

Фулерените — същност и приложение

Ицван Чеуз

Институт за космически изследвания, БАН

Фулерените предизвикват голям интерес като възможност за нови научни изследвания и за нови практически приложения. Затова не е случайно, че Нобелова награда за 1996 г. беше присъдена на трима учени за техните постижения в областта на фулерените.

Исторически бележки

Историята на фулерените започва през 1971 г., когато английският физико-химик Харолд Крото изследва молекулите HC_3N , открити в междузвездното пространство. Целта му е откриване на молекули от по-висок ред — полини. През 1983 г. той провежда своите изследвания съвместно с Ричард Кърл. И двамата обръщат внимание върху резултатите на Ричард Смейли, който с лазерно-плазмени устройства създава силициево-карбидни клъстери. Тримата учени предполагат, че в междузвездното пространство има възможност за образуване на карбидни гроздове. През септември 1985 г. тримата провеждат съвместни експерименти и в течение на десет дни успяват да докажат съществуването на молекула C_{60} . Определят нейната структура и я назовават на името на американския архитект Фулер, който построил на Световното изложение в Монреал през 1967 г. американския павилион с подобна конструкция, която е била нарисувана още от Леонардо да Винчи.

Молекулата C_{60} по своята форма много прилича на футболна топка, направена от 12 петоъгълни и 20 шестоъгълни парчета. Любопитно е, че размерът на молекулата C_{60} , който е 0,7 nm, е $1/10^7$ част от футболната топка, която от своя страна е $1/10^7$ част от земното кълбо [1].

Трябва да се отбележи и фактът, че преди знаменателните десет дни независими изследвания са проведени в лаборатория на нефтената компания ЕКСОН в Ню Джърси под ръководството на Ендрю Калдор. При

образуването на плазмен графит още през 1984 г. там получават молекули C_{60} и C_{70} , но не успяват да ги отделят като пикове на спектрограмата и по тази причина голямото откритие им се изплъзва.

Волфганг Кречмер в Института по астрофизика „Макс Планк“ в Хайделберг и Доналд Хофман в Университета в Аризона провеждат експерименти за получаване на плазма от графит чрез електрическа дъга в среда на хелий (1990 г.). В саждите присъстват C_{60} , C_{70} и по-големи молекули [2].

Същност на фулерените

Откритата от групата на Крото молекула C_{60} е чист въглерод. Неговата структура се различава от структурата на графита и на диаманта. Тя е нова алотропна модификация на въглерода. Следователно, въглеродът има три кристални модификации: графит, диамант и фулерен. Те притежават различни физични свойства.

При графита и диаманта има външни частично наситени връзки. Шестоъгълните пластини при графита могат лесно да се плъзгат една върху друга. При диаманта, поради свободните връзки, повърхността му е покрита с водород. На повърхността на фулерена няма такива връзки, те всички са наситени.

При определяне на структурата на графитния въглерод се използват шестоъгълни конструкции. По-късно става ясно, че ако по определен начин се отрежат върховете на икоситетраедъра, се получава пресечен икоситетраедър, състоящ се от 12 петоъгълника и 20 шестоъгълника. Точно такава е структурата на C_{60} .

В саждите, получени от електрическа дъга, част от сферичните структури на C_{60} се удължават и придобиват формата на „топка за ръग्би“. Такава е структурата на C_{70} .

Освен тях са известни и хиперфулерени с молекули C_{960} на външната обвивка, по-навътре са C_{340} , още по-навътре C_{240} , а в центъра е C_{60} , която е най-стабилна. Такава структура се създава сравнително лесно и това открива нова ера в развитието на физико-химията. Електрическата дъга между въглеродни електроди се създава без особени затруднения в лабораторни условия и в това е една от причините за изключително високия интерес на учените в тази област. По метода на електрическата дъга дневно могат да се получават няколко грама от материала и ако през 1991 г. един грам фулерени струваше 4000–5000 долара, то сега цената е около 40 долара за грам [1].

Структурата на C_{60} се характеризира с вакуумна кухня със сферична симетрия, в която могат да се включат и различни атоми и йони. Най-често се срещат атоми на хелий, но размерите на пространството позволяват да се поместват атоми на почти всички химически елементи. Въпросът е как да бъдат поставяни там.

Провеждани са опити, при които към графитовите електроди е добавен калиев нитрат. По този начин присъстващите в плазмата калиеви атоми могат да попаднат вътре в C_{60} . В резултат се получава ново съединение, наричано „ $K@C_{60}$ “, при което връзката не е йонна, нито ковалентна, а чисто механична и се нарича ендохедриална [3].

Докато енергията на ковалентната химична връзка е 1–2 eV, за освобождаване на вътрешен атом от C_{60} е необходимо разкъсване на връзката C-C в петогълната, или шестогълната структура, за което е необходима енергия минимум 9 eV, или 200 kcal/mol. Такова въздействие върху молекулата C_{60} не е осъществимо само с енергията на химична реакция. По тази причина добива значение неутронното въздействие, като една възможност за „отваряне“ на фулерените. При неутронното облъчване възникват дефекти, позволяващи по-лесното проникване в структурата на C_{60} .

Унгарските учени са едни от първите, използващи този метод, докато американски учени за целта използват нагряване до 500–600°C и налягане 3000–4000 atm, като метод за вграждане на чуждите атоми.

Унгарците чрез механо-химическа енергия в топкови мелници смилат химически чист C_{60} и въздействат с гама-циклодекстрин получават „ C_{60} гама-циклодекстрин“. Това съединение за разлика от C_{60} се разтваря във вода и дава възможност за изследване на фулерените в биологични системи [4].

Известно е, че при неутронното въздействие въглеродните атоми не стават радиоактивни. Когато, за разлика от очакваното, при тях се регистрира висока радиоактивност, оказва се, че C_{60} не е чист и в ядрото му присъстват атоми на други химични елементи. Те, в изключително малки количества, се намират в центъра на фулерена, образуват частичносмесени кристали, благодарение на което се оказва възможно получаването на свръхпроводимост и на други свойства за различни приложения.

Възможности за приложения

Една от възможните области за приложение на фулерените е свързана с т.нар. нанотръби. Оказва се, че шестогълната плоска графитна структура може да се навие по различен начин и да образува тръбичка с диаметър от порядъка на нанометри. В нея чрез капилярните процеси могат да бъдат засмукани метали, като олово и др. и по този начин чрез тръбичките да бъдат формирани метални нишки с наноразмери [5].

Известно е, че върху бензолния пръстен е изградена органичната химия. Чрез свързване на атоми, или атомни групи на основата на C_{60} и C_{70} по подобен начин могат да бъдат получени нови видове горива, катализатори, лекарства, високоякостни влакна, молекулярни мембрани, антифрикционни покрития и диаманти.

Фулерените поради своите електрични и оптични свойства са много перспективни. Те позволяват да се получат полупроводници, свръхпроводници, оптични и електронно-оптични материали, акустични датчици и др. [6,7].

Този нов тип материал открива много широки възможности за нетрадиционни приложения, както и за нови търсения. Неговото получаване и изследването му са по силите и на малките страни и в това отношение много насърчителен е примерът на унгарските учени [8].

Изучаването на фулерените е тясно свързано с изучаването на космическото пространство. Изследвайки въглерода в Космоса, учените публикуваха съобщения за фулерени с извънземен произход. Фулерени са открити при изследването на метеорити [9], както и в следи от ударите им върху обшивката на космически апарати. И в двата случая количествата са

много малки. Може да се предположи, че са получени чрез механизма на Кречмер—Хофман от въглеродни хондрити. Необходими са нови научни доказателства за тяхното присъствие в междузвездното пространство.

Фулерените като трета модификация на въглерода представляват интерес и за учените и за специалистите в Института за космически изследвания — БАН, където има известен изследователски опит в областта на диамантите.

Литература

1. Fodor, L. I. A.Fullerének. *Élet es tudomány*, 51–52, 1966, p. 1620.
2. Kratschmer, W. et al. *Dusty Objects in the Universe*. Kluwer, Dordrecht, 1990, p. 89.
3. Weiss, F. D. et al. *J. Am. Chem. Soc.*, 110, 1988, p. 4464.
4. Szejtli, J. *Cyclodextrins and Their Inclusions Complexes*. Acad. Kiadó, Budapest, 1982.
5. Ebbesen, T. W., P. M. Ajayan. *Nature*, 358, 1992, p. 2200.
6. Patent Jap. 5-142597.
7. Patent Jap. 5-82132.
8. Braun, T. A káprázatos C_{60} molekula. Acad. Kiadó, Budapest, 1996.
9. Buseck, P. R. et al. *Science*, 257, 1992, p. 215.

Постъпила на 20.VI.1997г.

Fulerenes — essence and application

Istvan Cheush

(Summary)

The essence of fullerenes as a new allotropic carbon modification, and their structural features are considered. A brief historical review of the first scientific researches in this field initiated in relation with space studies is made. The directions for their practical application in some new areas are outlined, as well as some potentialities for the development of multicomponent fullerene configurations with specific properties. The paper is an overview one.