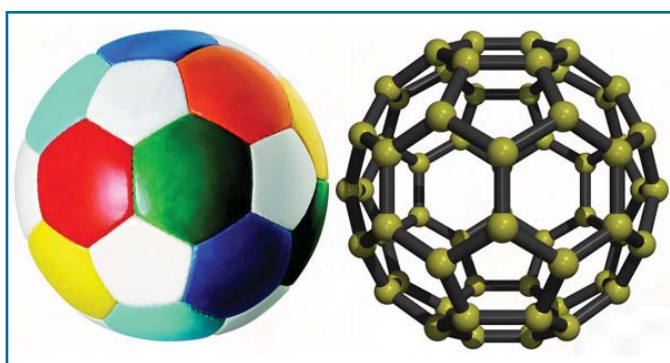


ФУЛЛЕРЕНЫ

(Fullerenes, Bucky-Balls)

«...Теперь наноРеал в наноМадриде Играет фуллереновым мячом».

Неизвестный



Если развитие нанотехнологий дойдет до такого уровня, что появятся невидимые человеческим глазом нанороботы, то выяснится, что природа в некоторой степени уже позаботилась об их досуге, создав нанометровые мячики – молекулы фуллерена. Действительно, размер молекулы самого известного фуллерена C_{60} составляет всего 1 нм, а сама молекула состоит из связанных ковалентными взаимодействиями 60 атомов углерода, образующих полую структуру в форме футбольного мяча. Термин «фуллерен» происходит от имени Ричарда Букминстера Фуллера, сконструировавшего оригинальный купол павильона США на выставке EXPO-67 в Монреале в форме сочлененных пентагонов и гексагонов (рис. 1).

С химической точки зрения фуллерен представляет собой аллотропную модификацию углерода, уникальную своей молекулярной структурой – практически идеальные шарики удерживаются вместе только слабыми Ван-дер-Ваальсовыми силами. Очень необычна история открытия фуллеренов, которые сначала были предсказаны теоретически и лишь через 20 лет обнаружены экспериментально (рис. 2), вызвав настоящий

«фуллереновый бум» в научном мире. Уже сейчас опубликованы тысячи научных статей, книг, брошюр, посвященных данной теме, обсуждается возможность самых необычных применений этого соединения в нанoeлектронике, медицине, технике (например, в качестве основы для синтеза искусственных алмазов, элементов квантовых компьютеров, для создания новых электронных приборов, для защиты тканей от радиации, а также в составе лекарств и смазочных веществ).

Следует отметить, что C_{60} – это далеко не единственный представитель фуллеренов. Известны и другие углеродные молекулы в форме выпуклых многогранников, образующиеся при испарении графита в атмосфере гелия. Давайте разберемся, сколько атомов углерода может содержать молекула фуллерена? Во-первых, оказывается, что только четное количество. Дело в том, что молекула C_{60} построена из атомов С, находящихся в состоянии sp^2 -гибридизации, в ре-

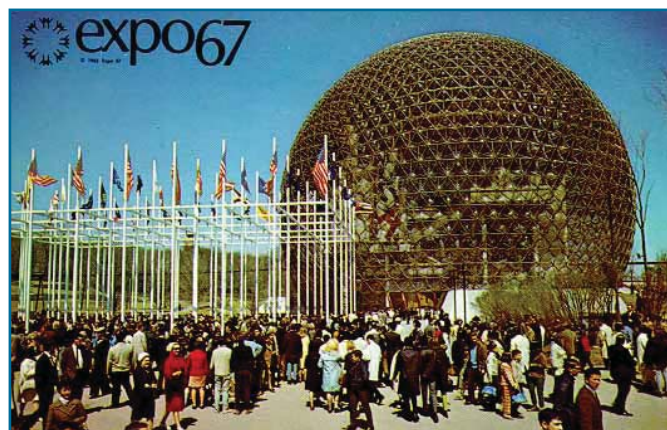


Рис. 1. Купол павильона США на выставке EXPO-67 в Монреале



Рис. 2. Ключевые этапы открытия фуллеренов

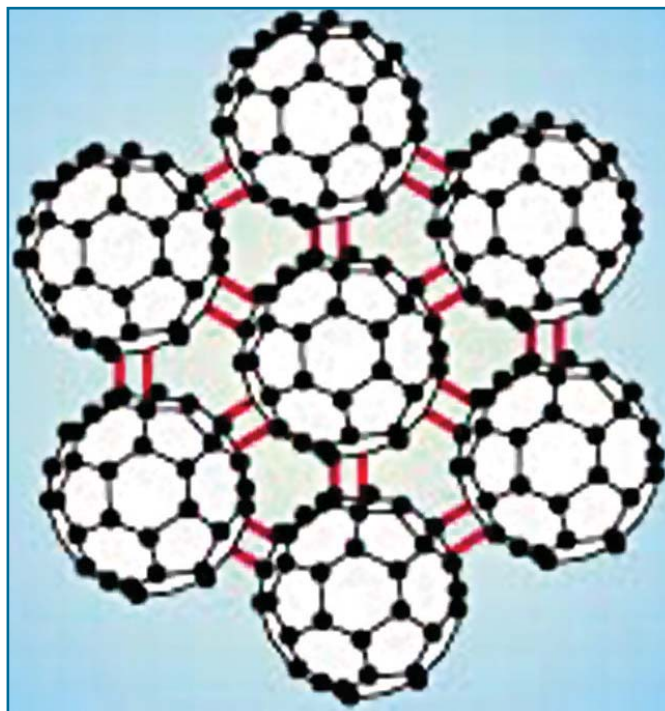


Рис. 3. Полимеризованная фаза фуллерена, способная проявлять ферромагнитные свойства

зультате чего каждый атом имеет по три соседа, связанных с ним σ -связями. Но, как всем известно, валентность углерода равна четырем, поэтому оставшиеся валентные электроны образуют π -систему молекулы из делокализованных двойных связей «углерод-углерод». С помощью математических расчетов показано (теорема Эйлера), что существуют только многогранники, удовлетворяющие соотношению $B + G - P = 2$ (B – число вершин, G – число граней, а P – число ребер). Поэтому невозможно сверткой идеально ровного графитового листа, который является наиболее энергетически выгодной углеродной структурой из sp^2 -гибридизованных атомов, получить замкнутый многогранник, состоящий только из шестичленных циклов. Следовательно, поверхность фуллерена должна также включать другие грани с меньшим числом вершин – пентагоны, причем если число шестиугольных граней может быть произвольным, то пятиугольных должно быть ровно 12. Конечно, это только необходимое, но недостаточное условие существования фуллерена – простейший, согласно расчетам, его представитель C_{20} до сих пор экспериментально не получен – при синтезе преимущественно

образуются молекулы C_{60} и C_{70} , а также высшие фуллерены, вероятно, из-за стабильности таких каркасов. А в чем же причина отсутствия малых фуллеренов? Скорее всего, в том, что с уменьшением размера структура становится более напряженной и склонной к полимеризации. Сам по себе фуллерен плохо растворим в воде и не проводит электрический ток, однако модификация поверхности фуллеренового «шара» или заполнение

его внутреннего пространства атомами металлов приводит к заметному изменению физических свойств, например переходу в сверхпроводящее состояние или проявлению магнетизма (рис. 3). Будут ли открыты новые свойства и реализуются ли уже предложенные способы применения фуллеренов, мы узнаем в самом скором времени – темпы развития современной науки необычайно высоки.

Литература:

1. Сидоров Л. Н., Юровская М. А., Борщевский А. Я. и др. Фуллерены: Учебное пособие. М.: Экзамен, 2005. 688 с.