
(buckminsterfullerene)

R. Curl (Univ. Rice, USA), H. Kroto (Univ. Sussex, UK),

R. Smalley (Univ. Rice, USA)

(Discovery: 1985, Nobel Prize: 1996)

12 pentagons
20 hexagons



All the carbon atoms
are sp² hybridised

Density: 1.72 g cm⁻³ Diameter: 7 Å molecular weight: 720

IR absorption lines: 1429, 1183, 577, 528 cm⁻¹

¹³C NMR signal: 143 ppm in benzene

Examples of other fullerenes: C₇₀, C₈₄, C₉₀, C₉₄

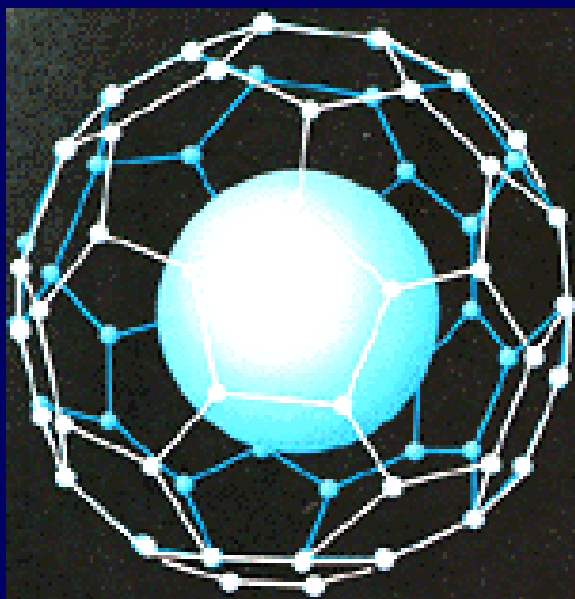
C₆₀F₆₀ (potential lubricant)

K₃C₆₀ (superconductor <19 K)

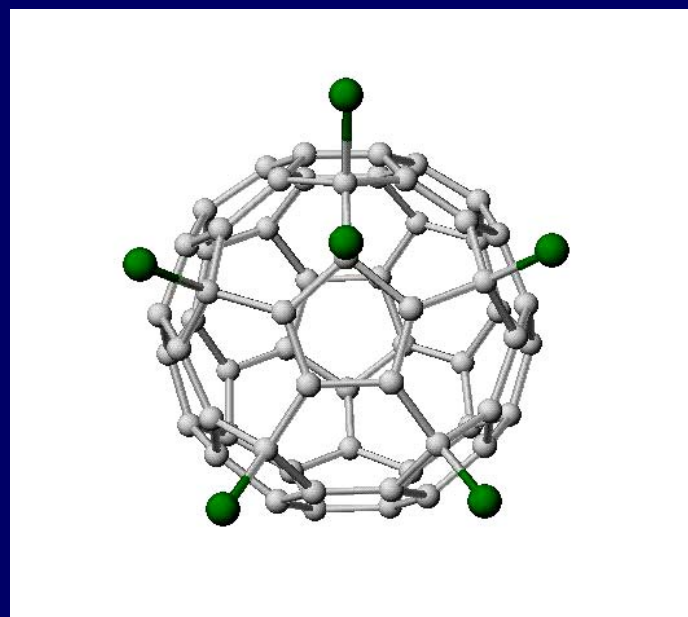
By a modification of the method for fullerene production it is now possible to produce the world's smallest tubes (unique electrical and mechanical properties).

Nanotubes => Computer technology

Compostos de C₆₀

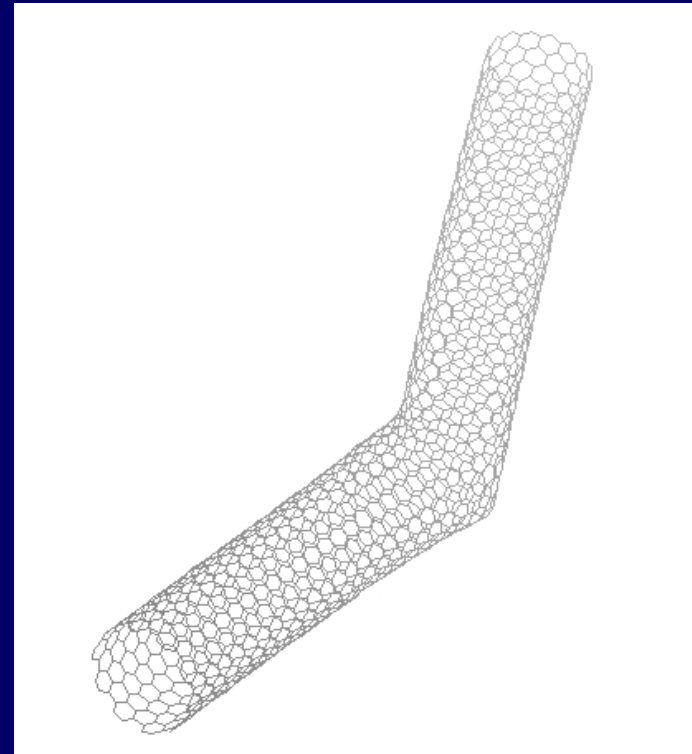
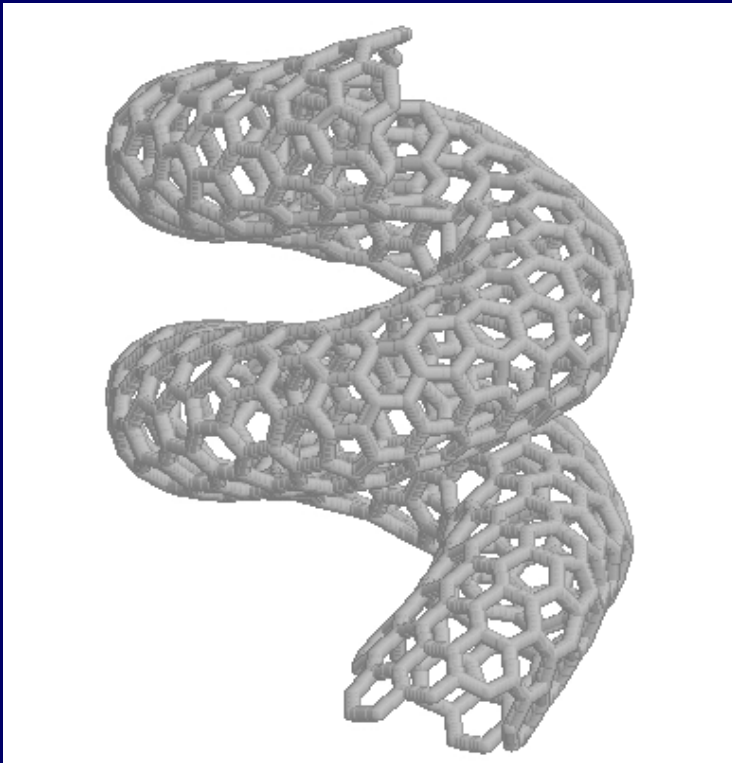


LaC₆₀

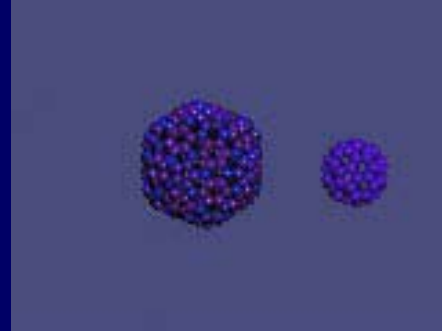


C₆₀Cl₆

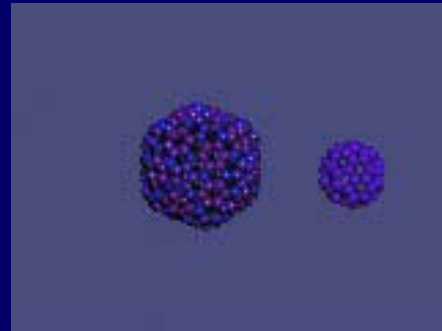
Espirais e Tubos



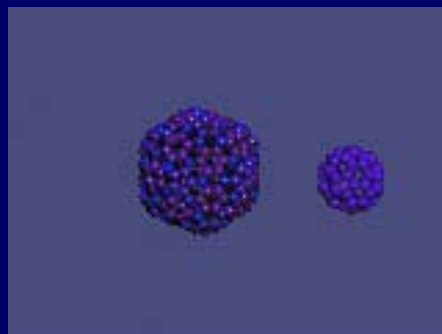
Colisão de fulerenos a diferentes velocidades



Baixa

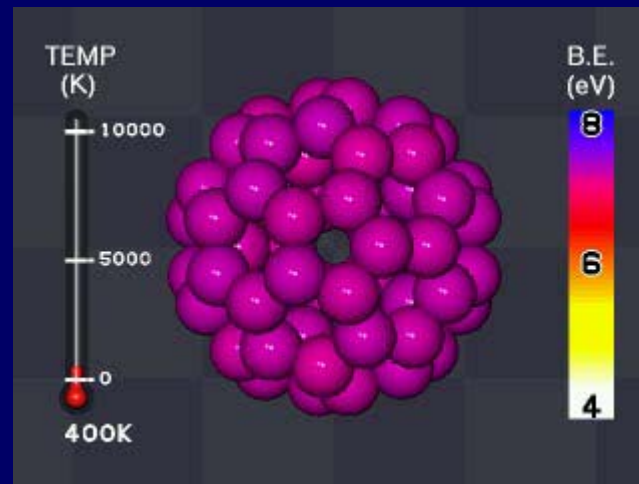


Média



Alta

Estabilidade Térmica do C_{60}



Os Laureados Nobel da Física em 2010

Andre K. Geim, Manchester University, UK

Konstantin S. Novoselov, Manchester University, UK

pela descoberta do Grafeno

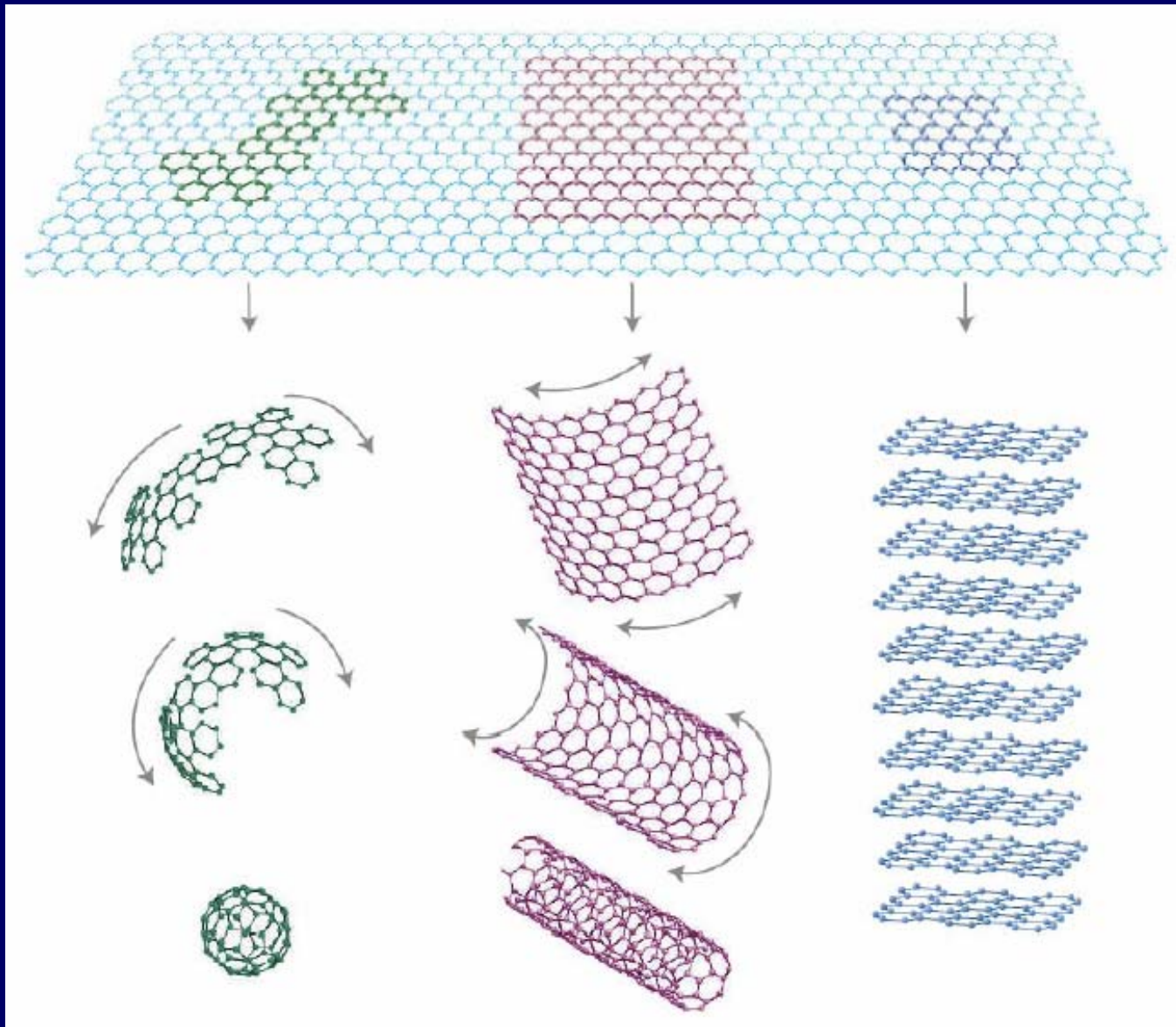


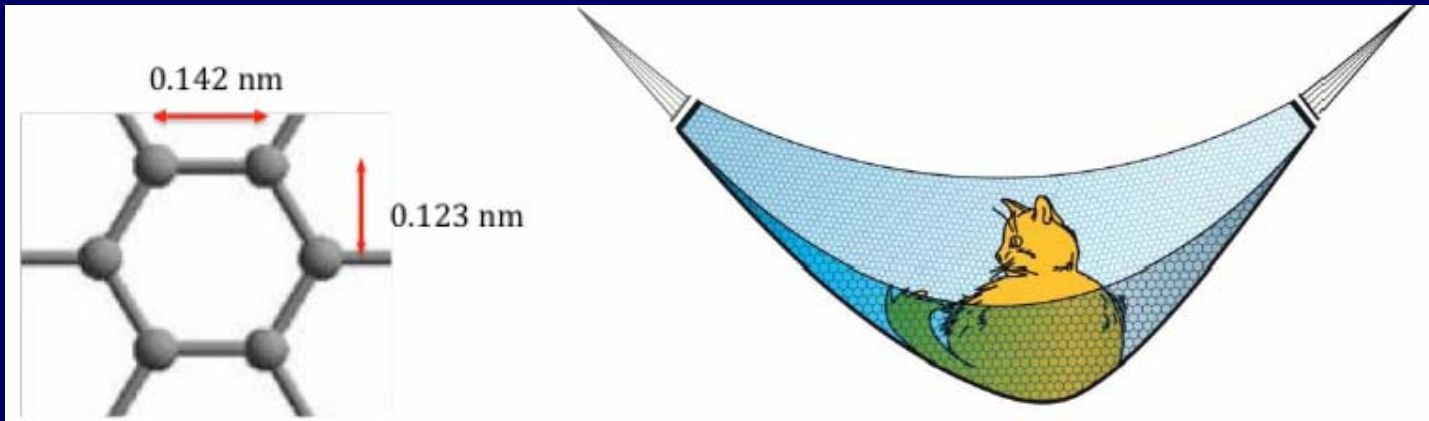
A. Geim



K. Novoselov

Grafeno





- Densidade do grafeno: $0,77 \text{ mg} / \text{m}^2$
- A massa duma rede hipotética com 1m^2 : $0,77 \text{ mg}$!
- Até agora têm sido produzidas folhas de grafeno $\sim 70 \text{ cm}$
- É o 1º material cristalino a duas dimensões
- Propriedades únicas: futuras aplicações em ciência fundamental e tecnologia



Future applications of Graphene

Graphene has a number of properties which makes it interesting for several different applications. It is an ultimately thin, mechanically very strong, transparent and flexible conductor. Its conductivity can be modified over a large range either by chemical doping or by an electric field. The mobility of graphene is very high which makes the material very interesting for electronic high frequency applications. Recently it has become possible to fabricate large sheets of graphene. Using near-industrial methods, sheets with a width of 70 cm have been produced. Since graphene is a transparent conductor it can be used in applications such as touch screens, light panels and solar cells, where it can replace the rather fragile and expensive Indium-Tin-Oxide (ITO). Flexible electronics and gas sensors are other potential applications. New types of composite materials based on graphene with great strength and low weight could also become interesting for use in satellites and aircraft.

H. Kroto, Colóquio/Ciências, 15 (1994) 3
Fundação Calouste Gulbenkian

C₆₀: BUCKMINSTERFULERENO

A ESFERA CAÍDA DOS CÉUS

A história do carbono-60 tem muitas facetas mas, para além do que quer que seja, constitui mais um exemplo paradigmático dos benefícios que se podem colher em apoiar ciência pura, fundamental, e das limitações severas de estratégias de investigação unicamente aplicada.

Diálogo na Câmara dos Lordes, Londres!

Que medidas tem o governo tomado para estimular o uso do buckminsterfulereno na ciência e na indústria?

- *Baronesa Seare*: “Meus senhores, perdoem-me a ignorância, mas poderá o nobre senhor dizer se esta coisa é animal, vegetal ou mineral?”
- *Lord Renton*: “Meus senhores, referem-se realmente a uma bola de futebol ou a uma bola de rãguebi?”
- *Lorde Reay*: “Meus senhores, supõe-se que possa ter várias utilizações: no fabrico de baterias, como lubrificante ou como semi-condutor. No entanto, tudo isto não passa ainda de especulação. Poderá vir a demonstrar-se que não serve para nada.
- *Lord Russel*: “Meus senhores, poderemos então afirmar que, não servindo para nada, o faz muito bem?”