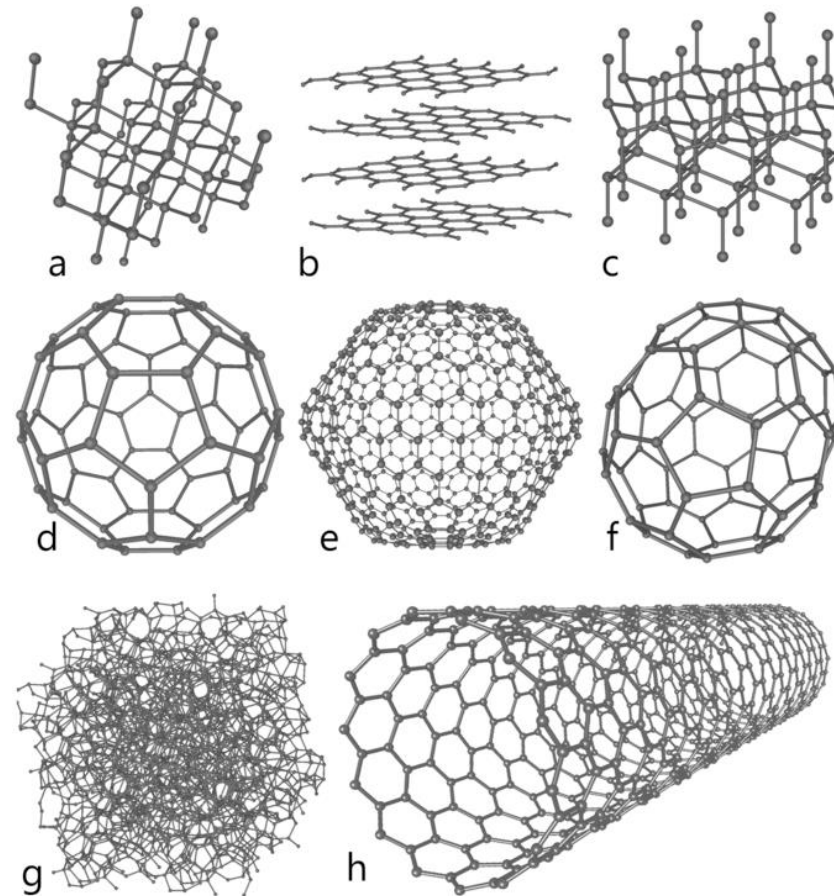


FORME ALOTROPE ALE CARBONULUI : FULERENE ȘI NANOTUBURI

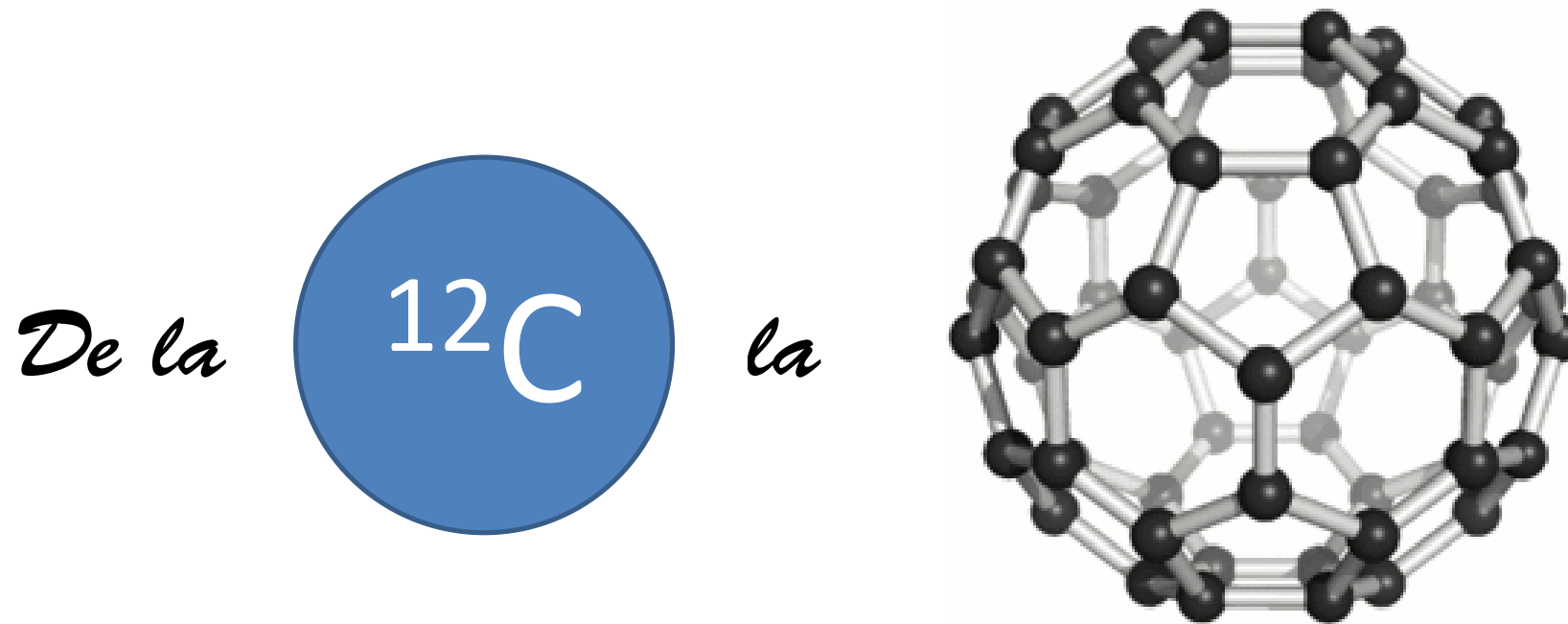
Echipa WeMakers

Universitatea Valahia din Târgoviște, ROMÂNIA





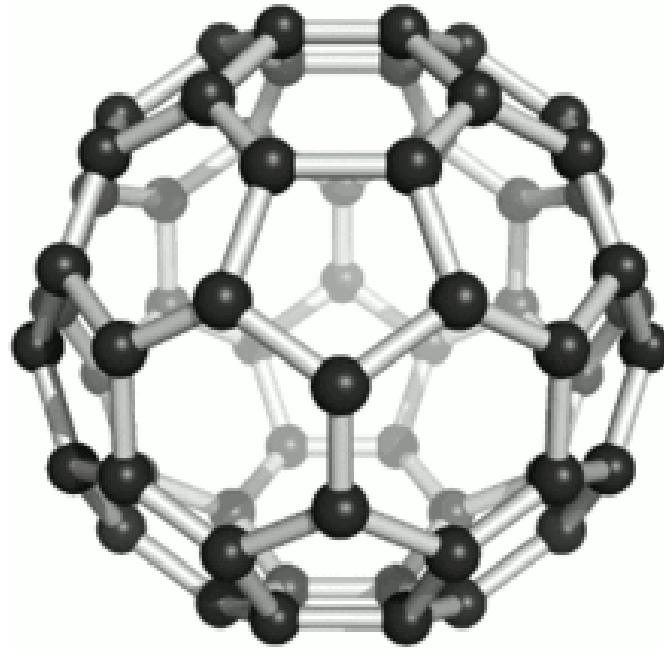
Nanomateriale pe baza de carbon



Fulerene



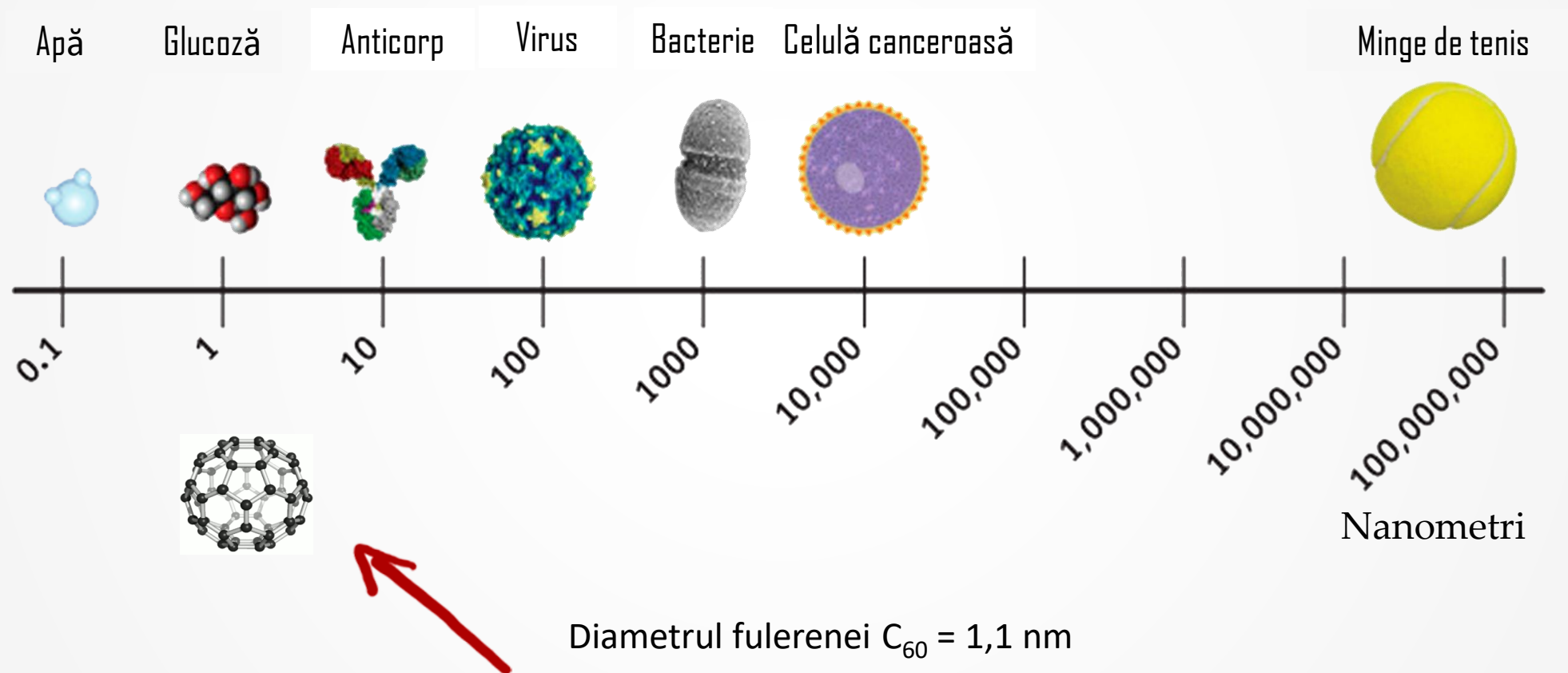
Ce sunt fullerenele?



- Compuși moleculari a căror structură este formată din atomi de carbon, care arată ca o minge de fotbal și constituie o nouă formă alotropă a carbonului.

Dimensiunea fulerenelor

Fulerele sunt molecule relativ mici. Ca dimensiune, fulerena C₆₀ va fi puțin mai mare decât glucoza și puțin mai mică decât un anticorp.



Istoria fulerenelor

Descoperirea fulerenelor a fost accidentală. Trei oameni de știință Robert Curl, Harry Kroto și Richard Smalley au pus la punct în 1985 laserul cu grafit. Conform analizelor, în materialul obținut au fost descoperite fulerenele. În 1996, acești trei oameni de știință au câștigat Premiul Nobel pentru această descoperire.



Primele cercetări legate de fulerene

Chiar dacă fulerenele au fost descoperite în 1985, cercetările aferente au început mult mai devreme, în 1970.

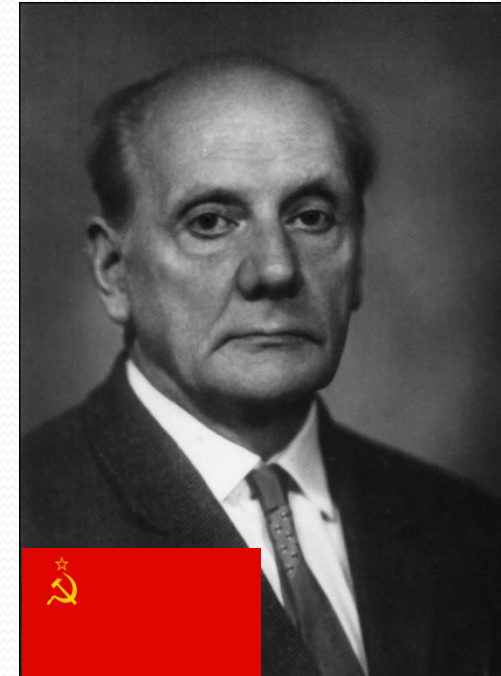
E. Osawa

1971 – Prevede apariția fulerenelor



D.A. Bochvar

1973 – modelul matematic al fulerenelor



De unde vine numele de fulerene?



Richard Buckminster "Bucky" Fuller

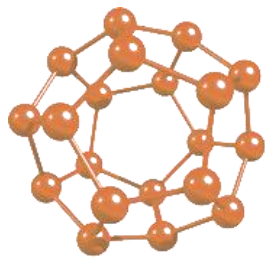
Arhitect american, teoretician în materie de sisteme, autor, designer și inventator care a lucrat la proiecte futuriste în formă de mingi.



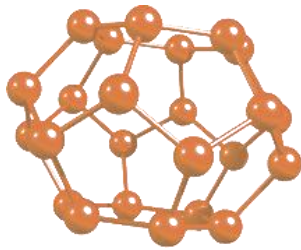
În onoarea lui Fuller aceste molecule au fost numite - fulerene.

Tipuri of fullerene

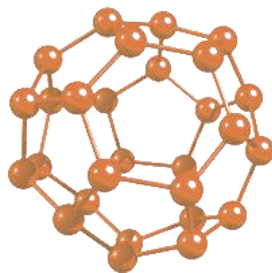
Astăzi cunoaștem câteva tipuri de fullerene. Unele conțin 20 de atomi de carbon în moleculă, în timp ce altele ajung chiar la 540 de atomi!



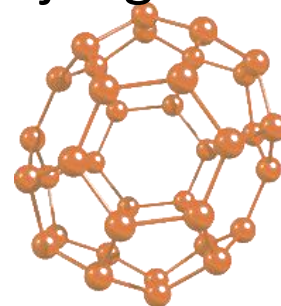
C₂₀



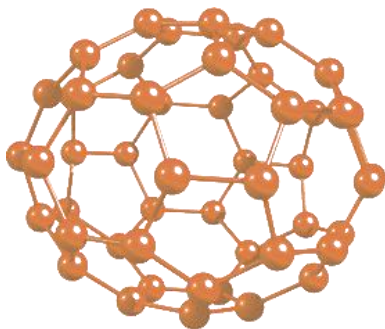
C₂₄



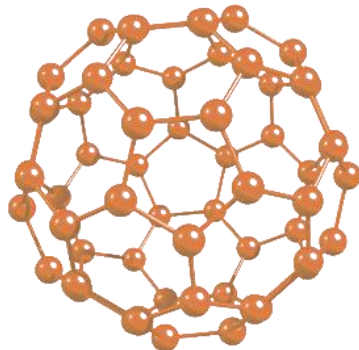
C₂₈



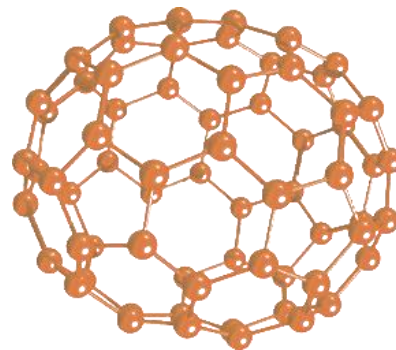
C₃₆



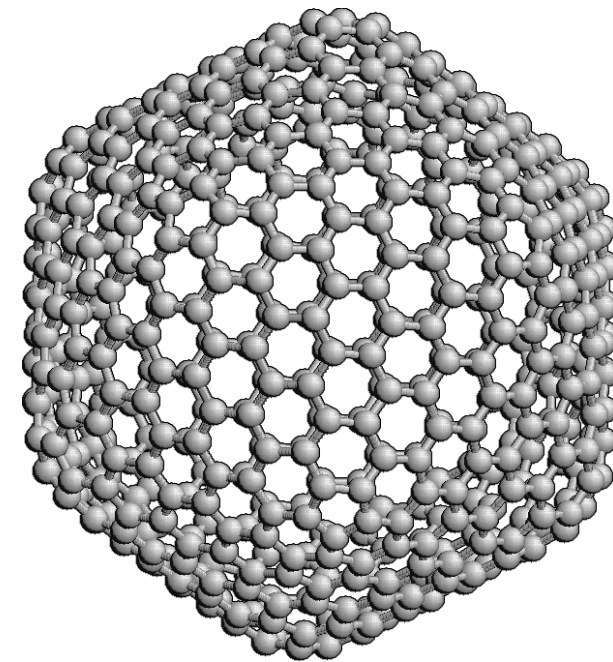
C₅₀



C₆₀

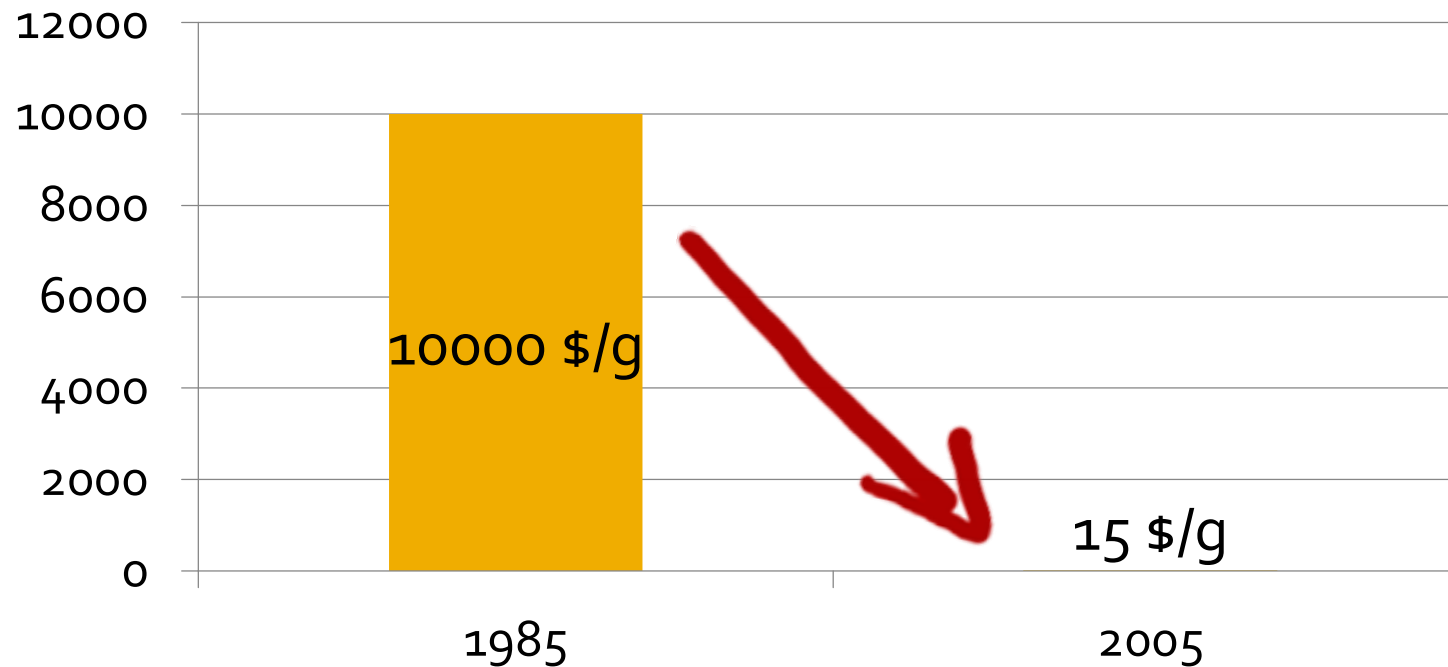


C₇₀



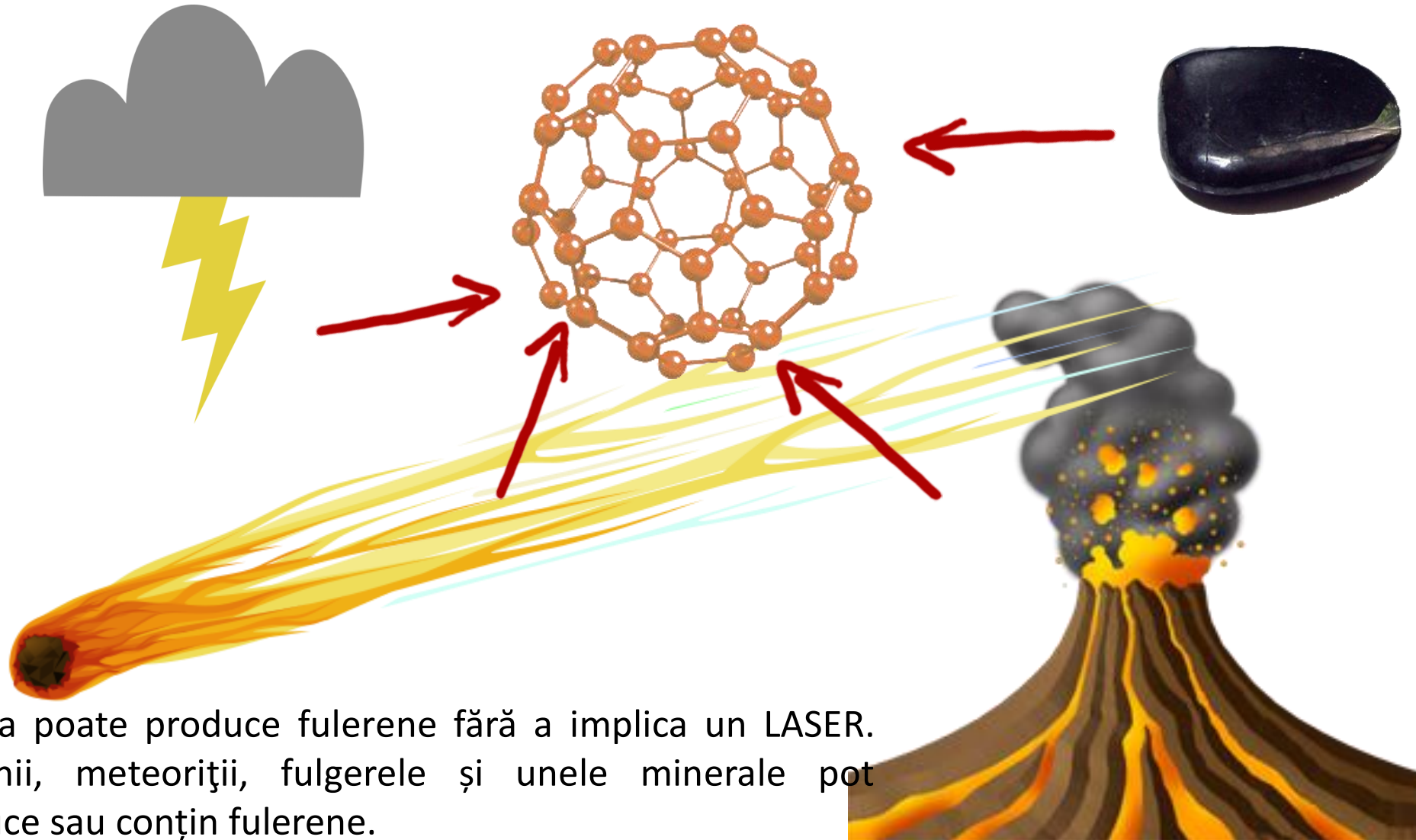
C₅₄₀

Costul fulerenelor



La început, când au fost descoperite fullerenele, costul unui gram din acești compuși a fost de 10.000 de dolari, în timp ce în 2005, datorită îmbunătățirii metodelor de obținere, costul a scăzut la 15 dolari pe gram.

Fulerene în natură

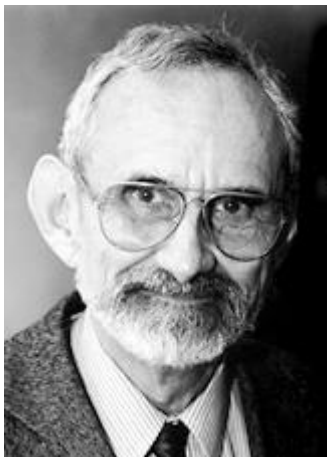


Natura poate produce fulerene fără a implica un LASER. Vulcanii, meteoriții, fulgerele și unele minerale pot produce sau conține fulerene.

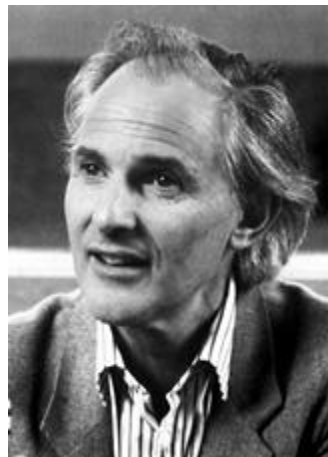
Sinteza fulleranelor

Evaporarea grafitului cu ajutorul LASER-ului

1985



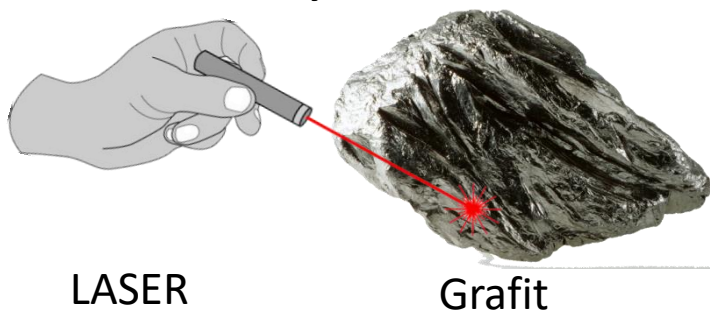
Robert Curl



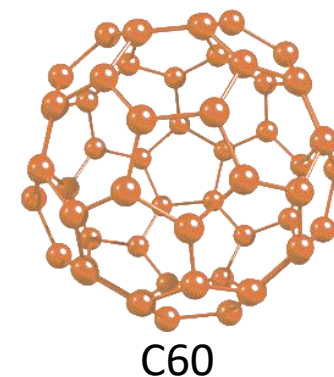
Harry Kroto



Richard Smalley



Urme de



Prima metodă de sinteză a fulleranelor s-a bazat pe acțiunea LASER-ului asupra grafitului. Rezultatul nu a fost foarte bun, deoarece produce doar urme de fullerene.

Evaporarea termică a grafitului

1990



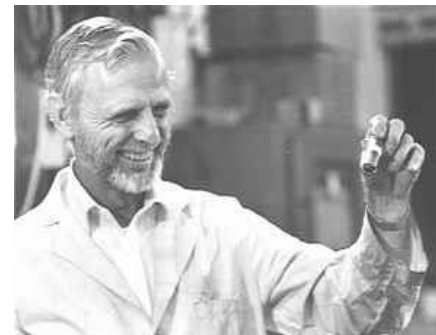
Wolfgang
Krätschmer



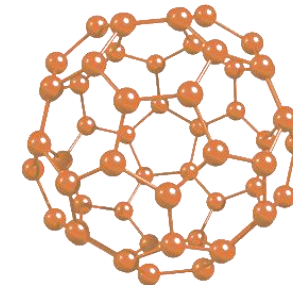
Lowell D. Lamb



Konstantinos
Fostiropoulos



Donald Huffman



3-12 %

Atmosferă de Heliu

Grafit

1800 – 4800 °C

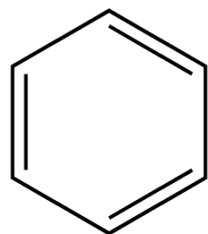
În anii 1990, o echipă de cercetare condusă de W. Krätschmer și D. Huffman a găsit o metodă mai bună pentru sinteza fullerenelor. Ei au introdus grafitul în atmosferă de heliu și au adus acest material la temperaturi ridicate folosind energie electrică. În urma procesului funinginele formate au prezentat un conținut de 3-12% fulerene.

Arderea și piroliza of compuşilor carbonici

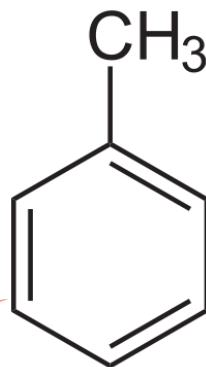
1999



Eiji Osawa



Benzen

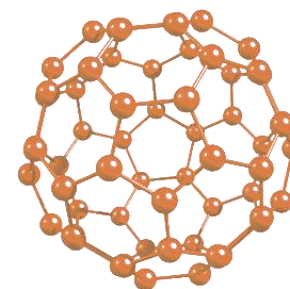


Toluen



Acetilenă

6 %



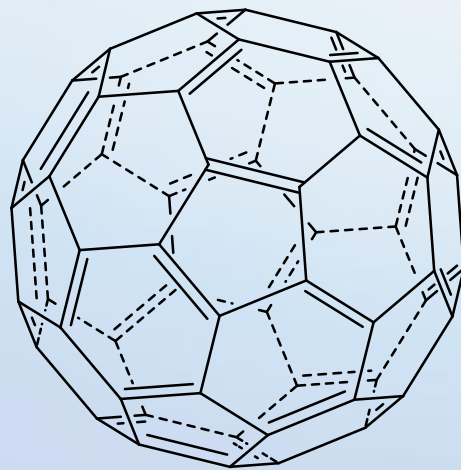
1600 – 4600 °C

Oamenii de știință au căutat metode alternative de producere a fulerenelor. E. Osawa a constatat că, prin arderea controlată a compuşilor cum ar fi benzenul, toluenul și acetilena, pot rezulta fulerene.

Fulere

**Reacții, proprietăți și alte
lucruri interesante ...**

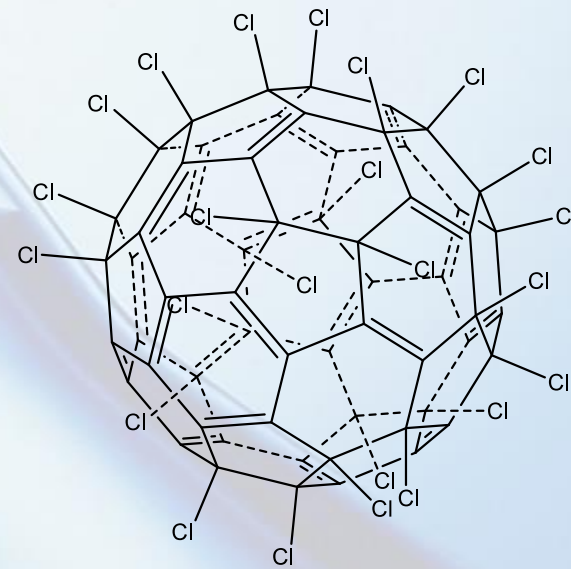
Fulereene + halogeni =?



C_{60}

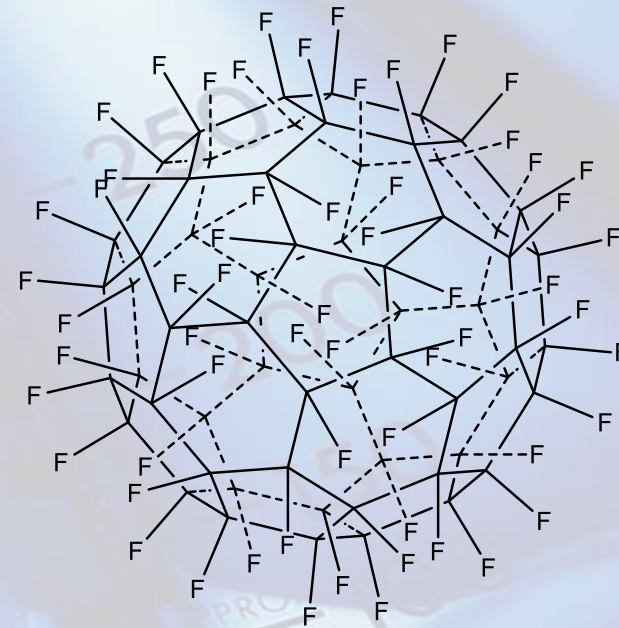
+ Cl_2

$C_{60}Cl_{24}$



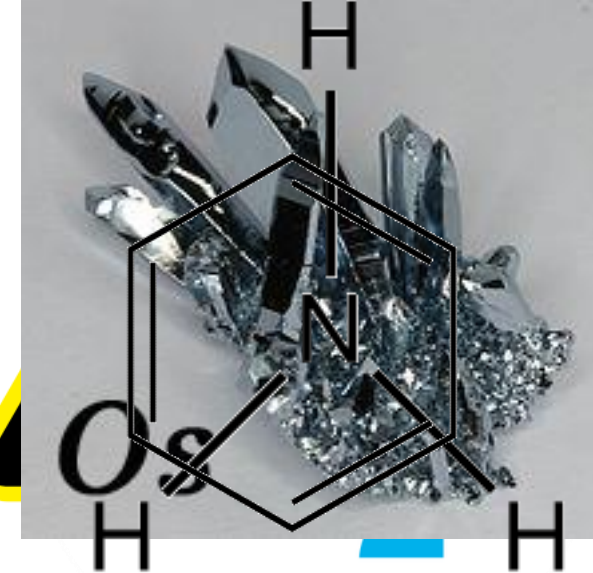
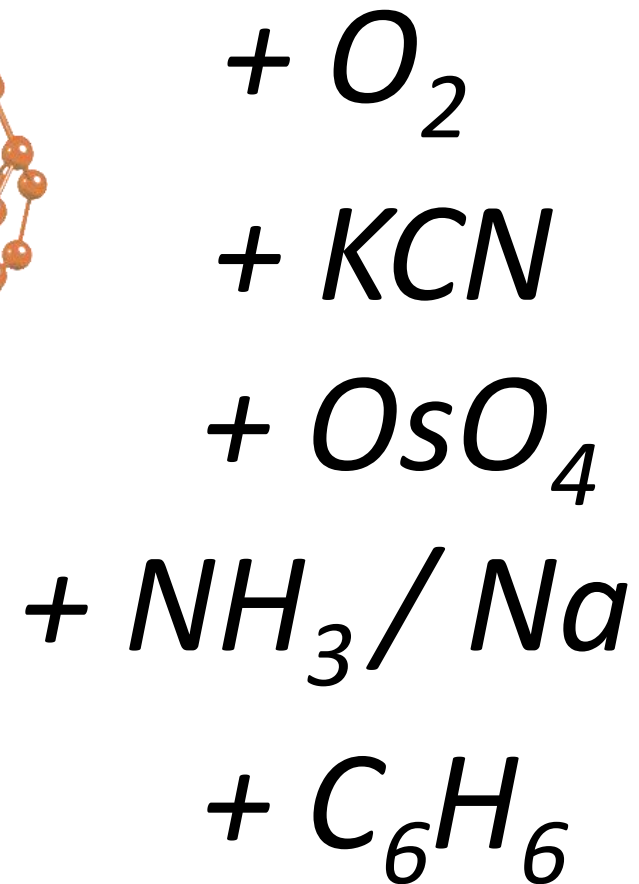
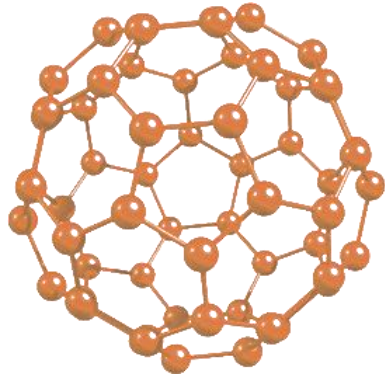
+ F_2

$C_{60}F_{60}$



Deși fulerenele par compuși foarte bizari, ei pot intra în reacții cu diferiți alți compuși chimici. Astfel, cu halogeni precum clorul și fluorul, reacționează foarte bine rezultând unii compuși a căror structură este similară aricilor.

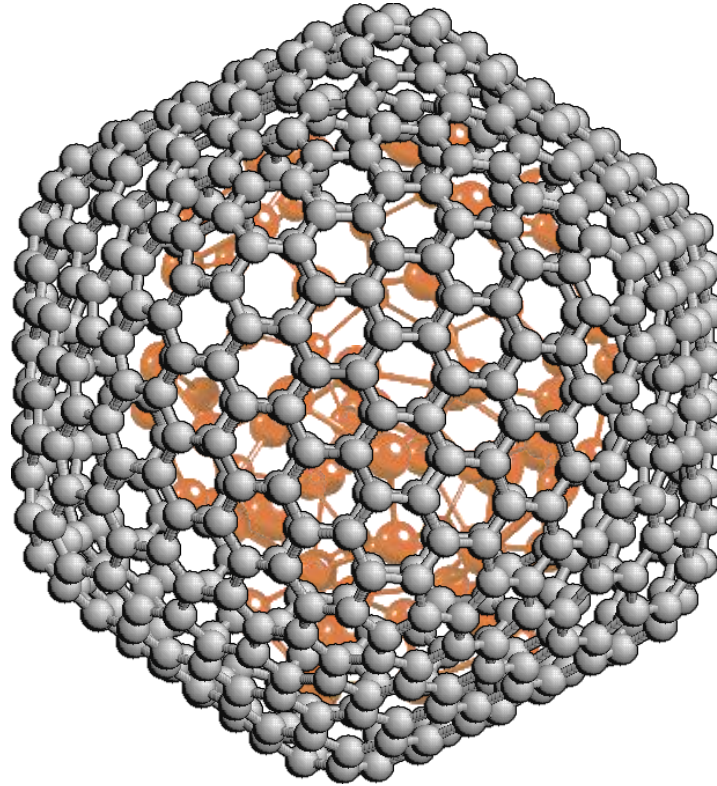
Proprietăți chimice ale fullerenelor



Toxic
Benzen
Tetraoxid de osmiu
Oxygen
Amoniac
Cianură de potasiu

Fulerenele pot reacționa cu diferiți compuși cum ar fi oxigenul, tetraoxidul de osmiu, amoniacul, benzenul sau cianura de potasiu.

Fulerene în fulerene



Oamenii de știință au propus crearea de fulerene în fulerene, care ar putea să aibă proprietăți deosebite. Până în acest moment, nu s-au putut obține astfel de structuri.

Fulere în spațiu



Bernard H. Foing



Pascale Ehrenfreund

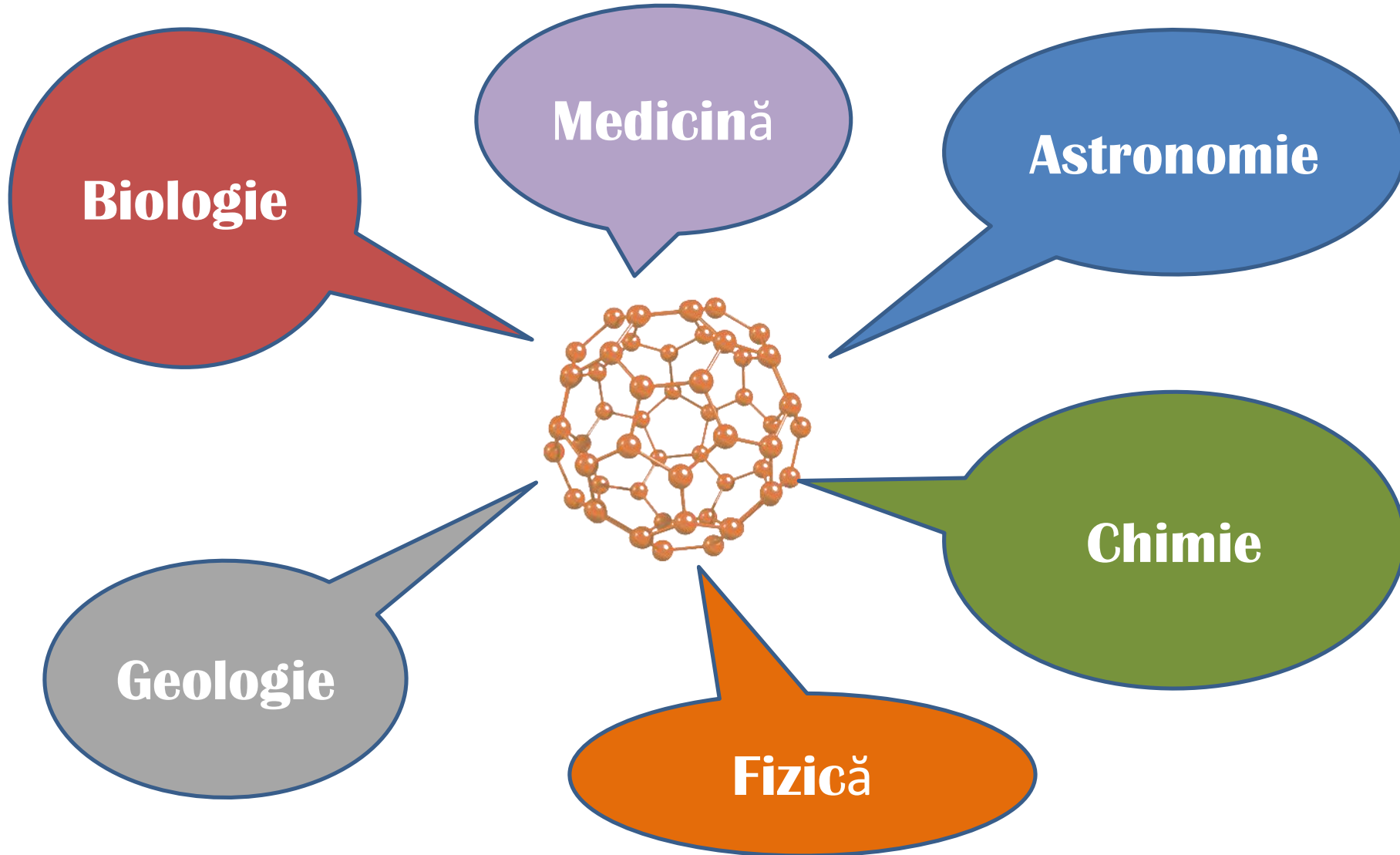
Oamenii de știință
Bernard Foing și Pascale
Ehrenfreund, folosind
telescopul Spitzer (NASA)
au făcut o descoperire,
neășteptată pentru mulți:
fulerenele există în spațiu!



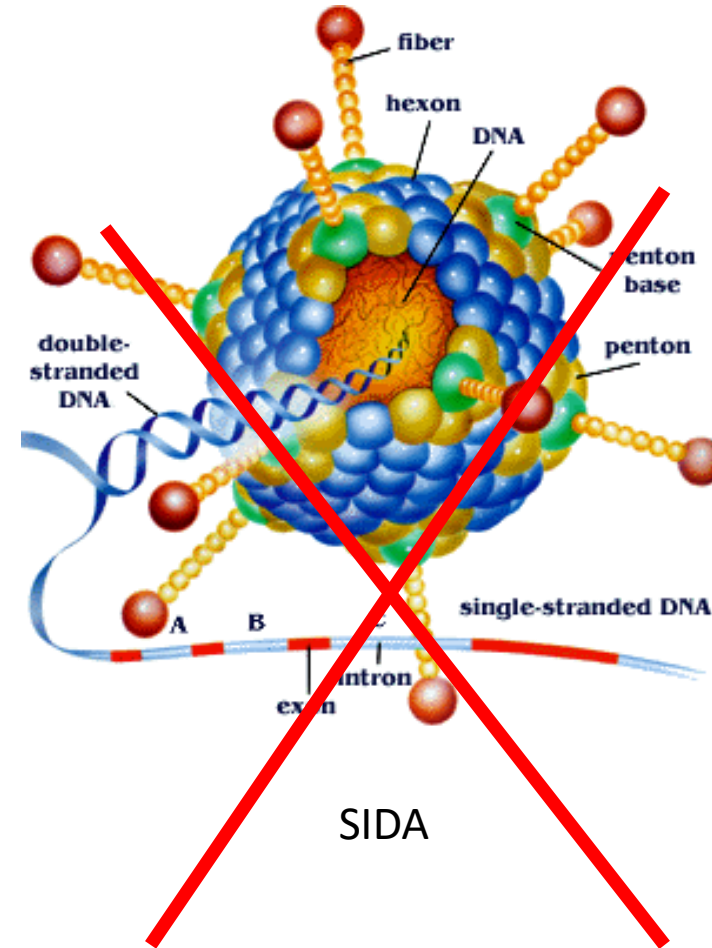
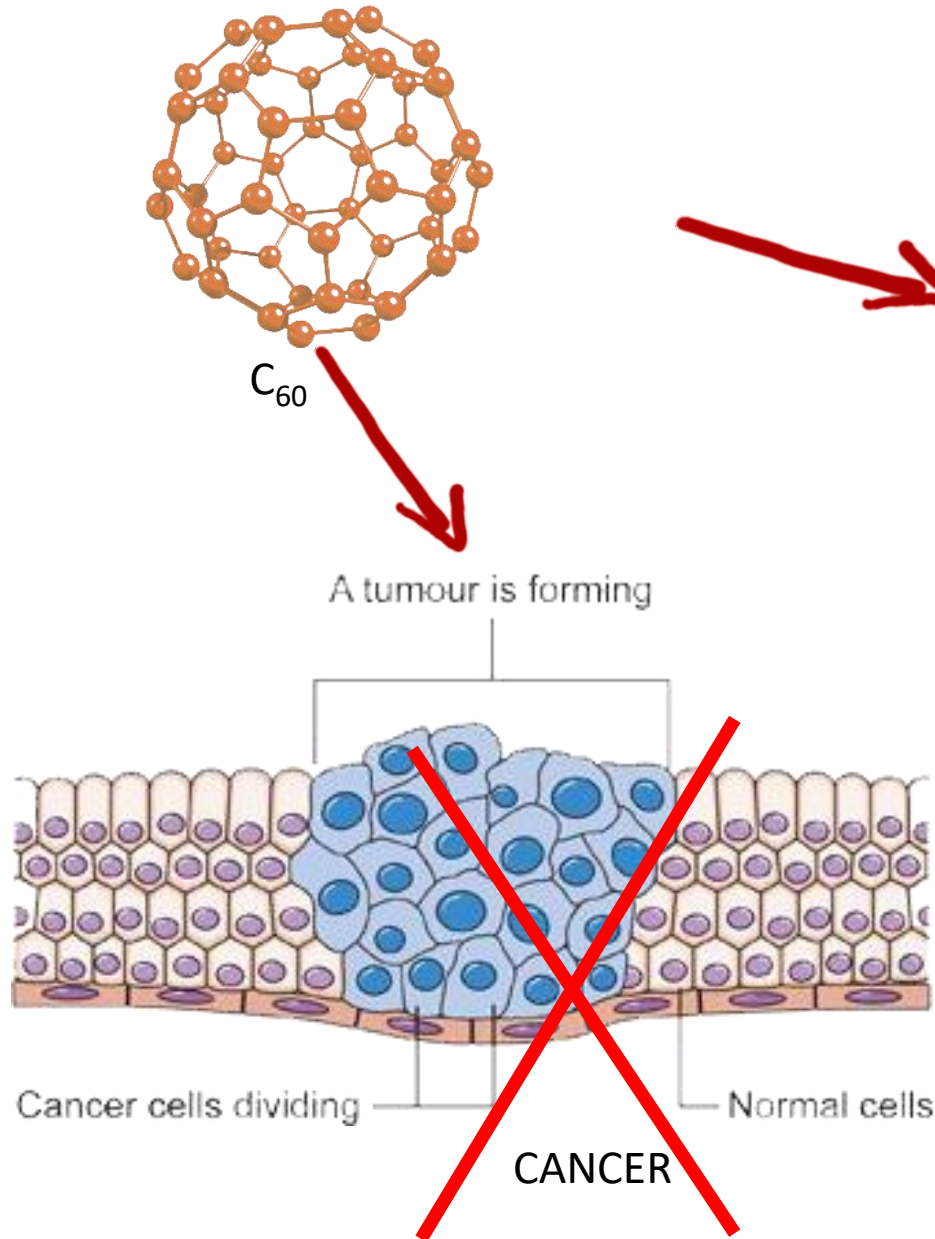
Nebula Tc1

Domenii de utilizare a fulleranelor

Deși fullerenele sunt cunoscute de puțin timp comparativ cu alte structuri chimice, sunt deja folosite în diverse domenii.



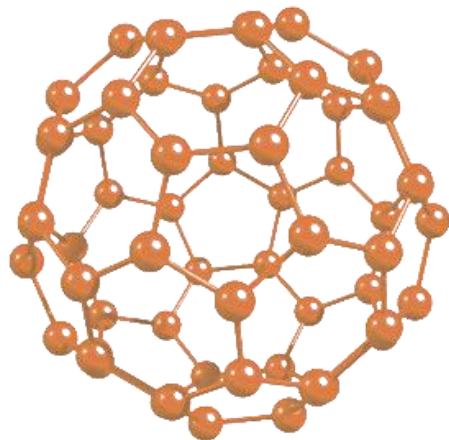
Fulere în medicină



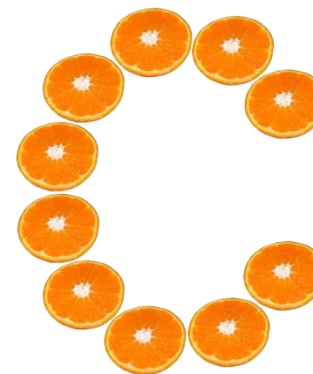
Studiile asupra fulerenelor nu se opresc. Recent, cercetătorii au descoperit că fulerenele pot ajuta la vindecarea bolnavilor de cancer și de SIDA. Deoarece testele sunt în curs este posibil ca, în viitor, aceste molecule să permită omenirii să uite de aceste boli grave.

Fulerele – antioxidanți

Studiile privind fulerenele în comparație cu diverși compuși necesari pentru organism, cum ar fi vitaminele, arată că fulerenele au o acțiune antioxidantă de 125 de ori mai puternică decât vitamina C.

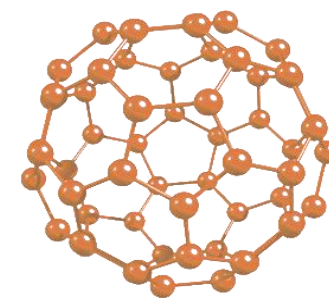
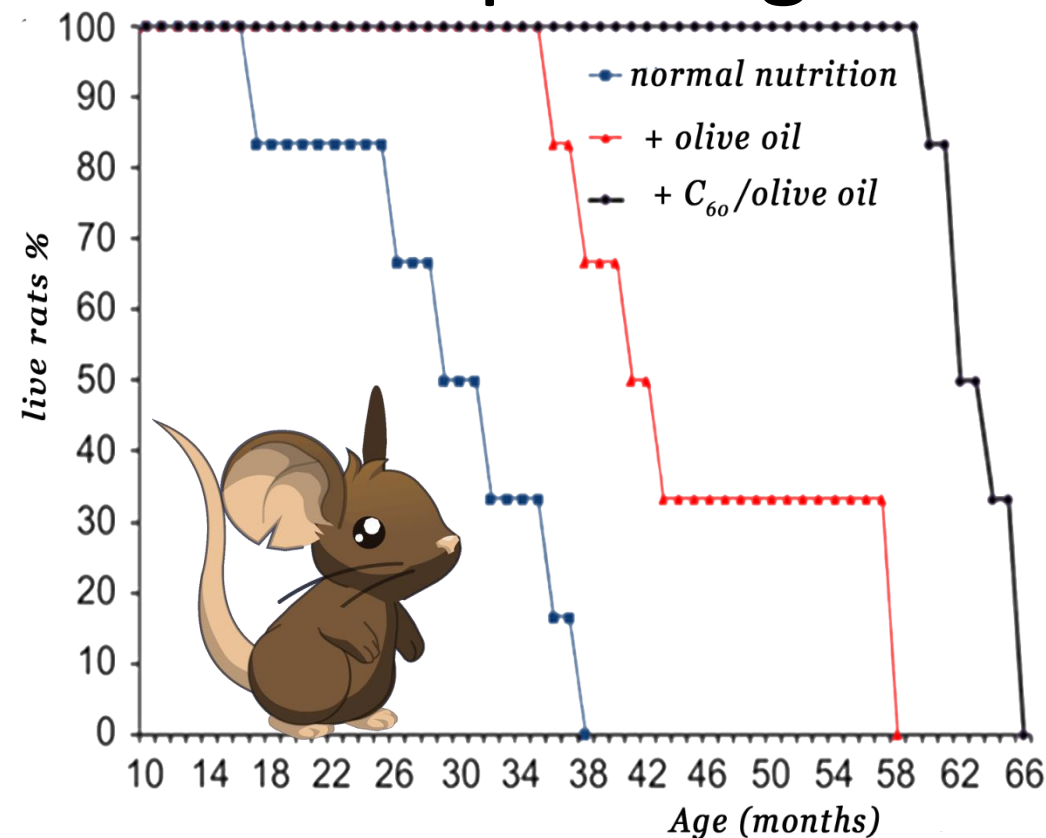


De 125 ori mai
puternice



VITAMIN

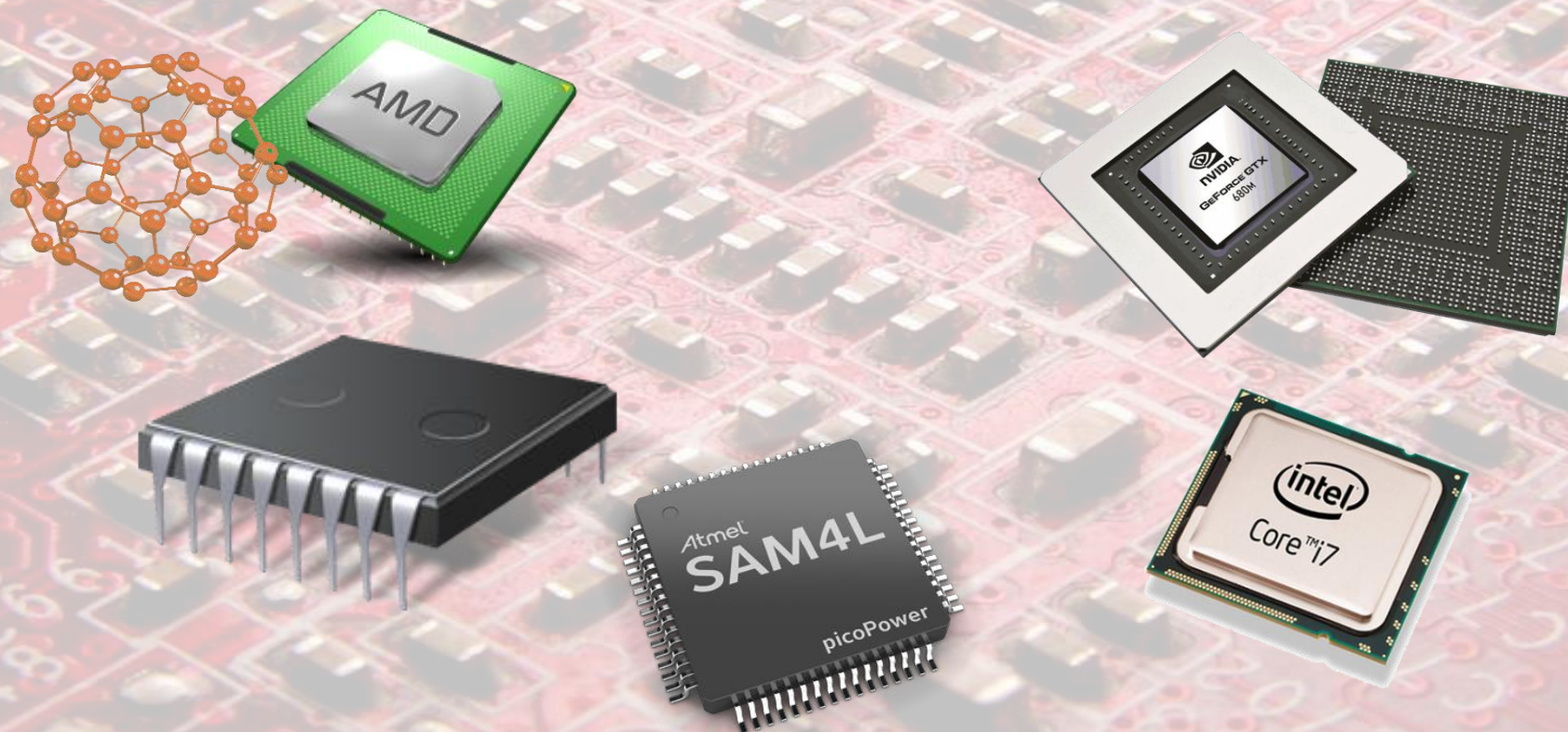
Fulerenele prelungesc viața



Vitamin A?

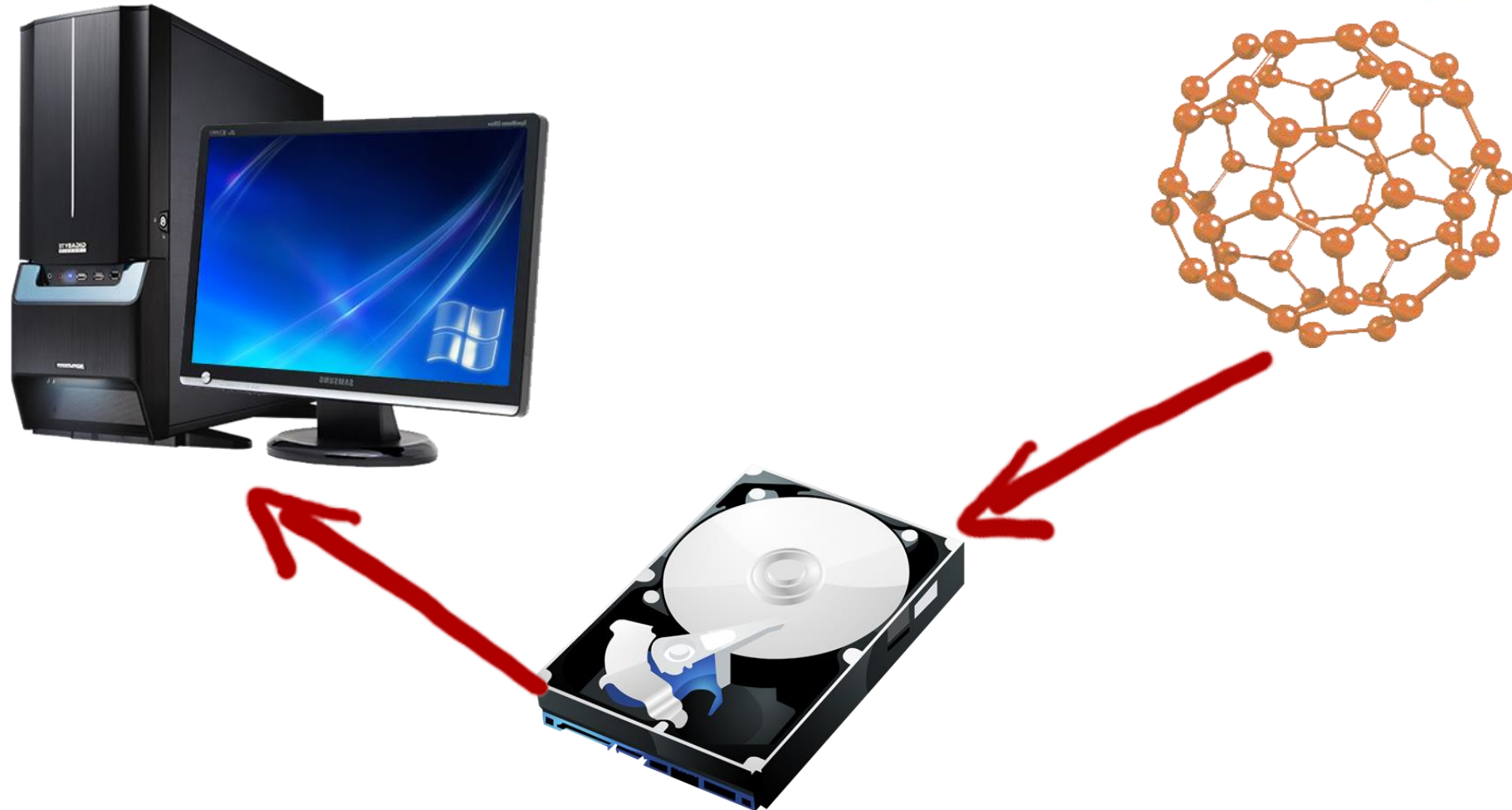
Fulerenele pot prelungi viața. Experimentele pe șoareci au arătat că șoarecii care au avut în alimentație adăugate ulei de măsline și fulerenele au trăit de aproape 2 ori mai mult decât șoarecii care au mâncat normal. Oamenii de știință cred că este posibil ca fulerenele să activeze vitamina A într-un mod neobișnuit.

Fulerenele în nanotehnologie



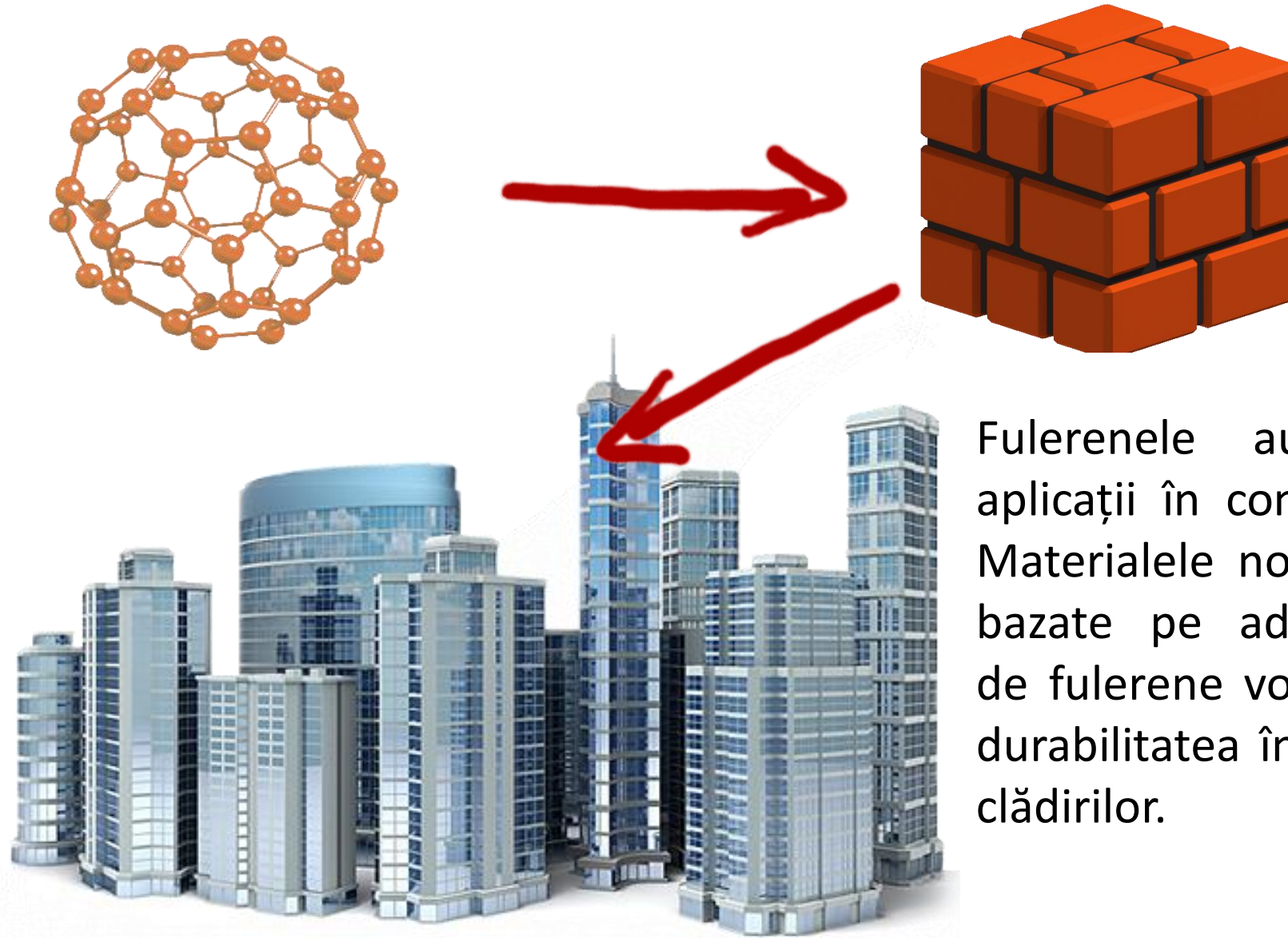
Nanotehnologia folosește fullerenele la fabricarea diferitelor cipuri și microcircuite. Companiile mari le-ar putea folosi pentru a crea echipamente de nouă generație.

Crearea de dispozitive cu capacitate mare și mai bune de stocare a informațiilor



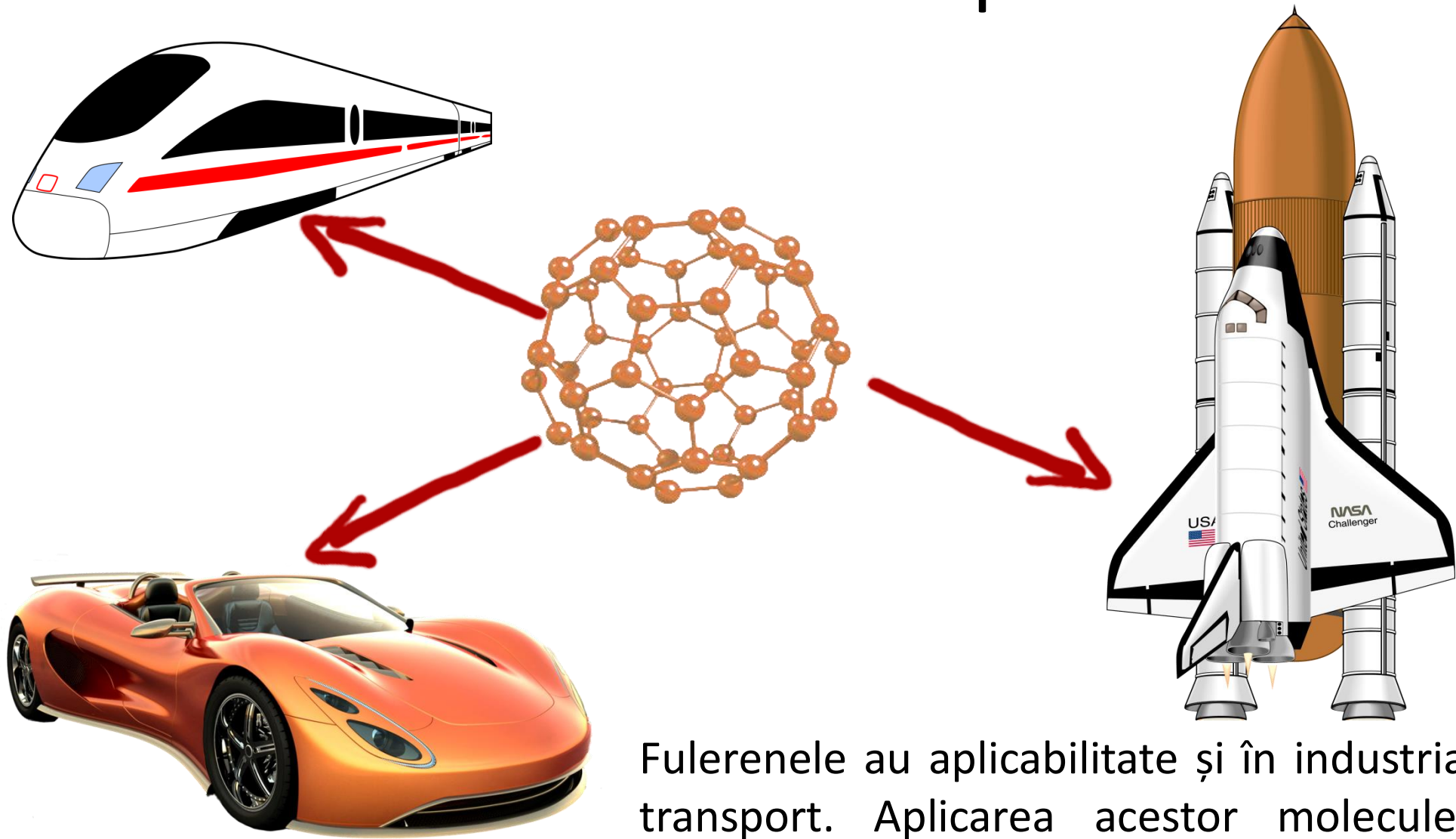
Fulerenele au intrat în domeniul tehnologiei informaționale. Se preconizează ca utilizarea fulerenelor pentru crearea de harddiscuri să conducă la dispozitive cu capacitate mare de stocare a informațiilor.

Materialle modificate de fulerene



Fulerenele au găsit aplicații în construcții. Materialele noi create bazate pe adăugarea de fulerene vor crește durabilitatea în timp a clădirilor.

Fulerenele în transport



Fulerenele au aplicabilitate și în industria de transport. Aplicarea acestor molecule în diverse aliaje ar putea diminua procesele de degradare a materialelor.

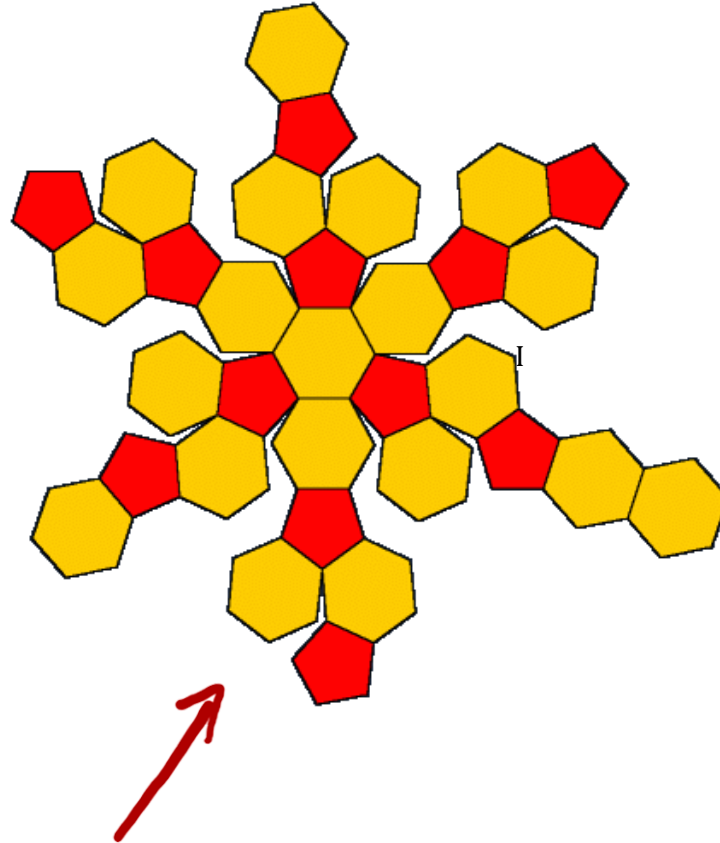
Materialle optice



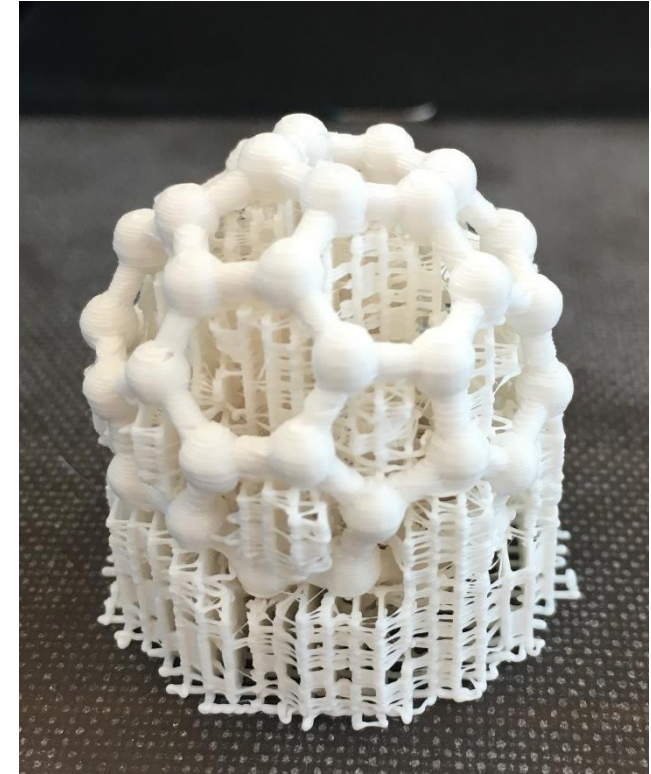
Dacă aveți ochelari de soare sau telescop este posibil ca acestea să conțină fulerene. În cazul ochelarilor de soare, fulerenele servesc la protejarea ochilor.

Fulerene

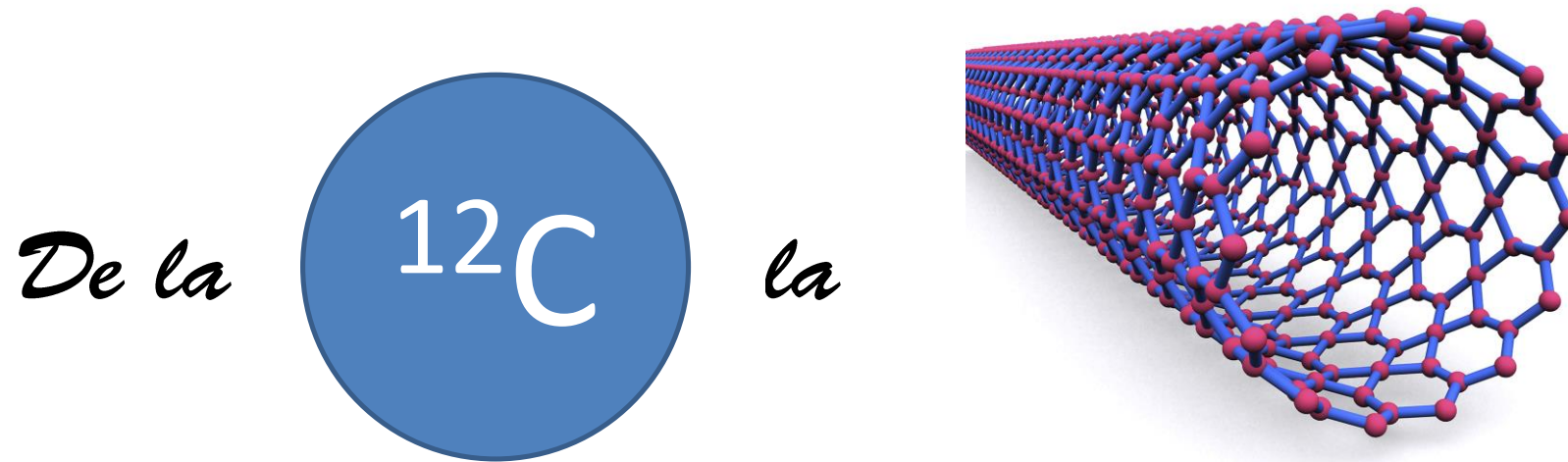
- Încercați să modelați pentru tipărire 3D structura unității fulerenelor C_{60} de forma unui dom geodezic (buckyball), în concordanță cu ceea ce ați învățat până acum despre această structură.
- Structura fulerenelor C_{60} conține 20 de hexagoane și 12 pentagoane de carbon legate între ele în coordonare. Fiecare pentagon de carbon este conectat la cinci hexagoane de carbon. Structura desfășurată este prezentată în dreapta.
- Dacă nu puteți face tipărirea 3D, o puteți realiza și 2D pe hârtie lucioasă, ca apoi să construiți modelul 3D prin împăturire.
- După tipărirea și obținerea modelului 3D a structurii fulerenelor C_{60} , analizați unghiurile și lungimea legăturilor și încercați să observați rigiditatea/flexibilitatea dată de structură.



Structura unității de fulerene C_{60}



Nanomateriale bazate e carbon



Nanotuburi

De la pânza de păianjen la nanotuburi?

Celor mai mulți dintre noi nu ne plac insectele precum păianjenii. Cu toate acestea, știm cu toții că aceștia au un talent uimitor: să producă pânze de păianjeni.

Păianjenii își construiesc pânza prin extrudarea unui fir de mătase de păianjen.

Rezistența la tracțiune a firului de pânză de păianjen este mai mare decât aceeași greutate a oțelului și are o elasticitate mult mai mare. Mătasea de păianjen este de cinci ori mai puternică decât oțelul! Nu este minunat?

Unele pânze de păianjen pot rezista chiar la vânturile ce au forța unui uragan!



Pânză de păianjen.



Rouă pe pânză de păianjen

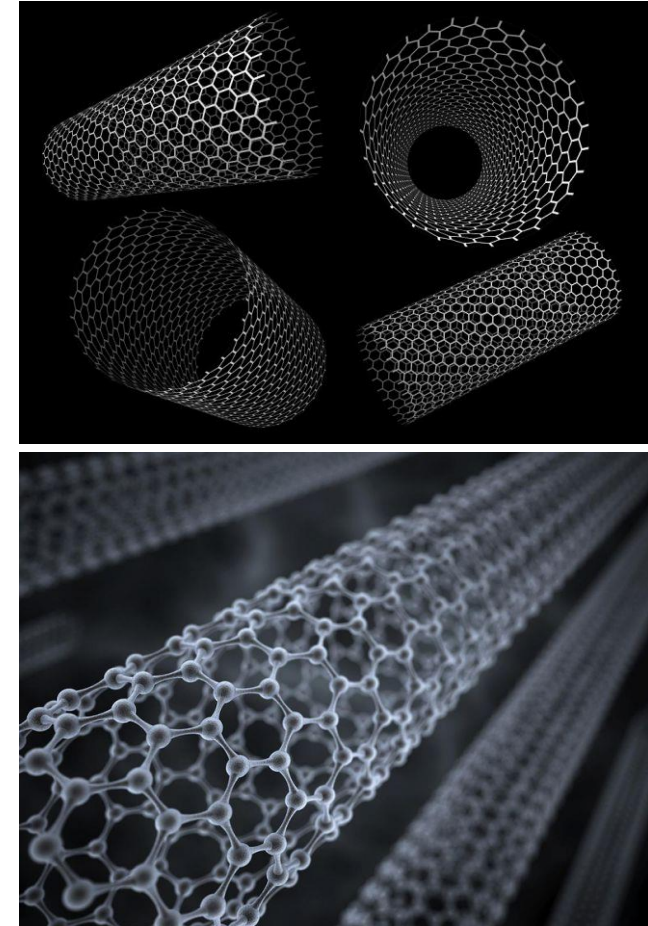
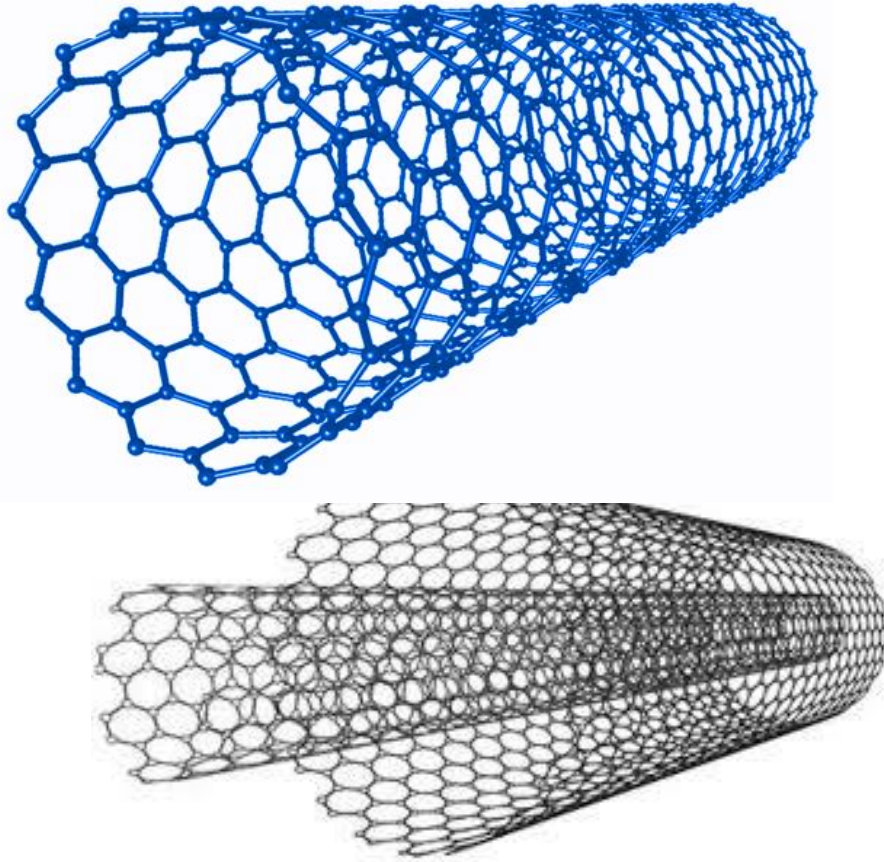
De la pânza de păianjen la nanotuburi?

La fel de bine ca pentru producătorii de filme, proprietățile uimitoare ale pânzei de păianjen au fost de asemenea o minune și pentru oamenii de știință.

Inițial oamenii de știință au investigat proprietățile pânzei de păianjen. Apoi au decis să imite pânza de păianjen. Au aflat că cele mai potrivite materiale pentru a imita mătasea păianjenilor sunt „nanotuburile din carbon”.

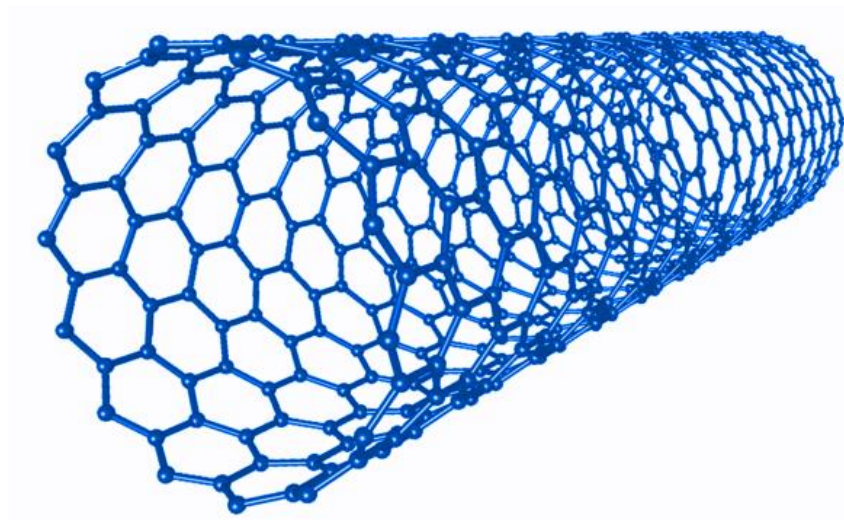


Ce sunt nanotuburile?



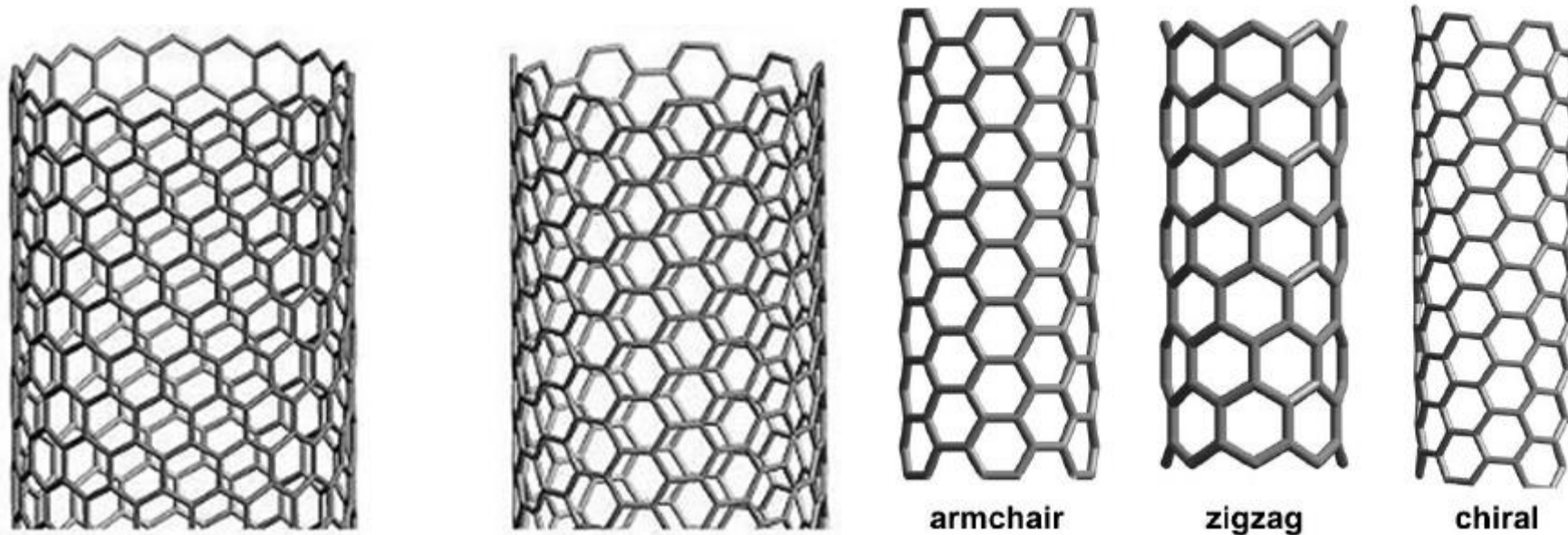
Nanotuburile de carbon sunt forme alternative sau “alotropi” ai carbonului, la fel ca și diamantul și grafenului. Nanotuburile au o formă cilindrică.

Ce sunt nanotuburile?



Au fost descoperite de omul de știință japonez Sumio Iijima în 1991.

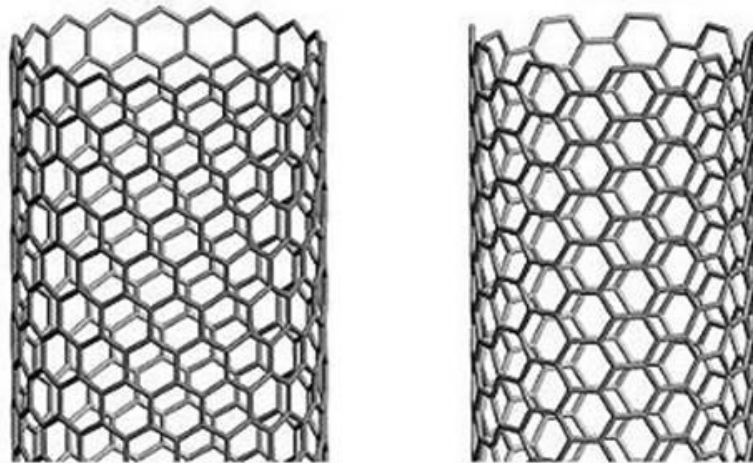
Structura nanotuburilor



- Natura specială a carbonului se combină cu perfecțiunea moleculară a buckytuburilor (nanotuburi de carbon cu un singur perete) pentru a le oferi proprietăți deosebite, cum ar fi conductivitatea electrică și termică, rezistența, rigiditatea și duritatea.
- Niciun alt element din tabelul periodic nu se leagă într-o rețea extinsă cu rezistența legăturii carbon-carbon.
- Pi-electronul delocalizat donat de fiecare atom este liber să se deplaseze în jurul întregii structuri, în loc să rămână cu atomul său donator, dând naștere primei molecule cu conductivitate electrică de tip metalic.
- Vibrațiile de înaltă frecvență a legăturii carbon-carbon asigură o conductivitate termică intrinsecă mai mare decât chiar și cea a diamantului.

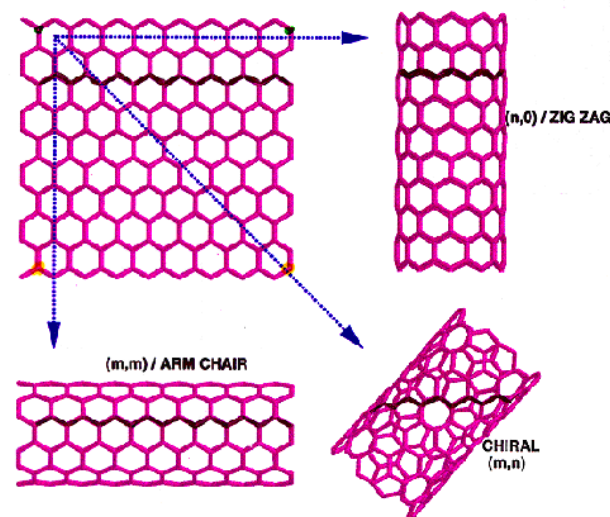
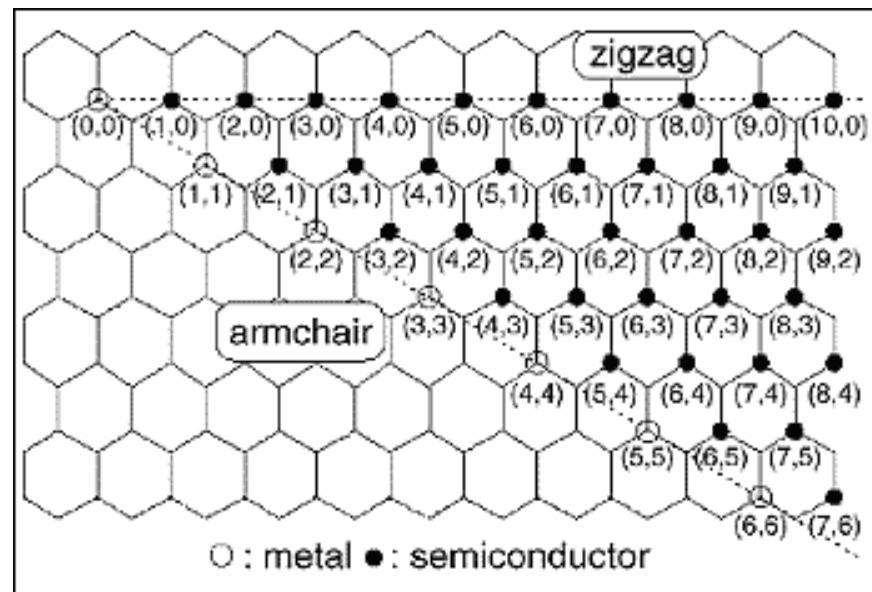
Structuri de Buckytuburi

- Buckytuburile sunt nanotuburi de carbon cu un singur perete, în care un singur strat de grafit - grafen - este rulat într-un tub fără sudură.
- Grafenul este format dintr-o structură hexagonală precum plasa de sârmă. Rularea grafenului sau plasei de sârmă într-un tub fără sudură poate fi realizată în diferite moduri.
- De exemplu, legăturile carbon-carbon (firele din plasa de sârmă) pot fi paralele sau perpendiculare pe axa tubului, rezultând un tub în care hexagonii înconjoară tubul ca o centură, dar sunt orientați diferit.
- În mod alternativ, legăturile carbon-carbon ar putea să nu fie paralele sau perpendiculare, caz în care hexagonele vor fi deplasate în spirală în jurul tubului cu unghi în funcție de modul în care este învelit tubul. Figura de mai jos ilustrează aceste aspecte:



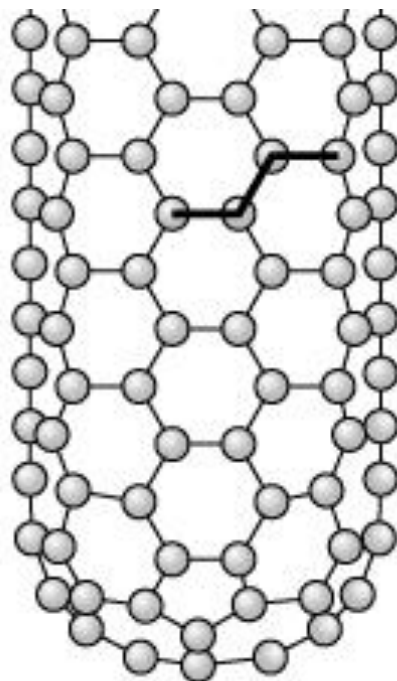
Convenție de nume

- Există o convenție de etichetare simplă pentru a distinge unele de altele tuburile înfășurate diferit.
- Alocarea specifică numărul de vectori unitate necesari pentru conectarea a doi atomi, în rețeaua plană hexagonală pentru a forma un tub fără sudură.
- Aceste numere specifică un “vector” pentru alocare, adesea exprimat ca (m,n) , unde m și n sunt numere întregi.
- Aceste numere constituie un “nume” unic pentru un tub. Orice tub numit $(n,0)$ are legături carbon-carbon ce sunt paralele cu axa tubului și formează, la un capăt, un model în “zig-zag”; aceste tuburi sunt numite tuburi în “zig-zag”.

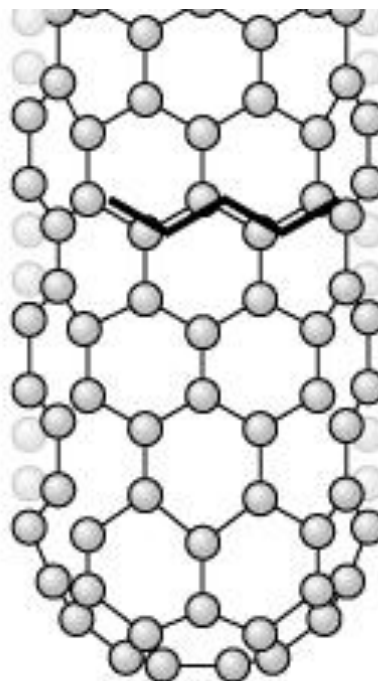


Convenție de nume

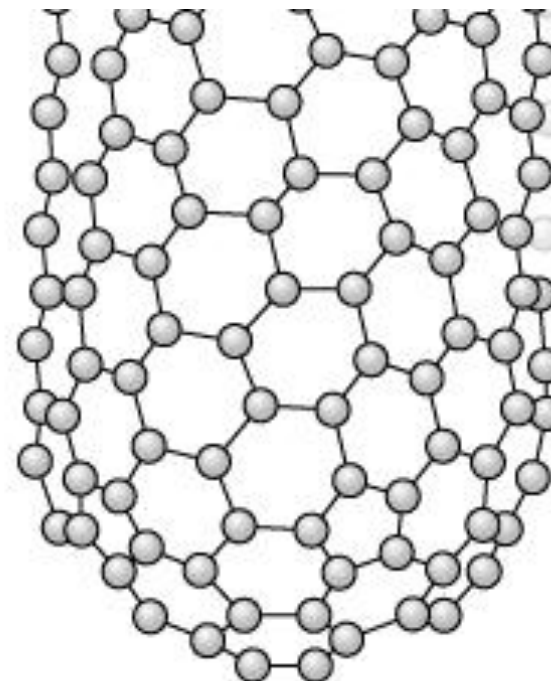
- Tuburile numite (n,n) , în care cei doi întregi sunt egali, au legături carbon-carbon ce sunt perpendiculare pe axa tubului și sunt adesea numite tuburi “**armchair**” (**fotoliu**). Aceste două tipuri de bază sunt **achirale**, adică nu au o imagine oglindă distinctă, cum ar fi stânga și dreapta.
- Toate celelalte tuburi, numite (m,n) , în care m nu e egal cu n , și nici nu sunt nule, sunt **chirale**, și au variante stânga-dreapta.



Armchair



Zigzag



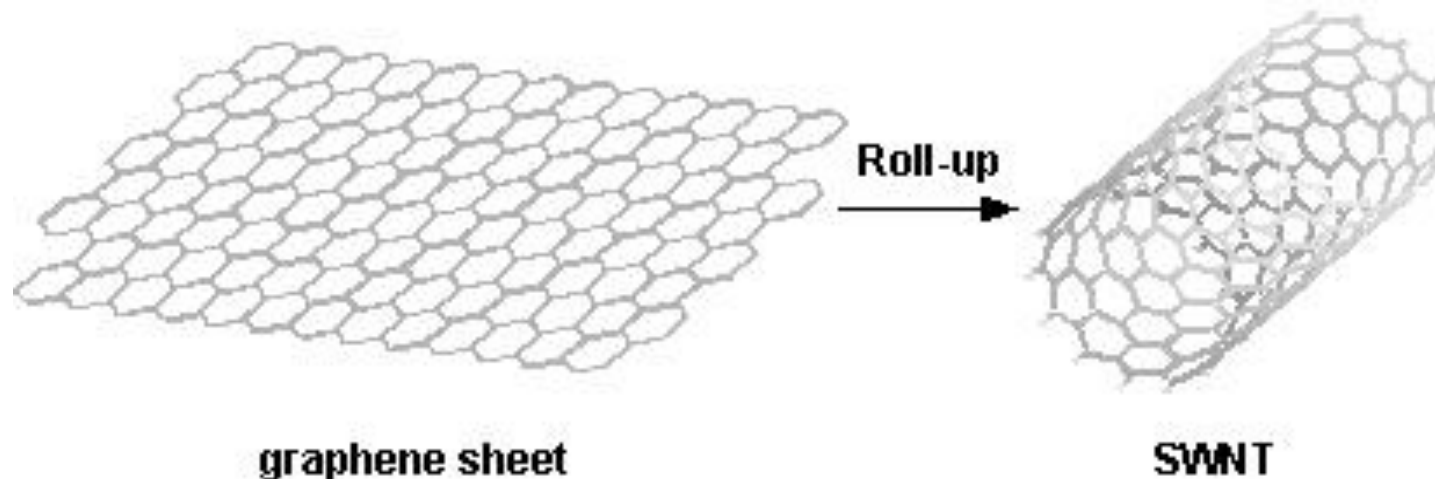
Chiral

Structuri de nanotuburi de carbon (CNTs)

- CNTs sunt clasificate ca Nanotuburi cu un singur perete (SWCNT) și Nanotuburi cu pereți multipli (MWCNTs).

Nanotuburi cu un singur perete (SWCNTs):

Când o foaie de grafen este rulată, se formează un CNT cu un singur perete.



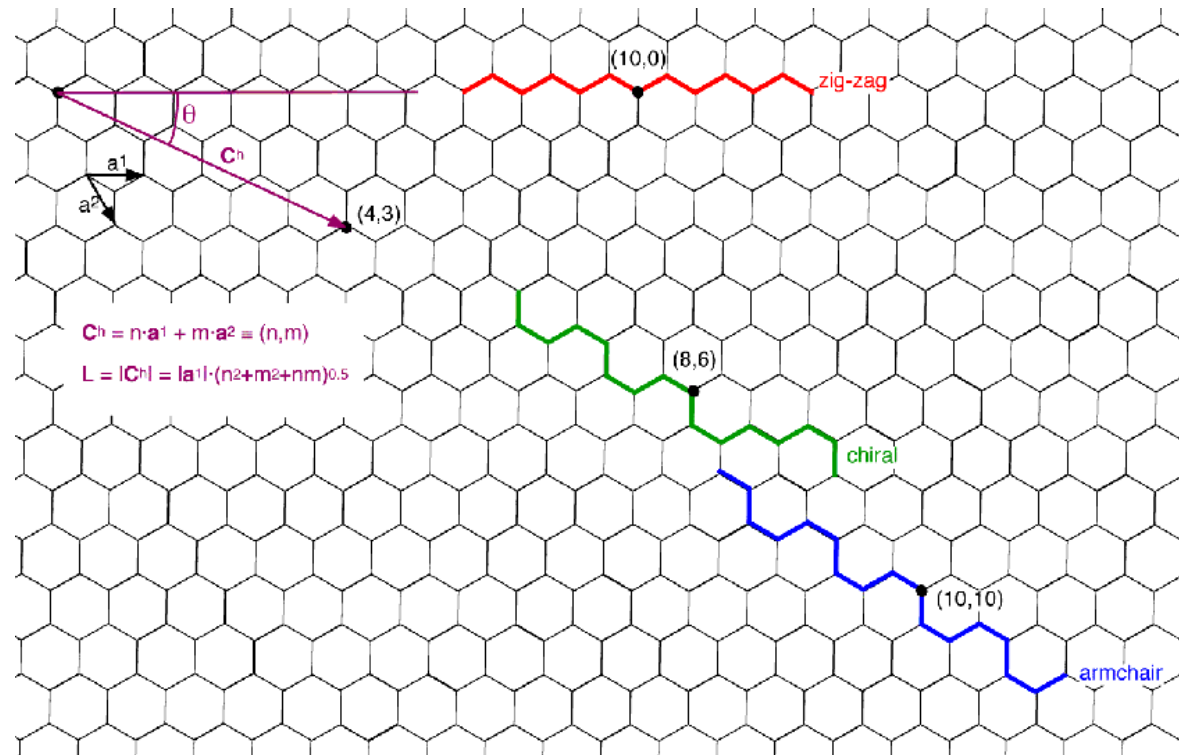
Nanotub cu un singur perete.⁽³⁾ (Copyright Professor Charles M. Lieber Group)

Foile de grafen sunt rulate la unghiuri discrete, specifice. Combinația dintre unghiul de rotire și rază determină proprietățile CNTs. Produsele sunt grupate în categoriile: “Armchair”, “Zigzag”, și “Chiral”.

Structuri de nanotuburi de carbon

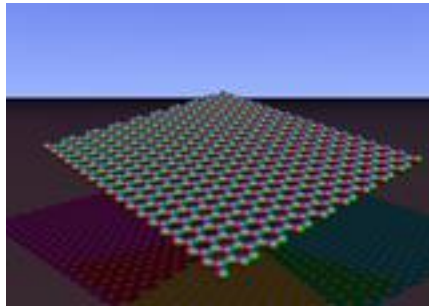
Nanotuburi de carbon cu un singur perete Armchair și Zigzag:

Dacă foaia de grafen este rulată de-a lungul unei axe de simetrie, rezultatul poate fi un nanotub armchair sau unul zigzag.

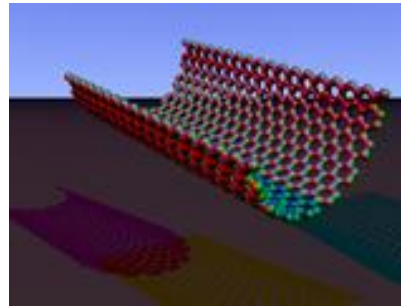


Axa de rulare a foii de grafen.⁽⁴⁾

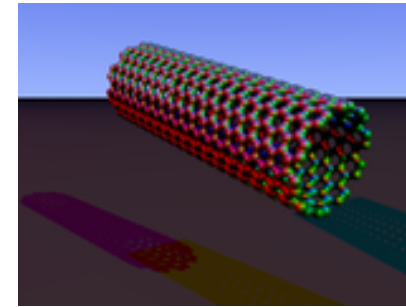
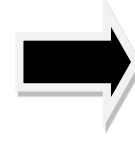
Structuri de nanotuburi de carbon



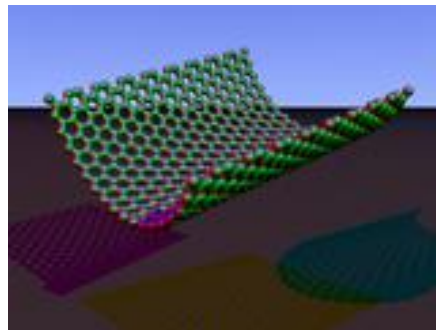
Nanobandă de grafen



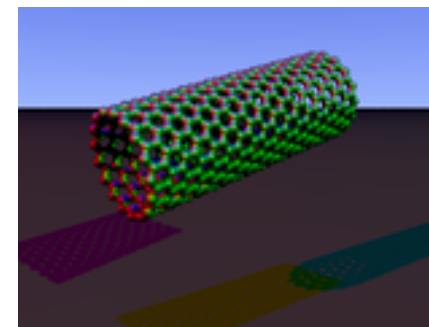
SWCNTs Armchair.⁽⁵⁾



Armchair



SWCNTs Zigzag ⁽⁵⁾

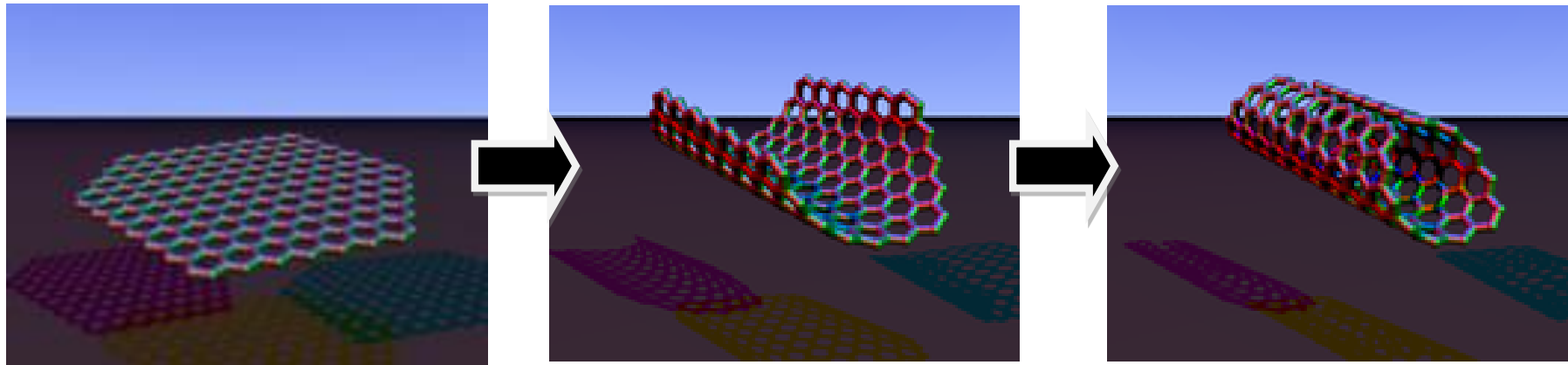


Zigzag

Structuri de nanotuburi de carbon

Nanotuburi de carbon cu un singur perete Chiral:

E posibilă rularea foii într-o direcție diferită de axa de simetrie: se obține un nanotub chiral, în care atomii echivalenți din fiecare celulă unitate sunt aliniați în spirală.



Nanobandă de grafen

SWCNTs Chiral.⁽⁵⁾

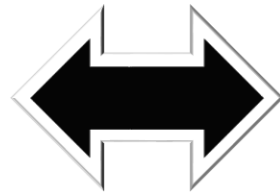
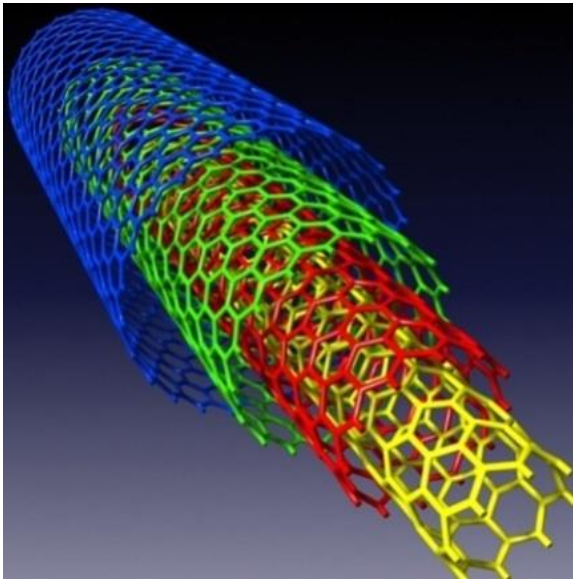
Chiral

Structuri de nanotuburi de carbon

Nanotuburi de carbon cu mai multe straturi:

Nanotuburi de carbon cu mai multe straturi (Multi-Walled Carbon Nanotubes - MWCNT) constau în mai multe straturi de grafen rulate (tuburi concentrice).

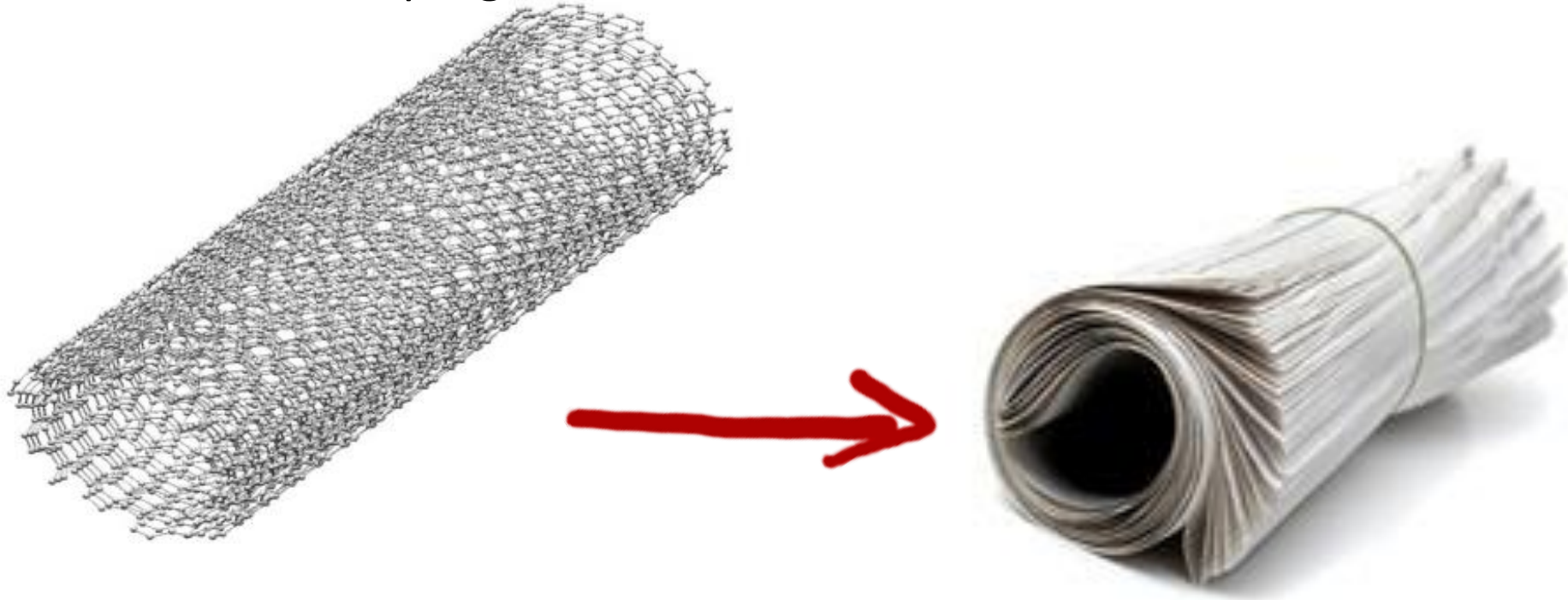
consist of multiple rolled layers (concentric tubes) of graphene. Există două modele care pot fi utilizate pentru a descrie structurile nanotuburilor cu mai multe straturi. În modelul păpușii rusești, foile de grafit sunt aranjate în cilindri concentrici.



MWCNT – Modelul păpușii rusești (MWCNTs)⁽⁶⁾

Structuri de nanotuburi de carbon

În modelul *pergament*, o singură foaie de grafit e rulată în jurul său, semănând cu un pergament sau un ziar rulat.



MWCNT – Modelul pergament (en. Parchment).

Proprietățile diferitelor tipuri de nanotuburi

Rezistența legăturii dintre atomii de carbon, conferă nanotuburilor de carbon proprietăți mecanice uimitoare.

Conform Young Modulus (o scală de măsurare a rigidității), rigiditatea CNT-urilor este de 5 ori mai mare decât cea a oțelului.

Nanotuburile pot fi conductoare electrice sau semiconductoare, în funcție de elicitatea lor, fiind folosite pentru crearea de cabluri la scară nano și componente electrice. Aceste fibre unidimensionale prezintă o conductibilitate electrică la fel de mare ca cea a cuprului, o conductivitate termică la fel de mare ca a diamantului, o rezistență de 100 de ori mai mare decât a oțelului la o șesime din greutatea acestuia și o rezistență la întindere mare. Toate nanotuburile de carbon armchair prezintă proprietăți metalice și sunt semiconductori electrice.

Proprietățile diferitelor tipuri de nanotuburi

Nanotuburile de carbon prezintă o serie de proprietăți extraordinare, printre care se numără: conductivitate electrică ridicată, conductivitate termică ridicată, rezistență mecanică, rezistivitate / stabilitate termică

Dimensiune

- Diametru SWNT 0.6-1.8 nm

Conductivitatea căldurii

- 6000 W/m K la temperatura camerei

Stabilitate termică

- În vid până la 28000C, în aer până la 10000C, în funcție de puritate

Densitate

- 1,33 – 1,4 g/cm³

Rezistență la tracțiune

- 45 Milliarden Pa

Flexibilitate

- Poate fi distorsionat semnificativ fără deteriorare și revine la forma anterioară. Proprietățile electrice se modifică.

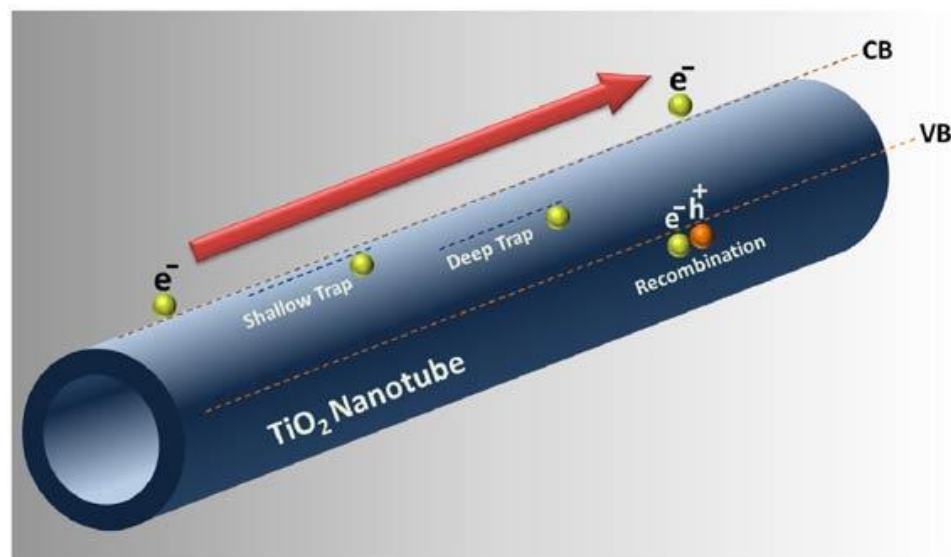
Emisii de câmp

- Materialele cu emisie de lumină pot fi deja activate la 1-3 V dacă distanța electrodului este de 1 mm

Proprietățile diferitelor tipuri de nanotuburi

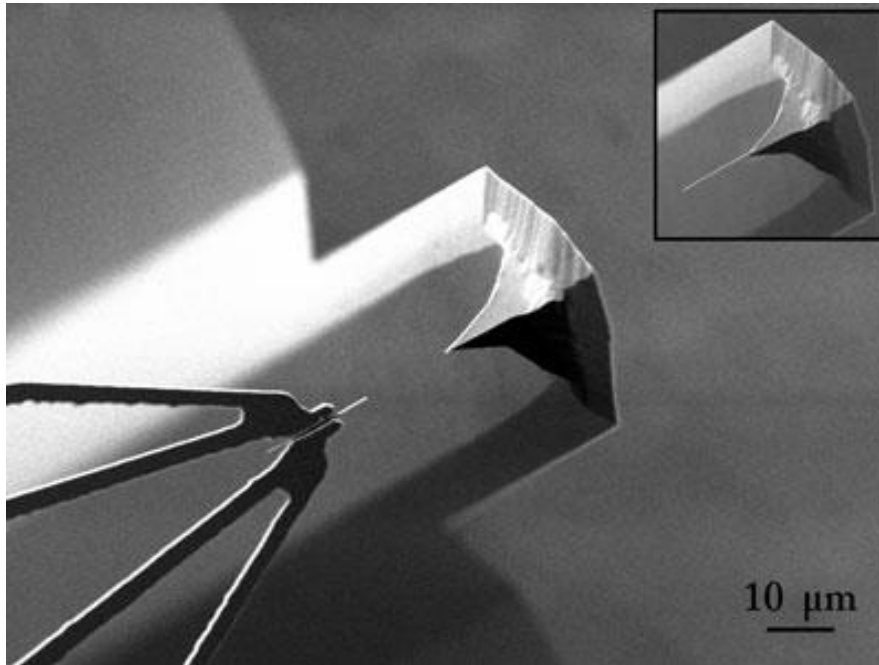
În majoritatea aspectelor, proprietățile tuburilor de diferite tipuri sunt în esență aceleași. Excepție o face conductivitatea lor electrică, unde aceste diferențe structurale subtile ale diferitelor nanotuburi pot avea efecte profunde. De exemplu, toate tuburile armchair - adică, unde $m = n$ - au o conductivitate electrică cu adevărat metalică.

Ei transportă electroni de-a lungul axei tubului la fel ca și metalele, fără un atom de metal în structura lor! Acest comportament într-o moleculă nu are precedent. În schimb, celelalte tuburi sunt în mod intrinsec semiconductoare, fie cu un interval de bandă foarte mic de câțiva meV, fie cu intervale de bandă moderate de ordinul 1 eV. Regula aici este că acele tuburi în care $(n-m)$ este un multiplu de 3 sunt cu interval mic, în timp ce celelalte sunt cu intervale medii.

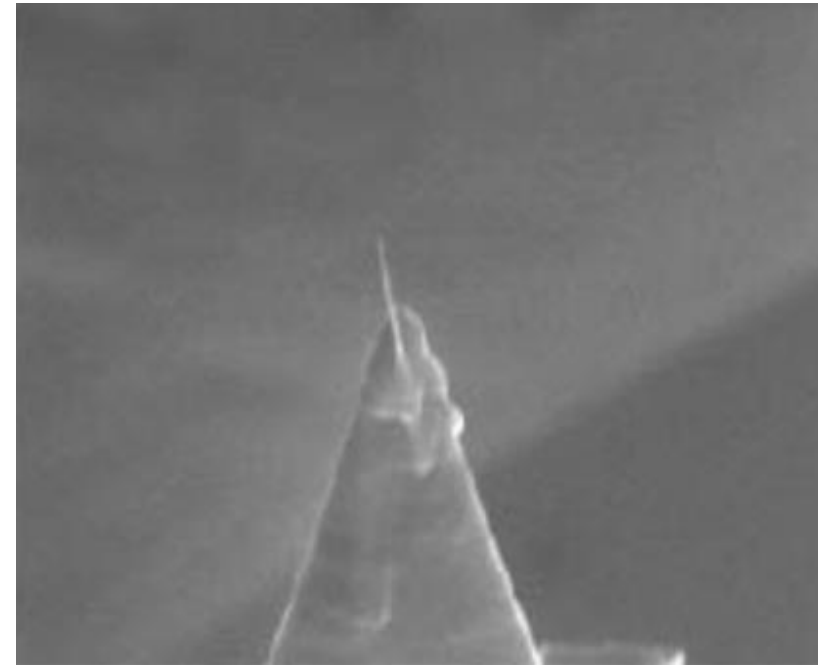


Domenii de aplicabilitate ale CNTs

Nanotuburile de carbon au multe proprietăți unice care le fac probe AFM ideale.



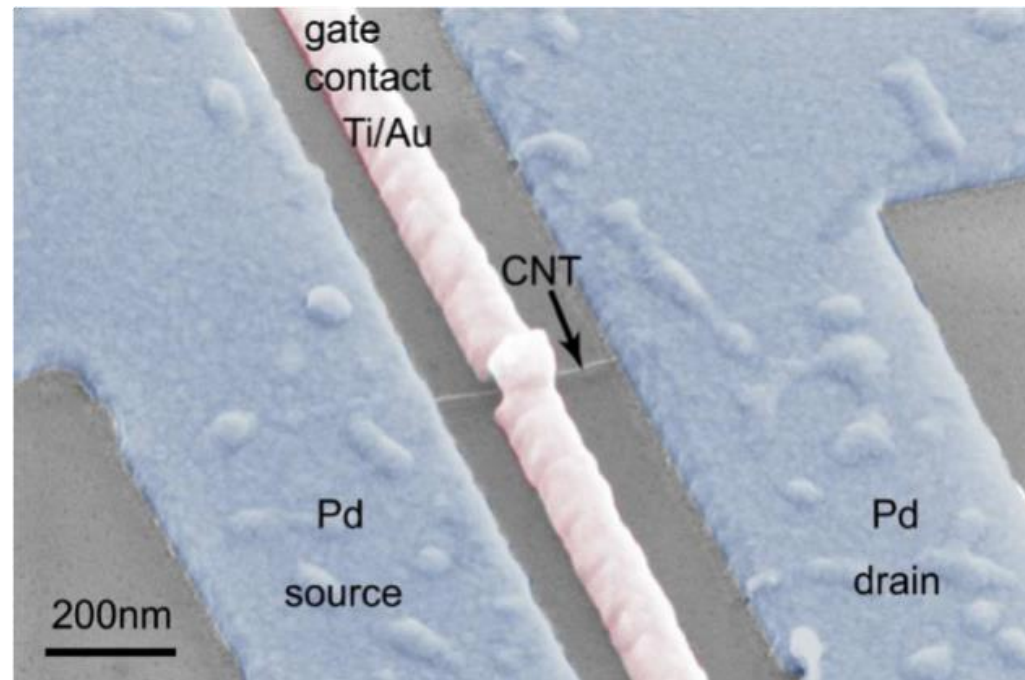
Super-vârfuri AFM îmbunătățite cu CNT
(Image: ÖzlemSardan, DTU).⁽⁷⁾



Vârf de probă AFM.⁽⁸⁾

Domenii de aplicabilitate ale CNTs

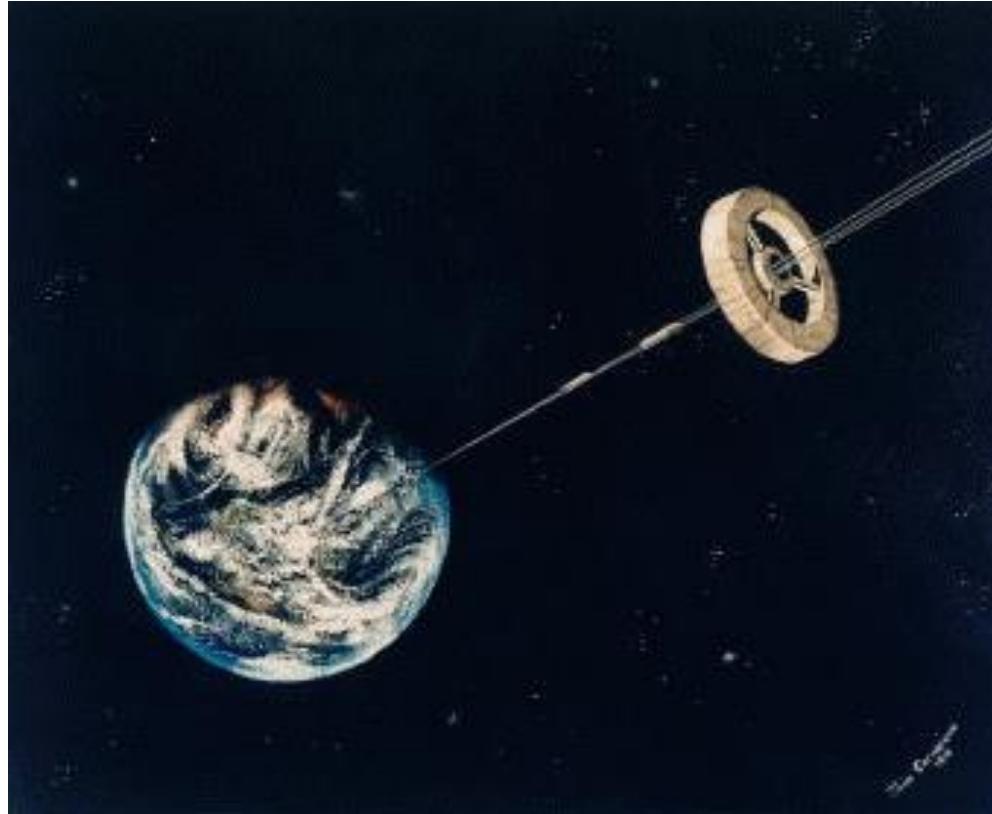
Tranzistoarele din nanotuburi de carbon exploatează faptul că nanotuburile la scară nm sunt fire moleculare gata fabricate ce pot fi transformate într-o stare conducătoare, semiconductoare sau izolatoare, ceea ce le face valoroase pentru proiectarea viitoare a nanocomputerelor.



CNTs folosite în circuite.⁽⁹⁾

Domenii de aplicabilitate ale CNTs

Nanotuburile de carbon sunt destul de populare în acest moment datorită posibilelor aplicații viitoare în domeniile electric, termic și chimic. CNTs sunt suficient de dure pentru a fi folosite în lifturi spațiale și ca material protector pentru conductele sub apă, la mare adâncime.



Lift spațial⁽¹⁰⁾

Domenii de aplicabilitate ale CNTs

Proprietățile mecanice și electrice fascinante ale nanotuburilor de carbon pot fi exploatate în multe aplicații, care ar putea include vehicule ușoare, vehicule puternice, corpuri de aeronave cu proprietăți de monitorizare a sănătății la fața locului și de auto-vindecare, aeronave superioare sau discuri de frână din compozit carbon-carbon care ar putea disipa mai eficientă căldura, parbrize rezistente și interactive cu proprietăți de degivrare.

Chiar și câteva procente de nanotuburi de carbon adăugate în matricea polimerică ar putea face ca polimerii ne conductori să conducă electricitatea și să rezolve multe probleme cu electricitatea statică care poate produce scântei și poate conduce la un incendiu într-un vehicul.

Nanotuburile de carbon sunt produse folosind gaze și catalizatori de hidrocarburi în condiții similare cu cele existente într-un sistem de evacuare a unui vehiculului. Ar putea fi posibilă producerea nanotuburilor de carbon în sistemul de evacuare a gazelor a unui vehicul folosind catalizatori și astfel reducând emisiile de gaze cu efect de seră.

Carcasa inteligentă din fibră de carbon / nanotub de carbon va scădea greutatea mașinii și va îmbunătăți, de asemenea, performanța. De asemenea, carcasele ar putea fi infuzate cu epoxid de nanotub de carbon și acest lucru va oferi carcasei proprietăți structurale și senzitive mai bune.

Materialele compozite din nanotuburi de carbon pot fi utilizate pentru geamuri, parbrize etc. Acest lucru va adăuga proprietăți bune de conductivitate electrică și va permite conectarea parbrizului și a geamurilor la un încălzitor și mașina să se dezghețe ușor și rapid.

Nanotuburile de carbon utilizate în MMC ar putea face ca un motor să cântărească mai puțin și, de asemenea, va îmbunătăți proprietățile structurale. Nanomaterialele de carbon ar putea fi, de asemenea, utilizate în pilele de combustibil și baterile pentru mașinile hibride și cele alimentate cu energie alternativă.

Materiale compozite de nanotuburi de carbon carbon-carbon au fost deja dezvoltate pentru aplicații în sisteme de frânare în industria aerospațială. Aceste sisteme de frânare presupun o greutate redusă și performanțe îmbunătățite.

Un manometru cu nanotuburi de carbon ar putea fi instalat pentru a măsura presiunea aerului în anvelope. Indicatorul poate fi foarte precis datorită proprietăților electrice și mecanice unice ale nanomaterialelor.



Aplicații în transporturi ale nanomaterialelor de carbon

Domenii de aplicabilitate ale CNTs

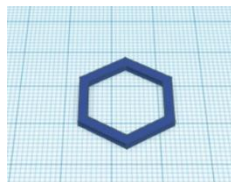
Conductivitatea într-o aripă din nanotuburi de carbon a unei aeronave, ar putea asigura protecția împotriva înghețului și a iluminării cu reducerea greutății. Nanotuburile ar putea îmbunătăți rezistența carcasei unei aeronave sau a unui vehicul, ar putea reduce greutatea și ar putea face ca vehiculele militare sau avioanele militare să fie invizibile electromagnetic. Nanotuburile de carbon și nanofibrele ar putea fi adăugate la metale pentru a îmbunătăți proprietățile și a face motoare mai ușoare, ar putea fi utilizate la anvelope, în loc de negru de fum, pentru a îmbunătăți rezistența în timp și pentru a asigura detectarea presiunii la fața locului.



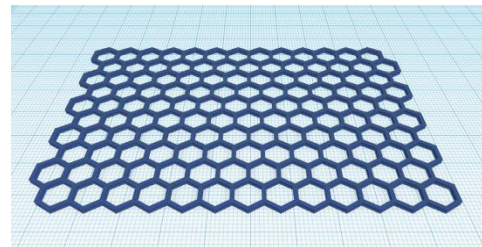
Aplicații în transporturi ale nanomaterialelor de carbon

Obținerea propriului model de nanotuburi

- Pornind de la unitatea hexagonală, încercați modelarea pentru tipărirea 3D a unității structurale a grafenului, în concordanță cu cele învățate despre unghiurile dintre atomi și lungimea legăturilor.

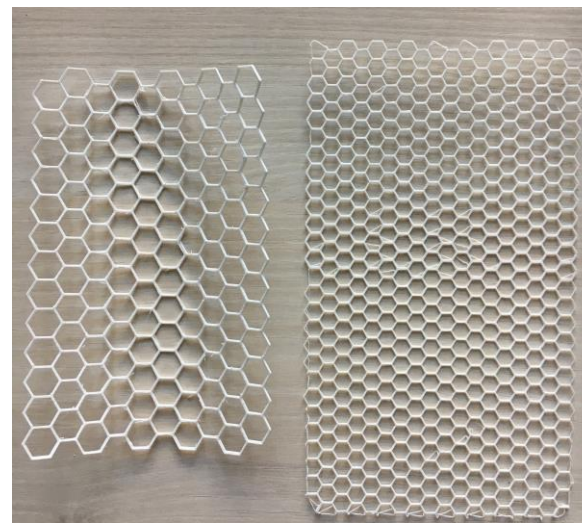
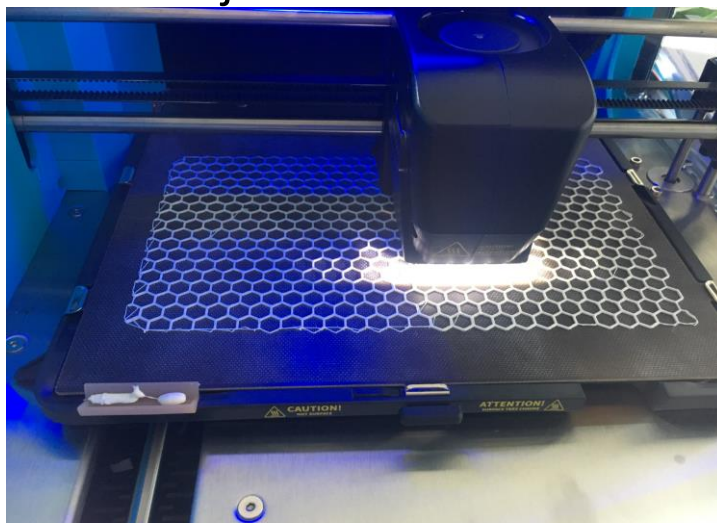


Unitatea hexagonală



Structura grafenului

- Tipăriți modelul de grafen creat folosind o imprimantă 3d. Ar trebui să obțineți obiecte asemănătoare celor din imaginile de mai jos. :



Obținerea propriului model de nanotuburi

- După tipărire, testați flexibilitatea structurii. Observați diferența mare dintre această structură și cea a diamantului? Gândiți-vă la conexiunile dintre structură și proprietăți!

