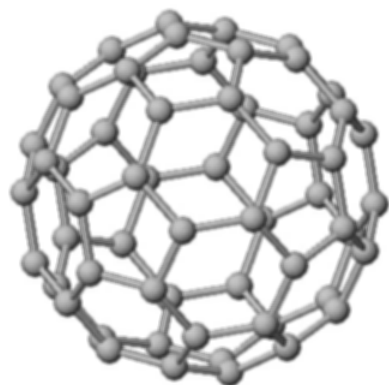
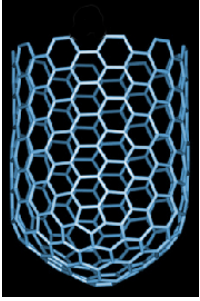


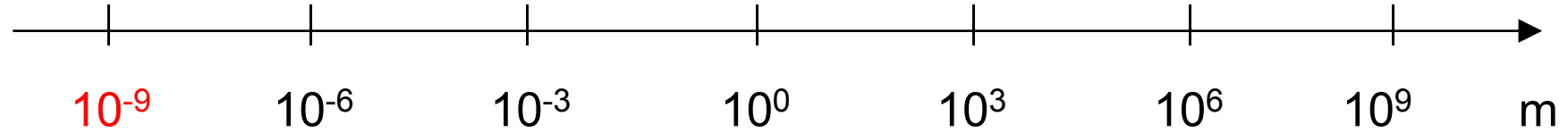
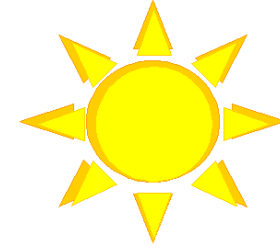
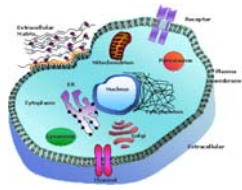
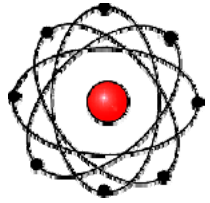
Nanokarbon: Xassələri və Tətbiq sahələri



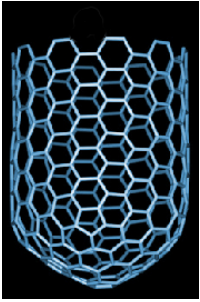
Mühazirə
Dr.İsmət Əhmədov



Nano



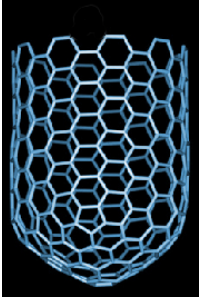
- Ölçü – 10⁻⁹ m (1 nanometer)
- Kvant mexanikasının sərhəddi
- Formalaşma
→ Təşəkkül tapma mərhələsində



Karbon

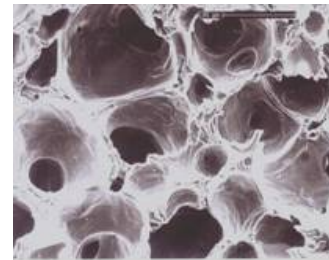
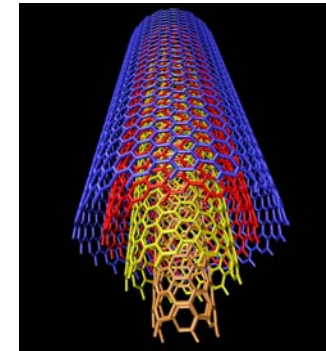
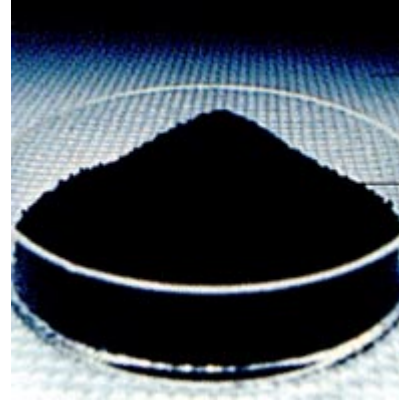
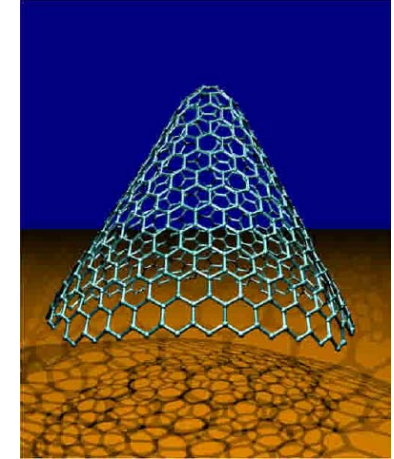
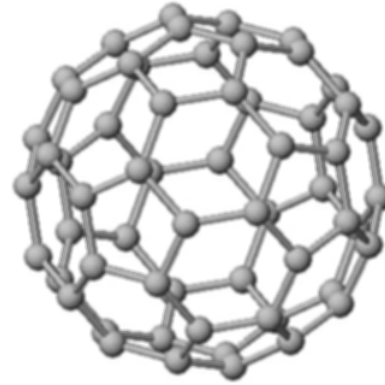


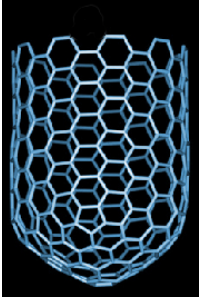
- Ərimə nöqtəsi: ~ 3500°C
- Atom radiusu: 0.077 nm
- Bütün üəvü birləşmələrin əsas elementi
- 10 mill. karbon birləşmələri



Nanokarbon

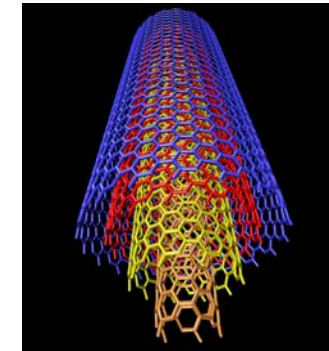
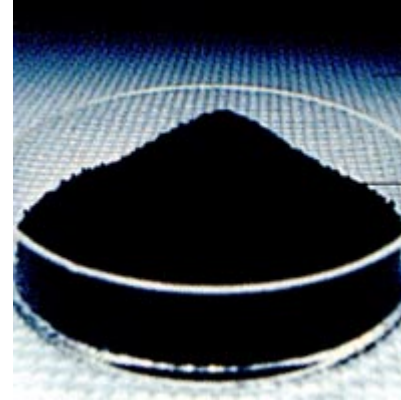
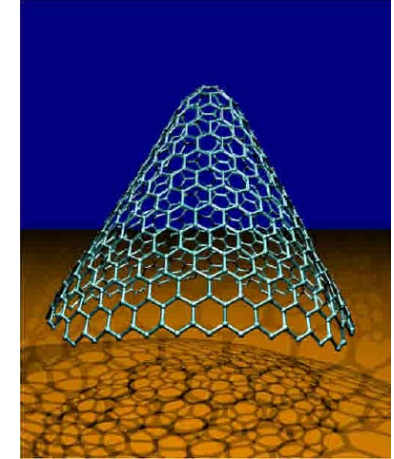
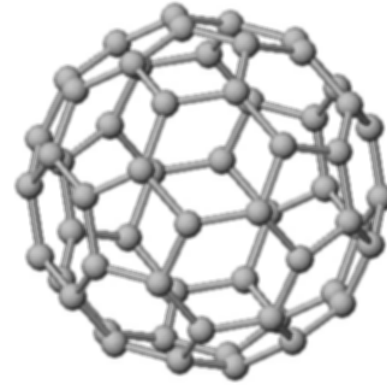
- Fulleren
- Borucuqlar
- Konuslar
- Karbon black
- Buynuzlar
- Çubuqlar
- Köpüklər
- nanoalmazlar





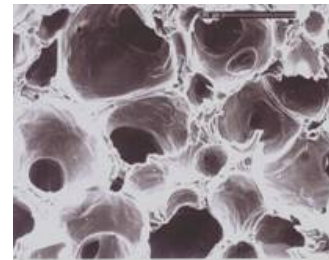
Nanokarbon

- Fulleren
- Borucuqlar
- Konuslar
- Karbon black

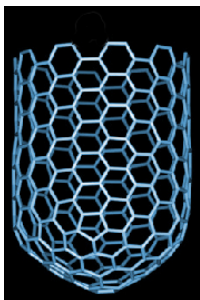


Xassələri və Tətbiq sahələri

- Elektrik
- Mexaniki
- İstilik
- Saxlanma



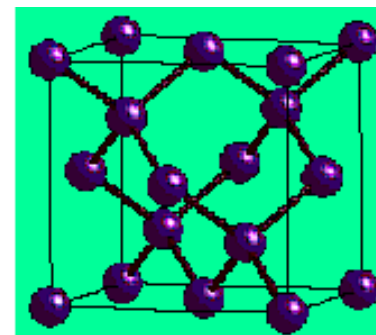
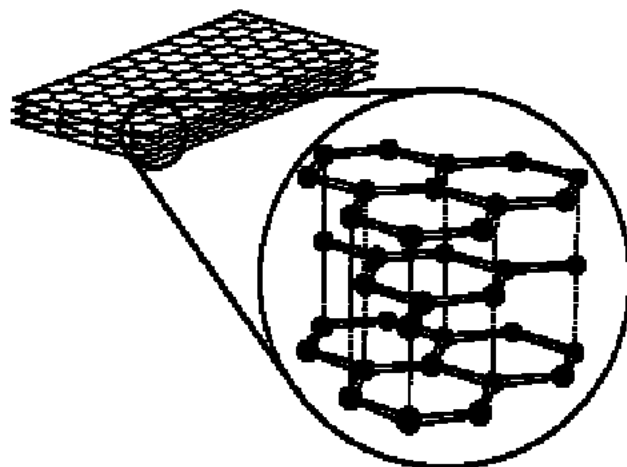
Birləşmələri

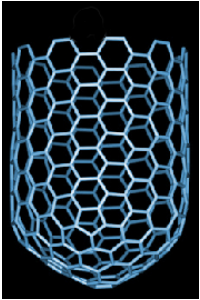


Qrafit – sp^2

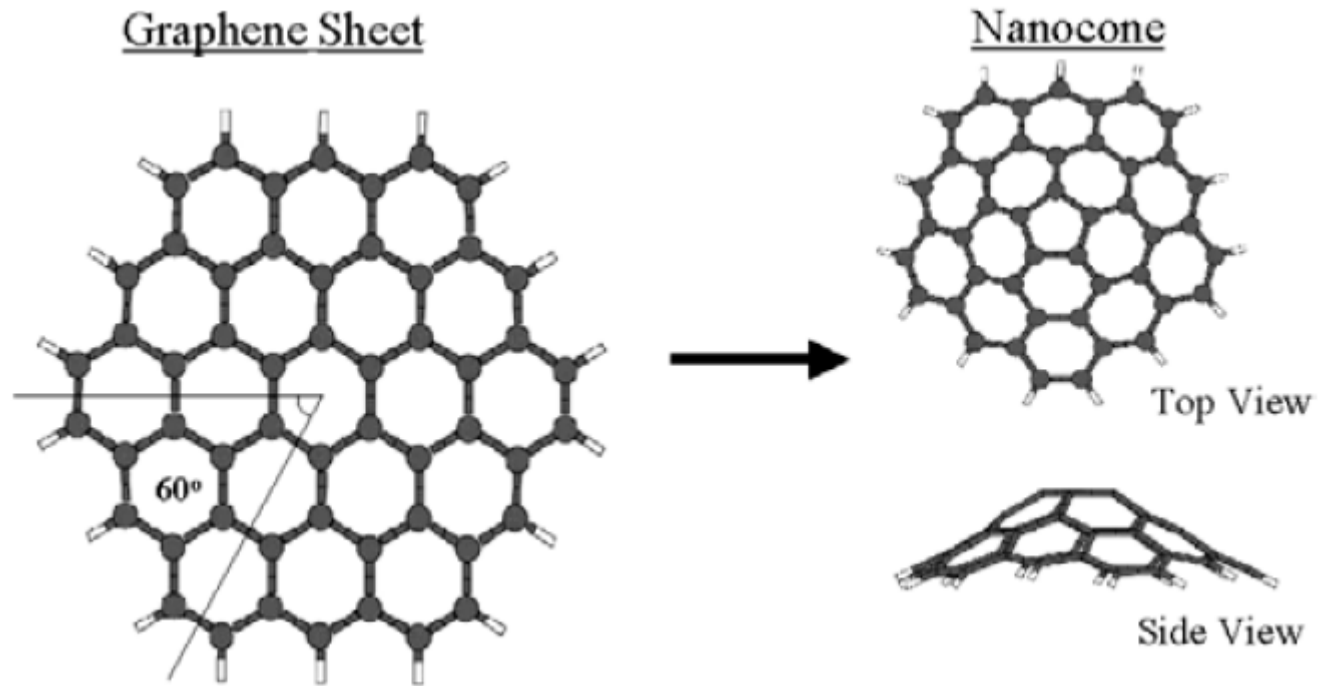


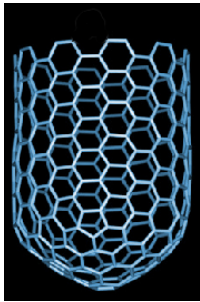
Almaz – sp^3





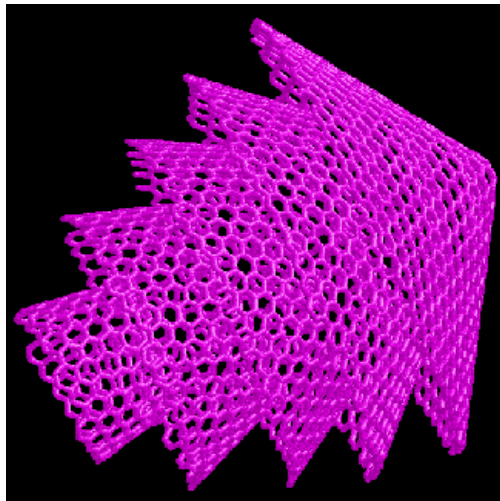
Nanokarbon



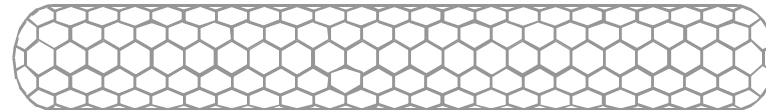


Nanokarbon

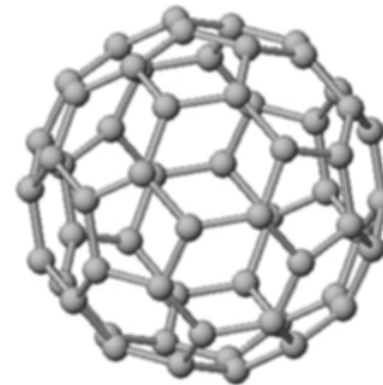
1 – 5 beşüzlülər

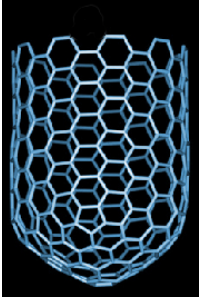


6 + 6 beşüzlülər



12 beşüzlülər

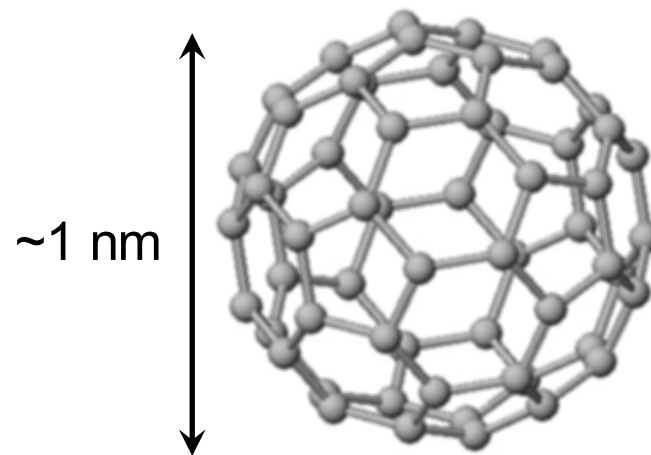




Fulleren

”Yüksək simmetriyalı böyük molekula”

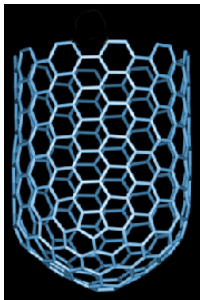
- 1985-ci ildə kəşf olunub
 - 1996 Curl, Kroto, and Smalley Nobel mükafatı alıblar
- C_{60} , həmçinin 70, 76 and 84.
 - 32 fasetli (12 beşbucaqlı and 20 altıbucaqlı)
 - prototip



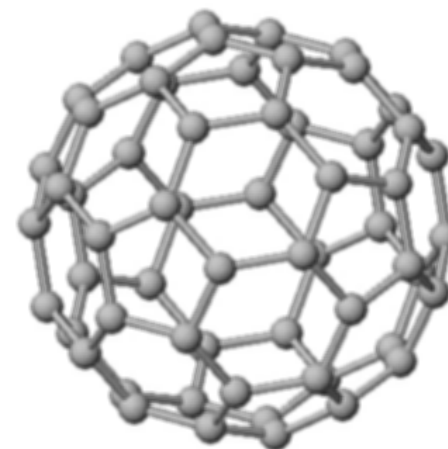
Epcot mərkəzi, Paris



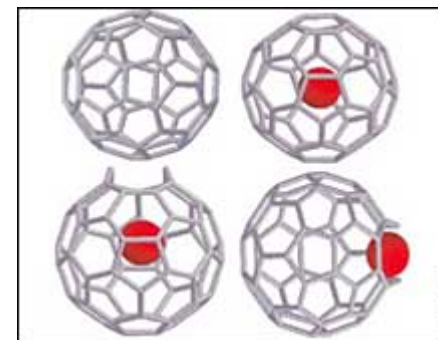
Memarı: R. Buckminster Fuller

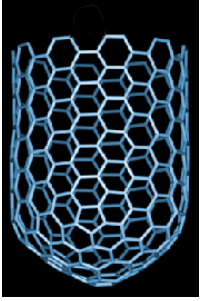


Fulleren



- Simmetrik formalı
- → **sürtünmə**
- Böyük səth sahəsinə malik
- → **katalitik**
- Yüksək temperatur (~500oC)
- Yüksək təzyiq
- Boşluqlar
- **Hissəciklərin qəfəsdə saxlanması**
- Feromaqnet?
- Polimerləşmiş C60
- 220oC- ə qədər





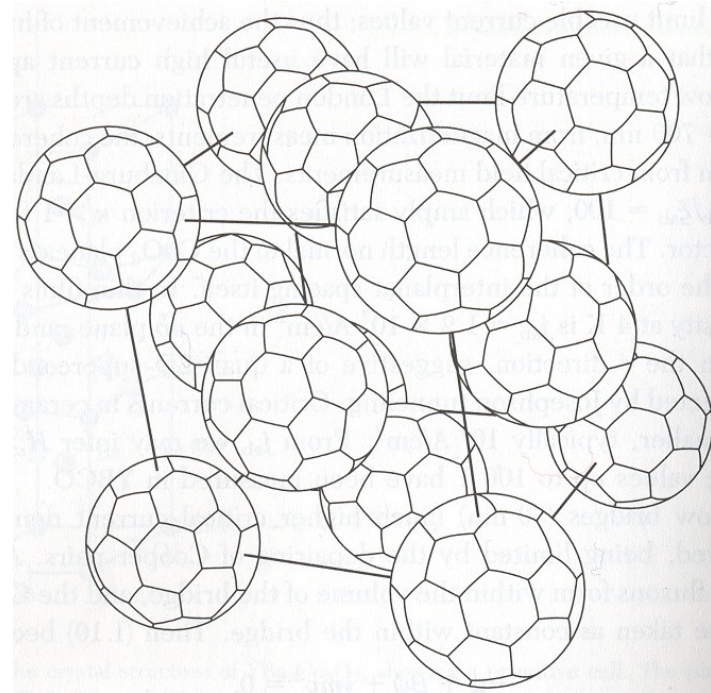
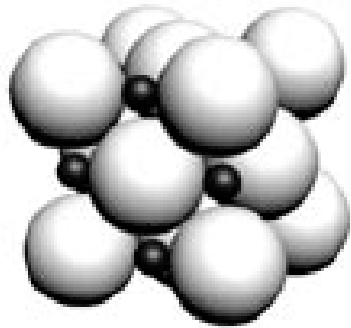
Fulleren

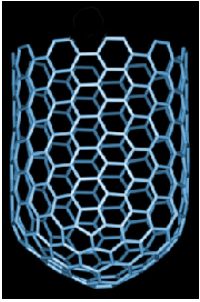
- Grafit kimi kimyəvi dayanıqlıdır
- - beşbucaqlı kimi yüksək reaktivdir
- zəif van der Waals qüvvələri ilə stabiləşən Kristal

İfratyarımkeçirici

- K_3C_{60} : 19.2 K

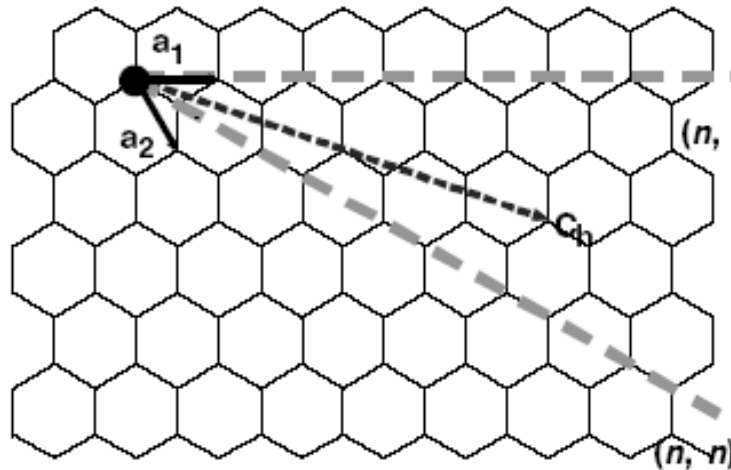
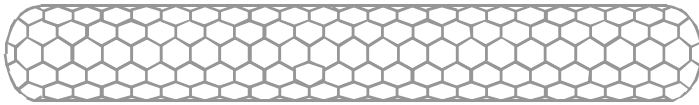
- $RbCs_2C_{60}$: 33 K





Nanoborular

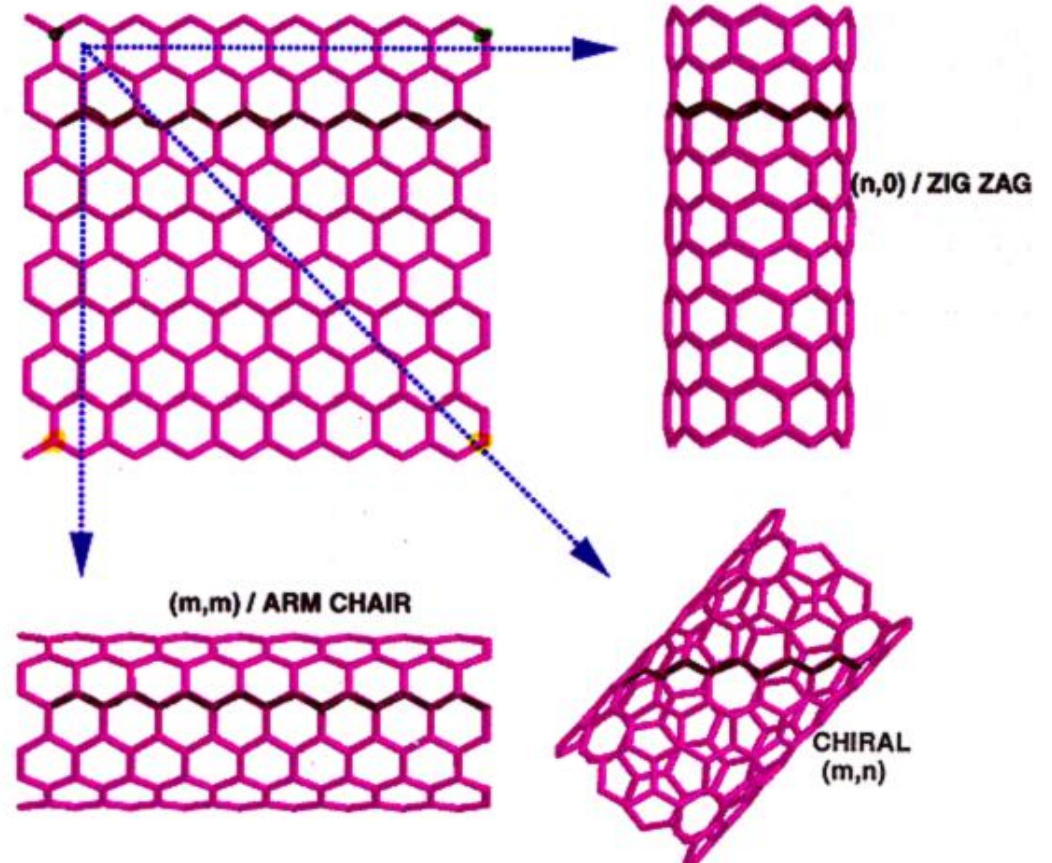
- 1991-ci ildə kəşf olunub, Iijima tərəfindən

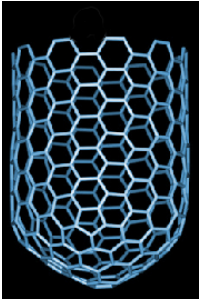


Burulma vektoru:

$$C_h = n \vec{a}_1 + m \vec{a}_2$$

- STRIP OF A GRAPHENE SHEET ROLLED INTO A TUBE





Nanoborular

Burulmadan asılı olan elektrik keçiriciliyi

$$C_h = n \vec{a}_1 + m \vec{a}_2 \quad \text{if} \quad \frac{2n+m}{3} = i, \text{ sonra metal}$$

- Elektrik tutumu

Karbon nanoboru 1 GAmps / cm²

Mis məftil 1 MAmps / cm²

Hımçinin yarımkeçirici

- İstilik ötürməsi

Təmiz almazla müqayisə edilə bilər (3320 W ,

- Temperatura davamlıqlı

Karbon nanotuboru 750 °C (in air)

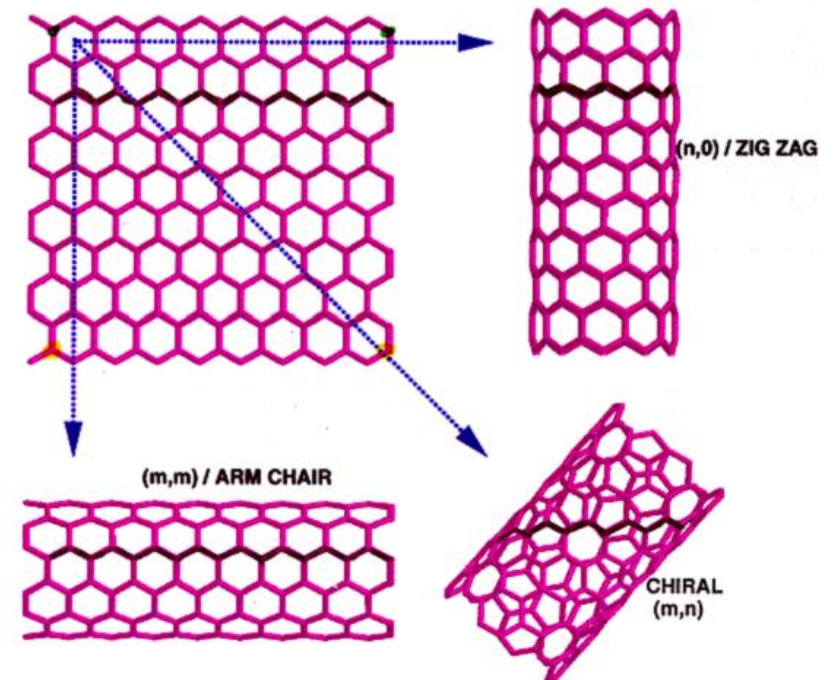
Metal məftil mikroçipdə 600 – 1000 °C

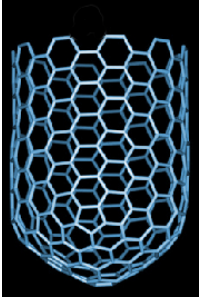
- Qəfəs

Elektrik xassələri dəyişə bilər

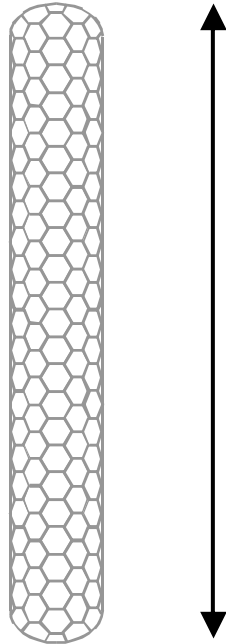
→ sensor

• STRIP OF A GRAPHENE SHEET ROLLED INTO A TUBE





Nanoboru



Uzunluğu:
Bir neçə μm

Yüksək dərəcəli:

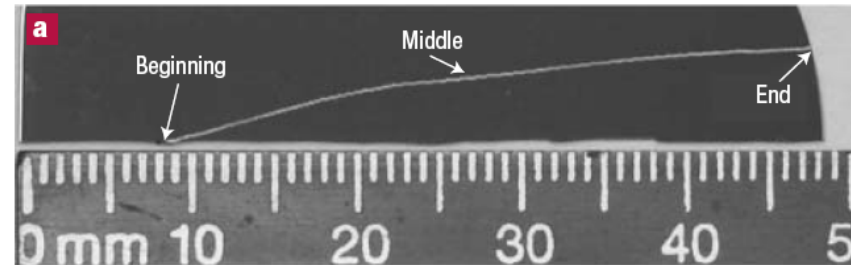
$$\frac{\textit{length}}{\textit{diameter}} > 1000$$

→ kvazi 1D bərk

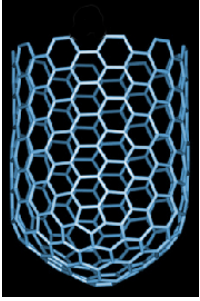


Diametr:

Ən azı 1 nm



SWCNT – 1,9 nm



Nanoborular

Karbon nanoborular məlum materialların hamısından bərkdir.

- Yunq Modulu (bərklik):

Karbon nanoborular	1250 GPa
Karbon liflər	425 GPa (max.)
Yüksək möhkəm polad	200 GPa

- Möhkəmlik həddi (qırılma möhkəmliyi)

Karbon nanoborular **11- 63 GPa**

Karbon liflər **3.5 - 6 GPa**

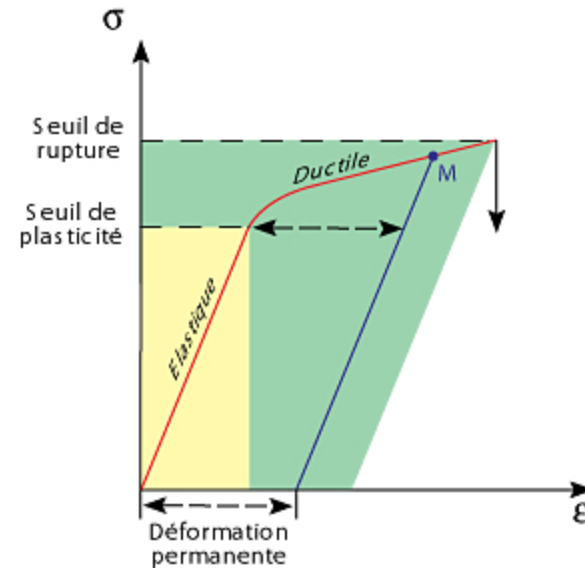
Yüksək möhkəm polad **~ 2 GPa**

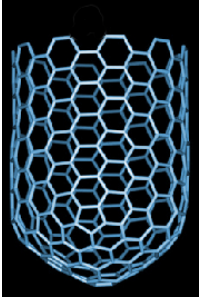
- Dartılması : ~ 20-30 %

- Sıxlığı :

Karbon nanoboru (SW) 1.33 – 1.40 gram / cm³

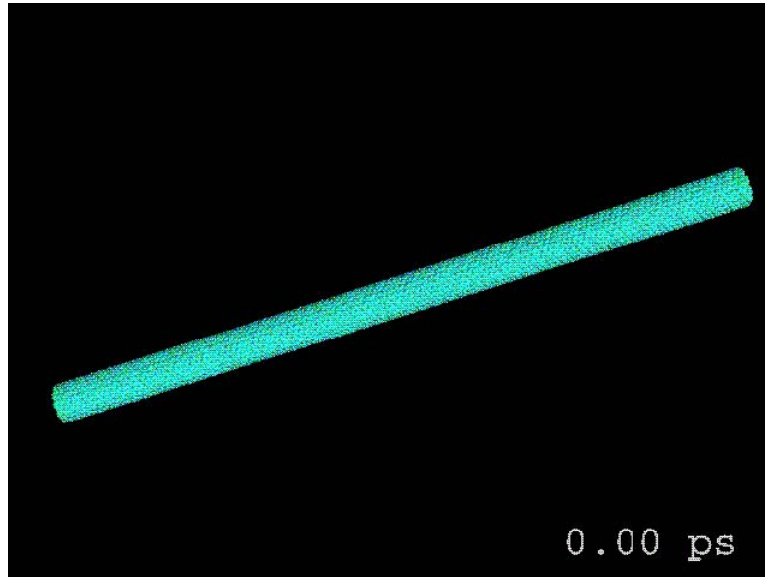
Aluminium 2.7 gram / cm³



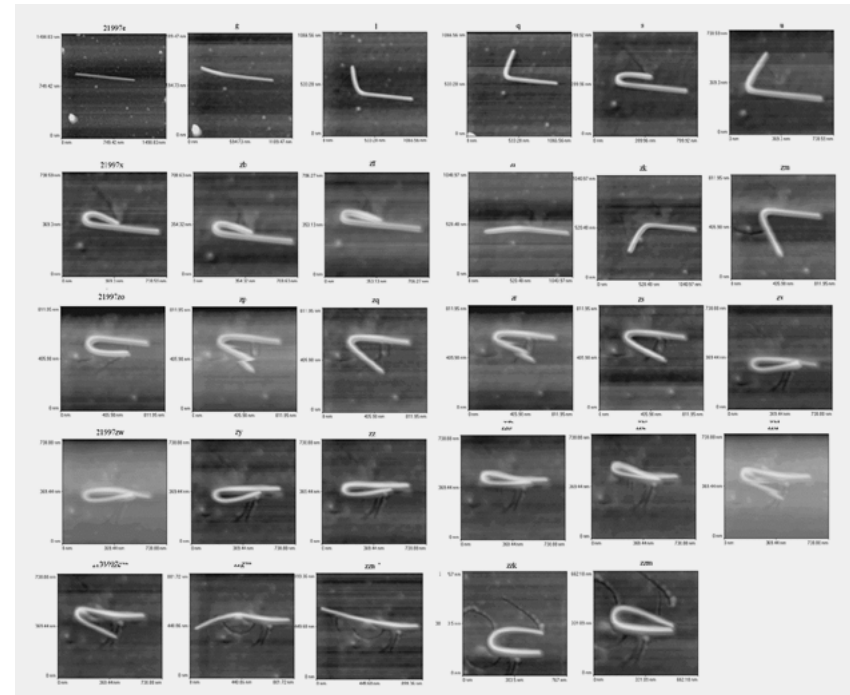


Mexanikliyi

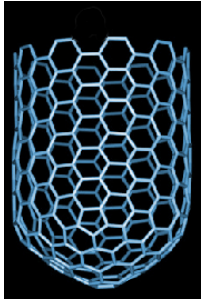
- Karbon nanoboruları çox elastikdir



<http://www.ipt.arc.nasa.gov/gallery.html>



Nanoscience Research Group
University of North Carolina (USA)
<http://www.physics.unc.edu/~rsuper/research/>



Konuslar

1994 – cü ildə kəşf olunub (qapalı forması) Ge & Sattler

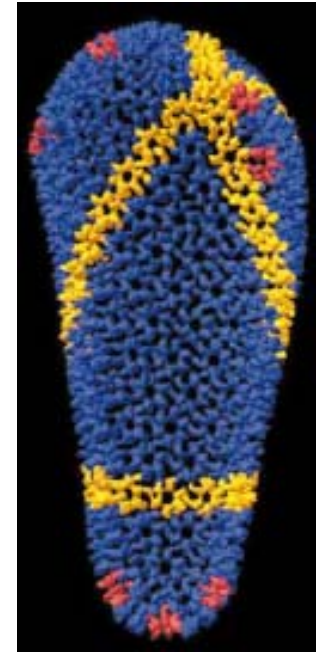
• 1997- ci ildə kəşf olunub (açıq forması) Ebbesen *et al.*

• Qapalı: HIV virusunun formasına oxşayır

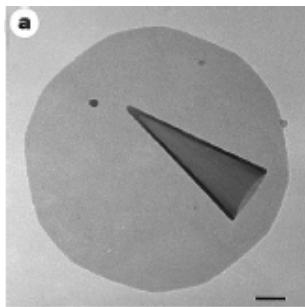
• İstehsalda var (açıq forması)

• Saxlama?

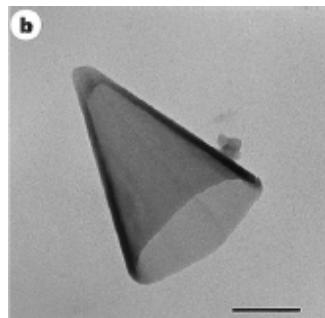
→ Hidrogen



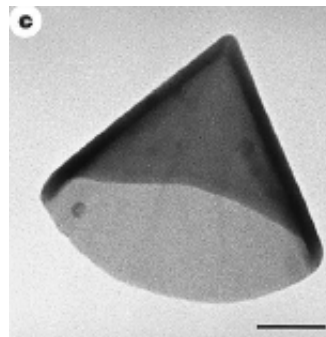
Li *et al.* Nature **407** (2000) 409.



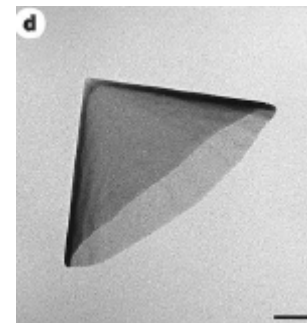
19.2 °



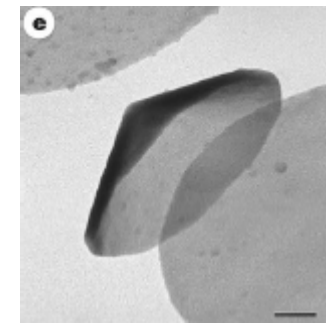
38.9 °



60.0 °



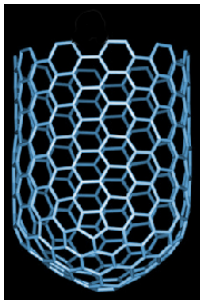
84.6 °



112.9 °

Miqyas: 200 nm

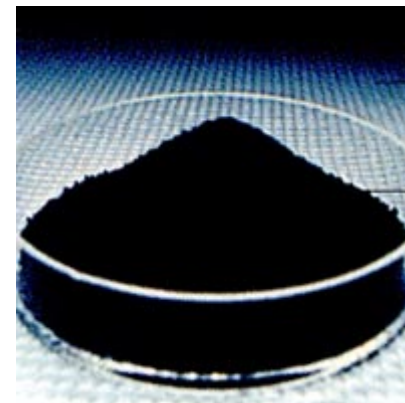
Krishnan, Ebbesen *et al.* Nature **388** (2001) 241.

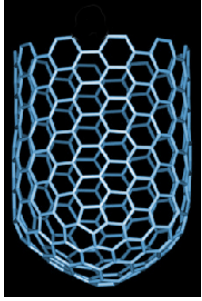


Karbon black

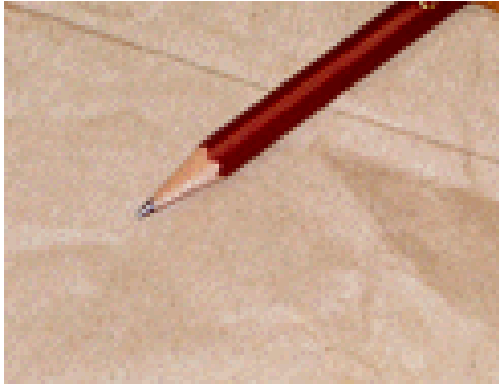
Geniş sənaye istehsalı

- Hər ill mill. ton
- Şinlər, qara piqmentlər, plastik kütlələr, quru batareya (quru element), Ultrabənövşəyi şüalardan müdafiə və s..
- Ölçüləri: 10 – 400 nm





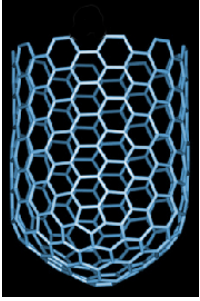
Çap işləri



Karbon – qrafit

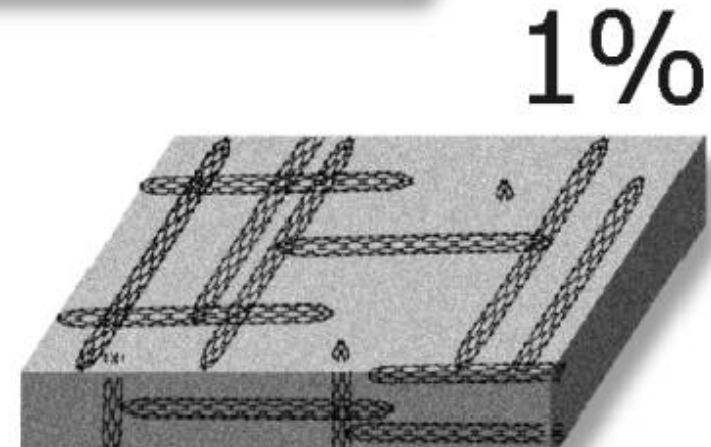
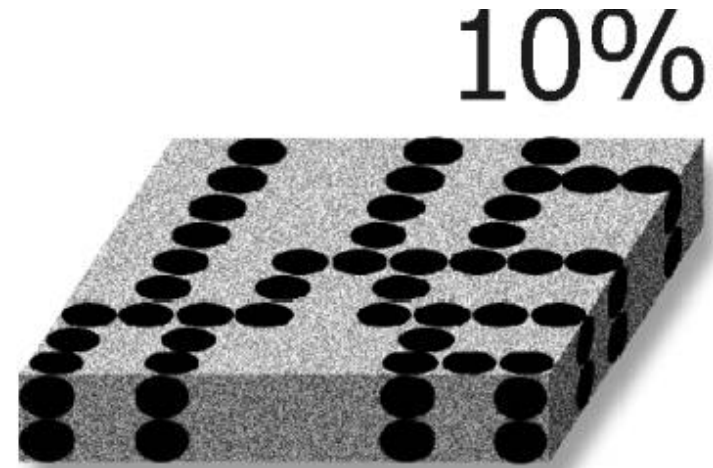


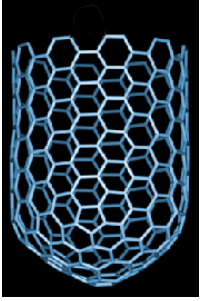
C_{60} : 1000x mürəkkəbdən yaxşı (Xerox)



CNT / polimer komposit

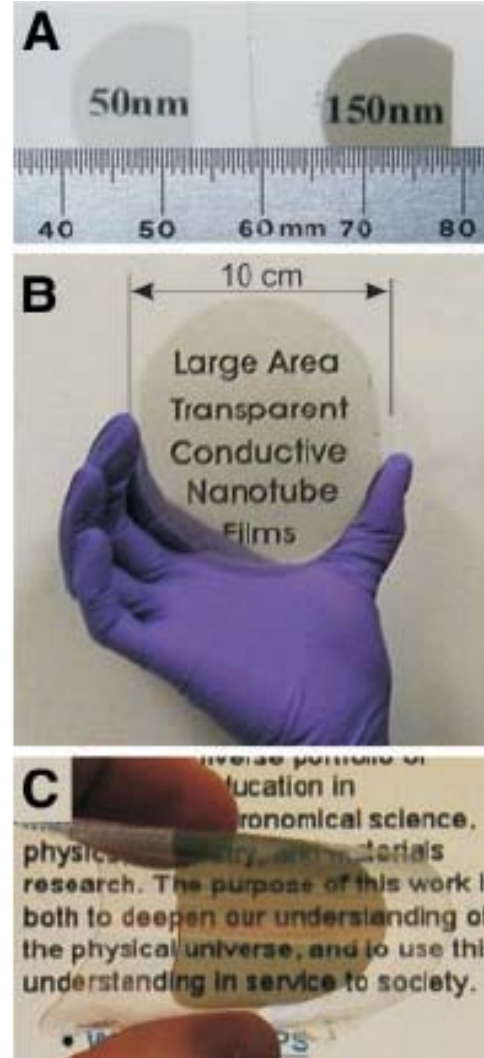
- Bu günün texnologiyası
 - Karbon black
 - 10 – 15 wt% yüklənmə
 - mexaniki xassələrinin itirilməsi
- CNT Kompositlər
 - 0.1 – 1 wt% yüklənmə
 - aşağı dərəcədə sızma



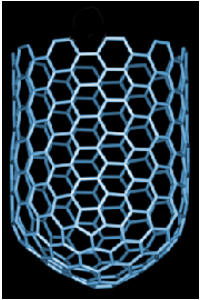


CNT / polimer komposit

- Şəffaf elektrik keçirici
 - Qalınlığı: 50 – 150 nm
 - Yüksək elastik

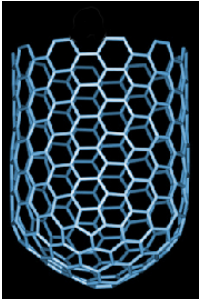


Wu *et al.* Science
305 (2004) 1273.



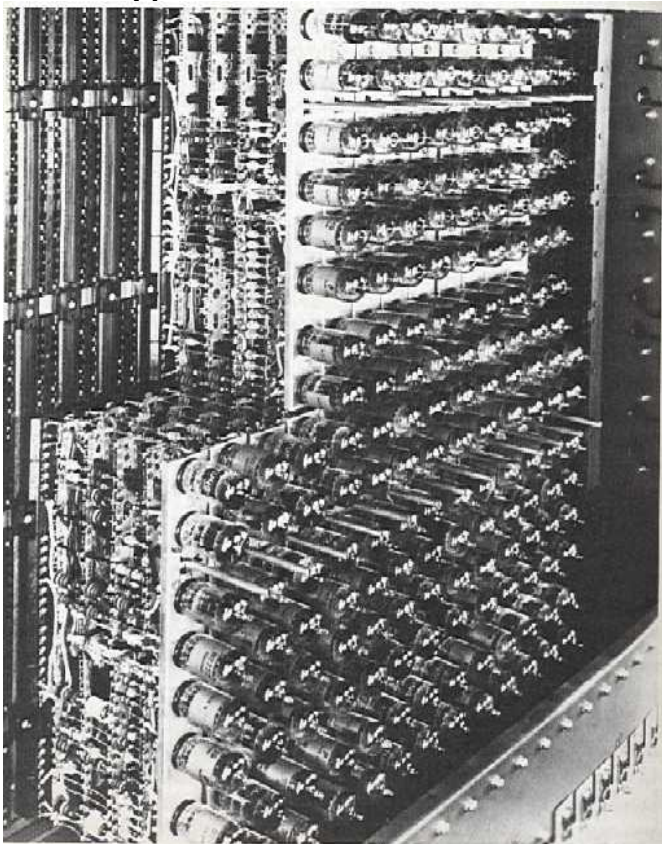
Elektrik qurğuları





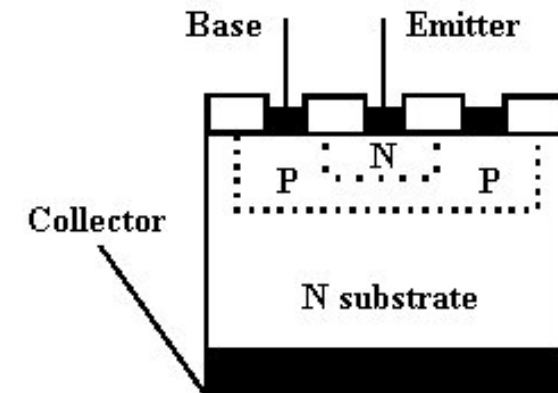
Tranzistor

- Vakum boruları
 - 1906 –cı ildə Nobel mükafatı,

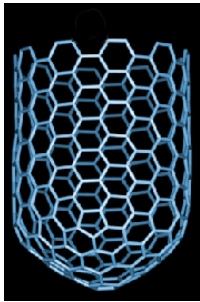


IBM, 1952.

- Si-əsaslı yarımkəçiricilər
 - 1956 –cı ildə Nobel mükafatı, Shockley, Bardeen, and Brattain.
 - 2000, Kilby.

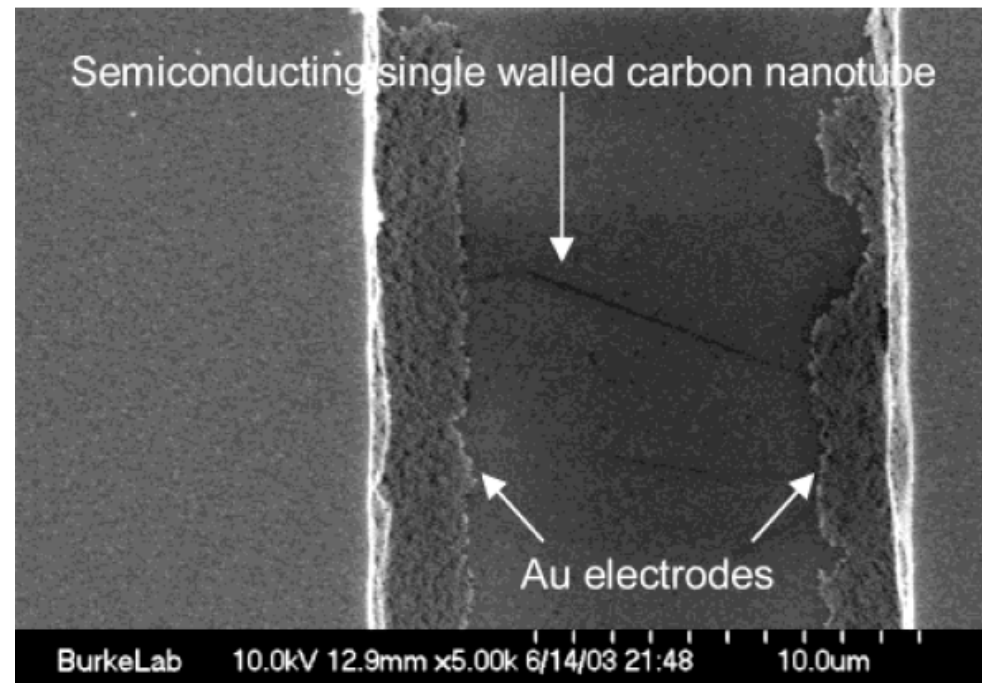
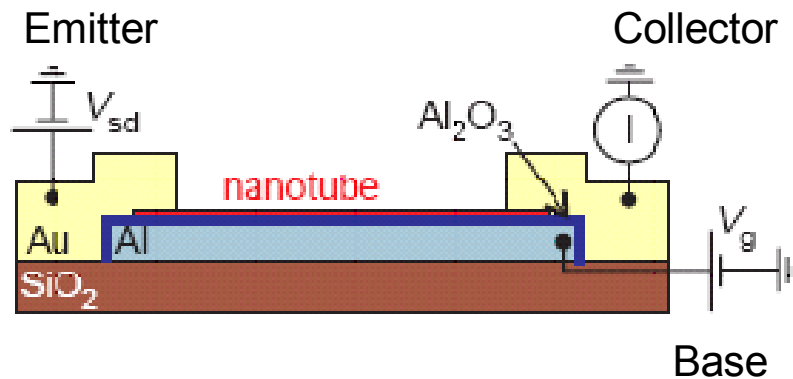


An NPN junction transistor



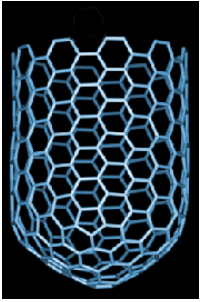
Tranzistor

- SWCNT
 - 2.6 GHz, $T = 4$ K
 - Logical gates

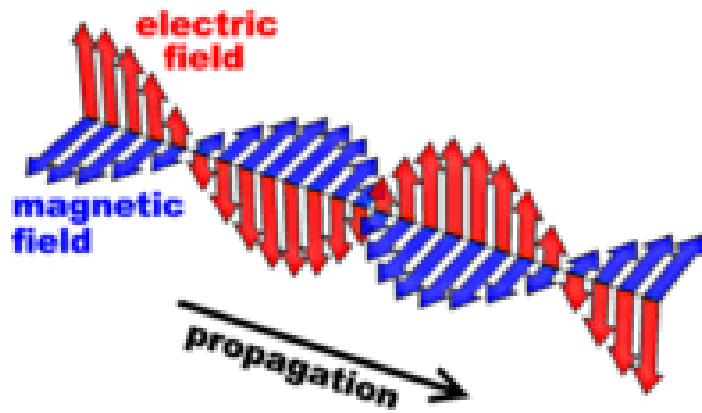


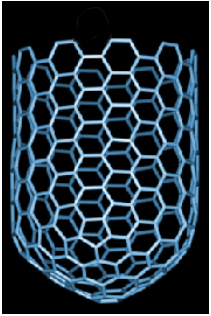
Bachtold, Dekker *et al.*
 Science **294** (2001) 1317.

Li *et al.* Nano Lett. **4** (2004) 753.



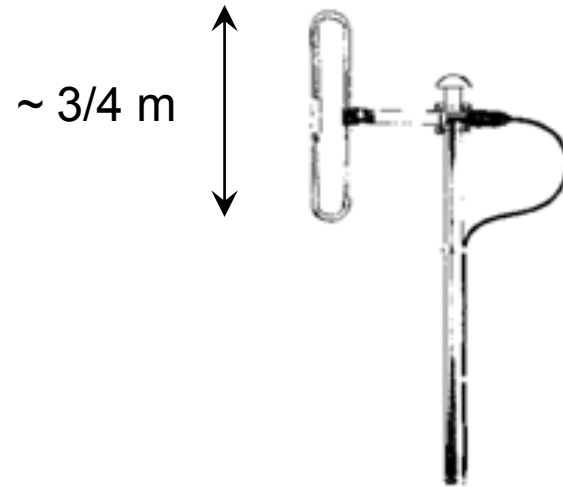
Antenna





Antenna

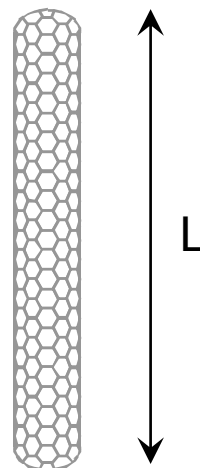
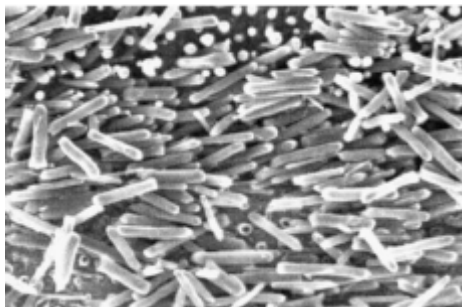
- Dipol



Radio dalğalar:

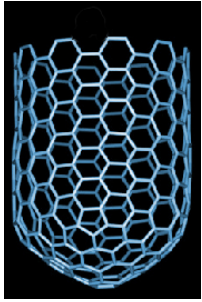
$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{3m} \sim 100 \text{ MHz}$$

Nanoboru



Optik dalğa:

$$\lambda \sim L/2 \sim 500 \text{ nm}$$

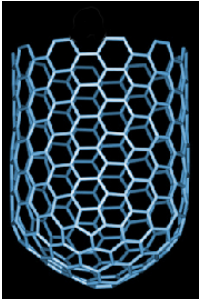


Tətbiqi

Müstəvi ekran

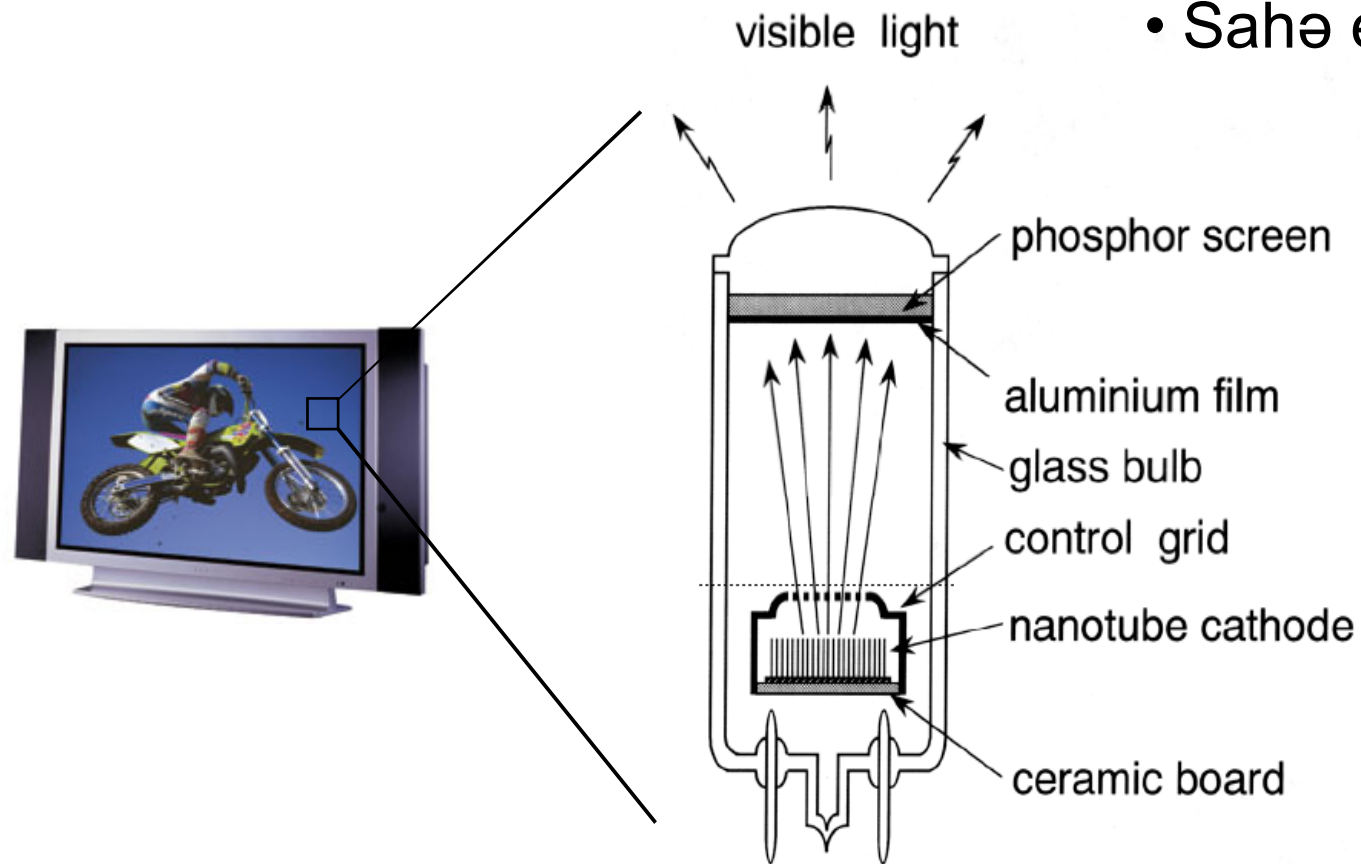


Plazma TV

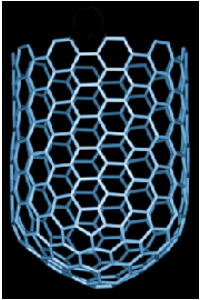


Müstəvi ekran

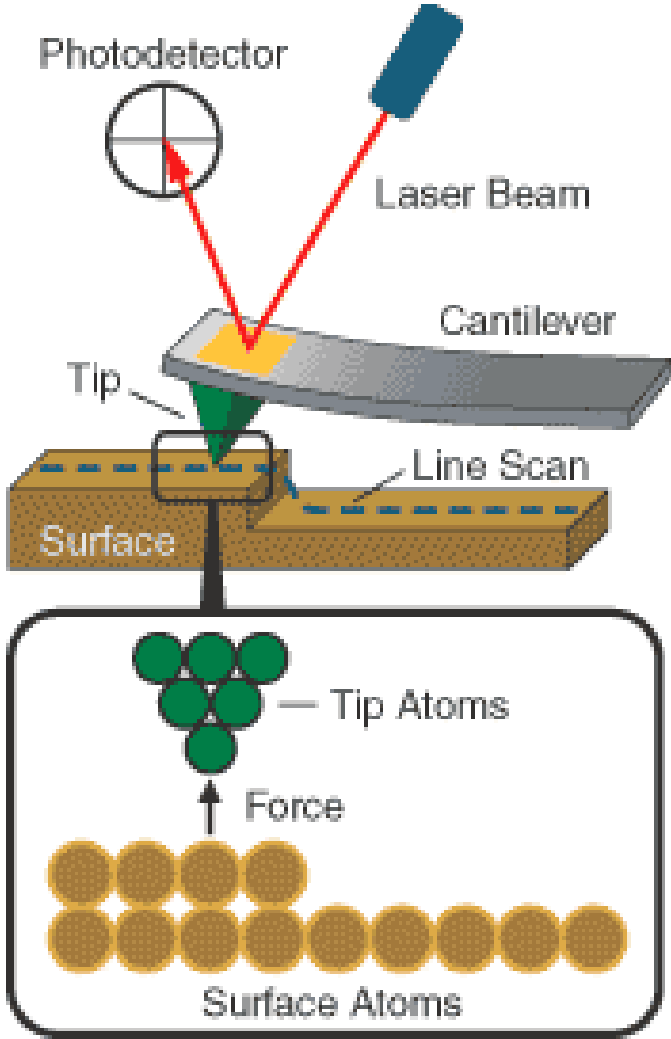
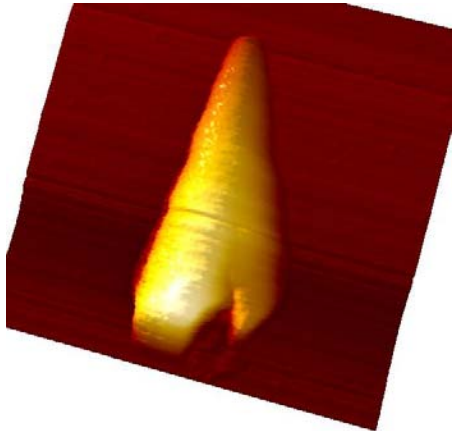
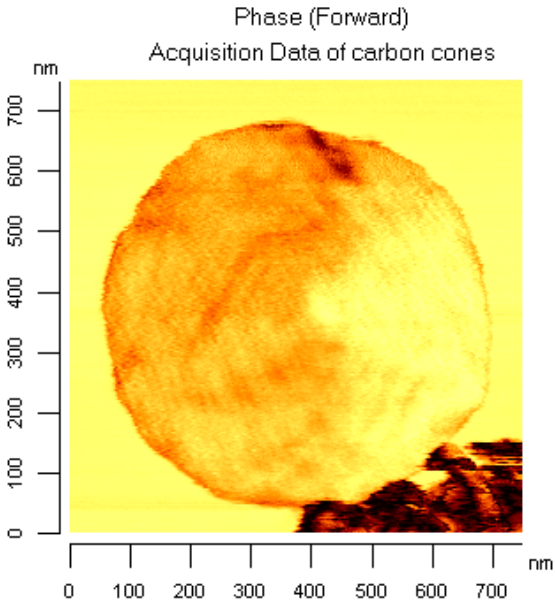
- Sahə emissiyası

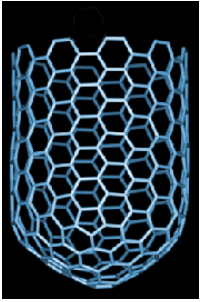


Saito *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **37** (1998) L346.



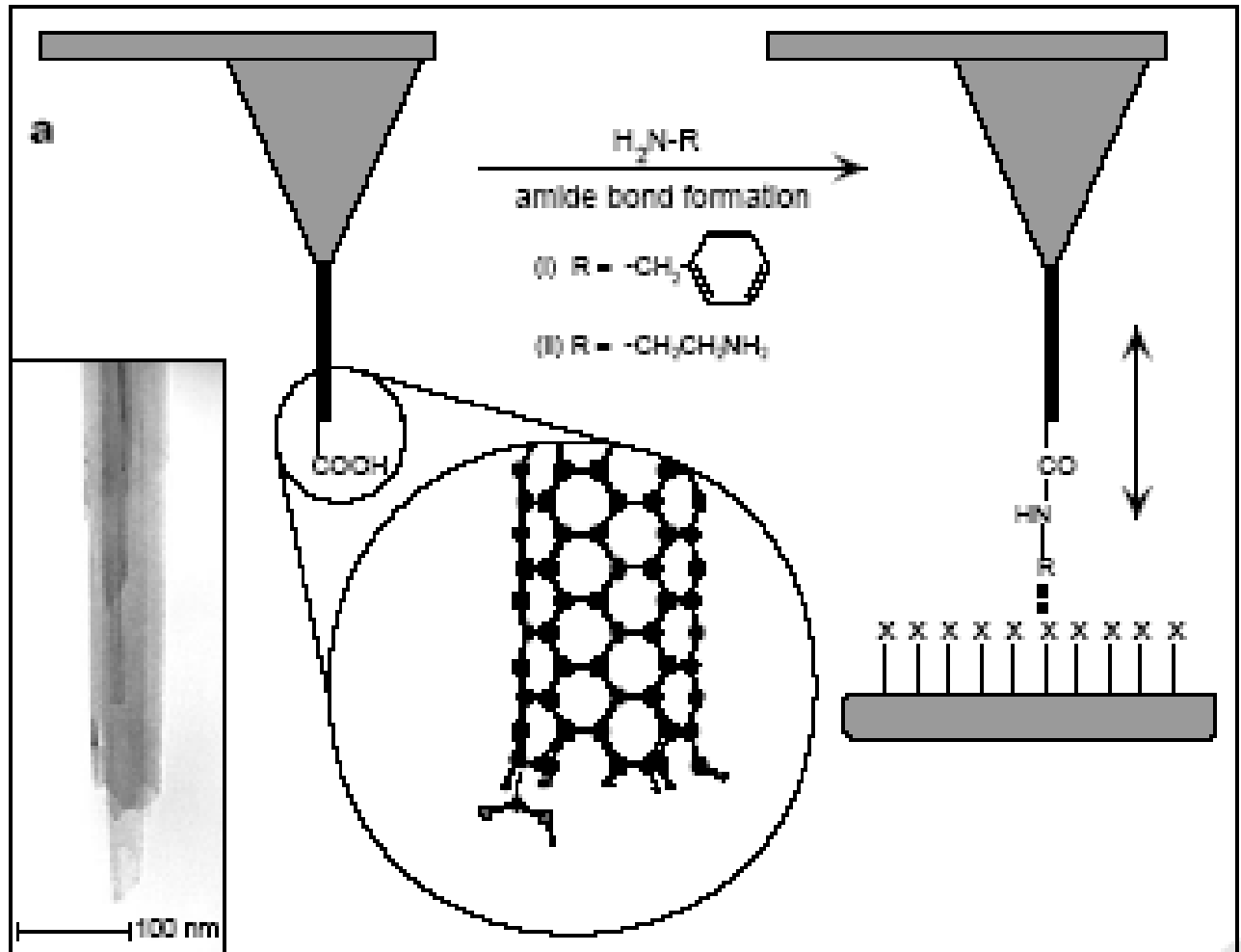
Atom Qüvvət Mikroskopu

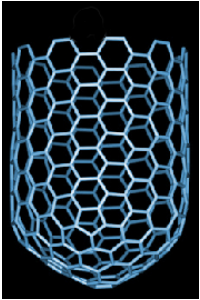




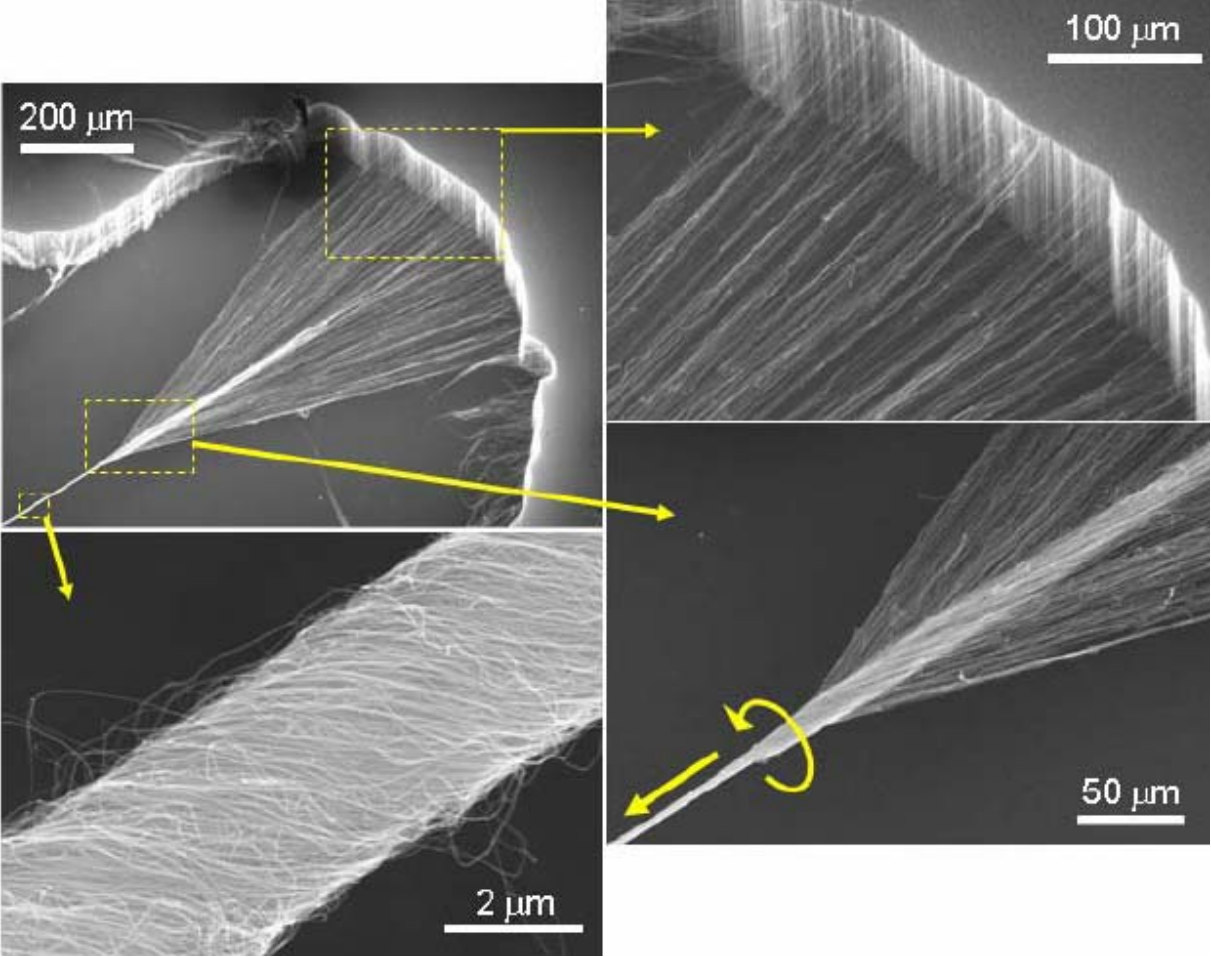
Atom Qüvvət Mikroskopu

- Boru və ya konus
- Kimyəvi nümunə

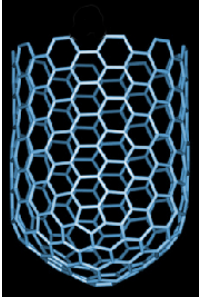




İplik



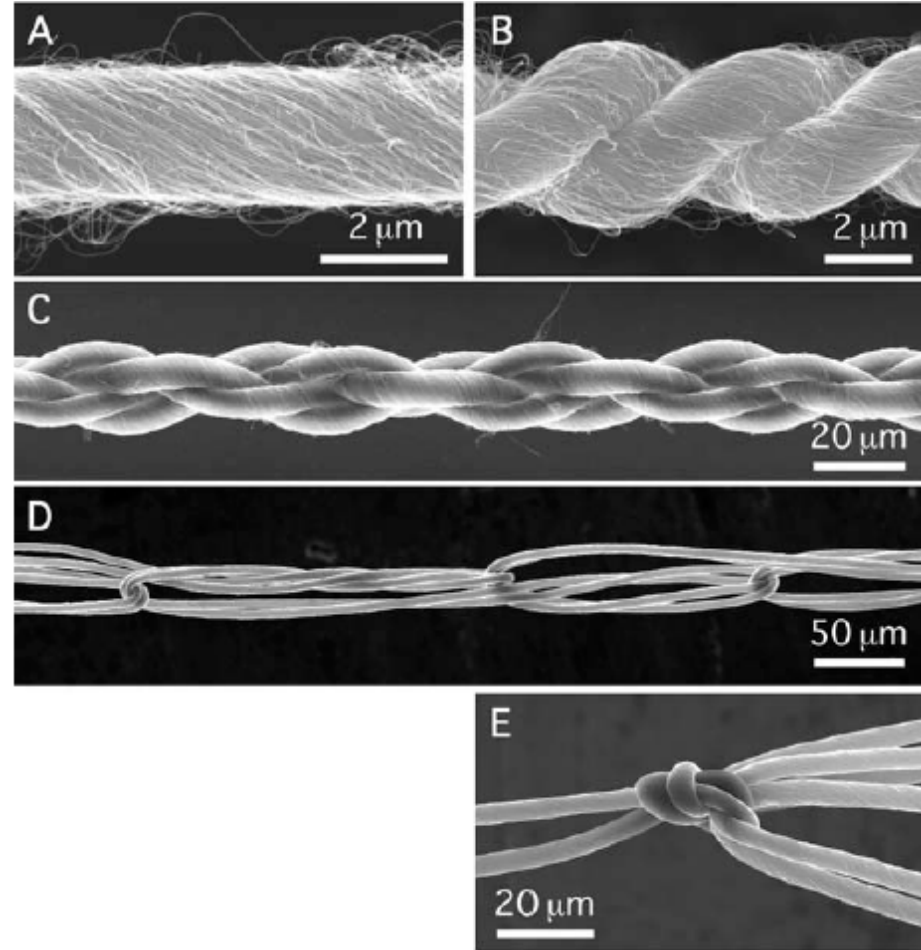
Zhang, Atkinson and Baughman, Scienc **306** (2004) 1358.



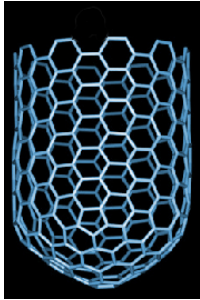
İplik

Çoxlaylı karbon borular

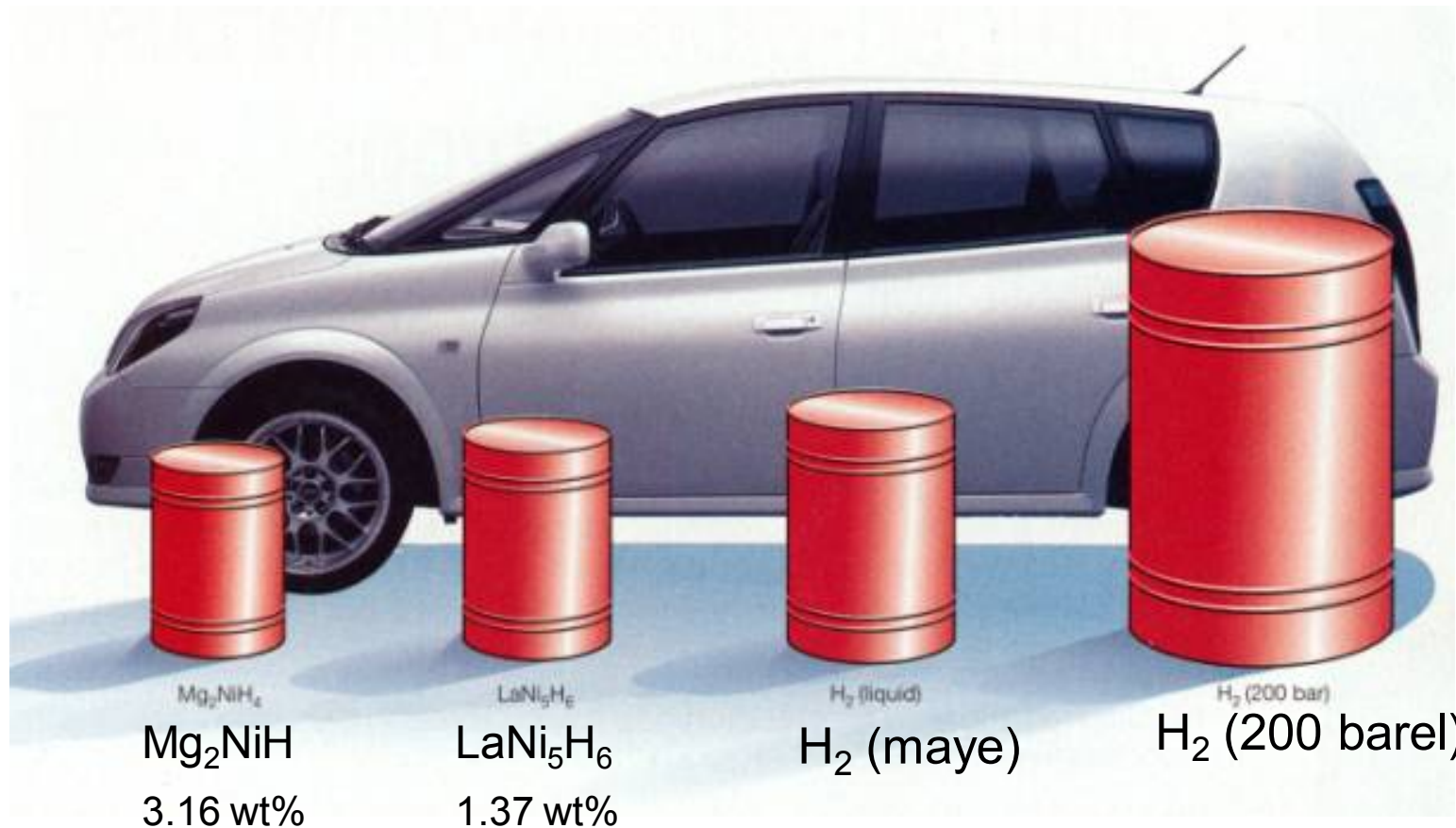
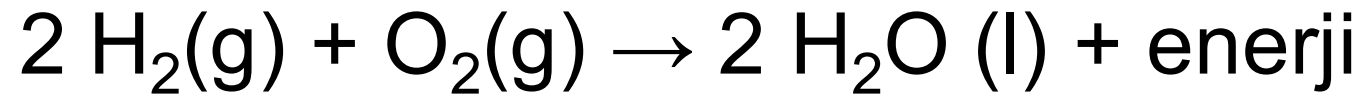
- İstismarı $-196^{\circ}\text{C} < T < 450^{\circ}\text{C}$
- Elektrik keçiriciliyi
- Möhkəmlik
- Düyün düşəndə tez açılır

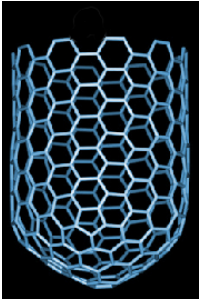


Zhang, Atkinson and Baughman,
Science **306** (2004) 1358.



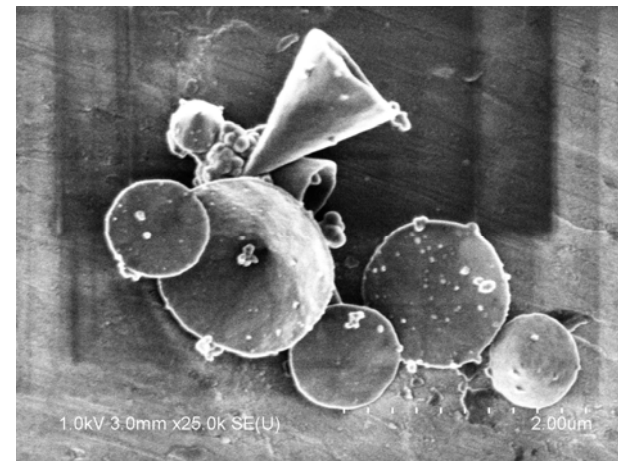
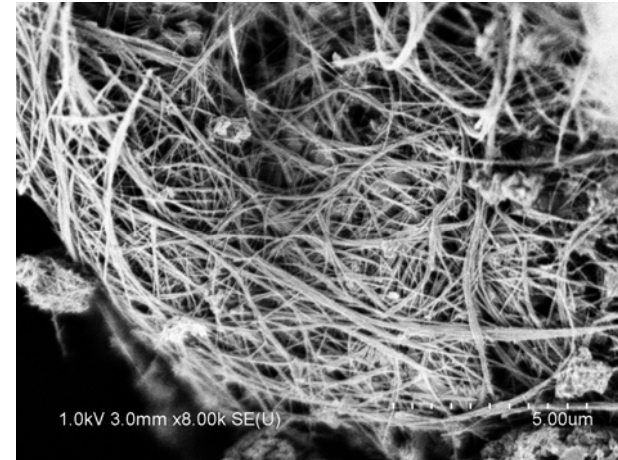
Hidrogen saxlama

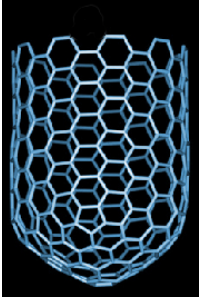




Hidrogen saxlama

- Aim: 5 - 7 wt% H₂
- Birlaylı karbon borular
 - Dillon *et al.* (1997) : 8 wt% (questionable)
 - Tarasov *et al.* (2003): 2.4 wt% reversible, 25 bar H₂, -150°C.
- Konuslar
 - Mealand & Skjeltop, (2001)
US Patent 6,290,753

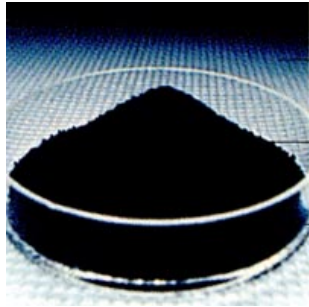
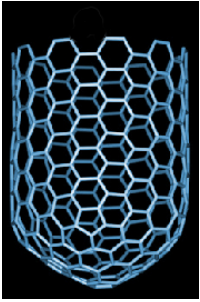




Xəbərdarlıq

- Ətraf mühit və sağlamlıq
- Fullerenlər və nanoboruların geniş istehsalı
- Hələ lazımı qədər dizayn olunmayıb.





Nəticə

- Nanokarbon

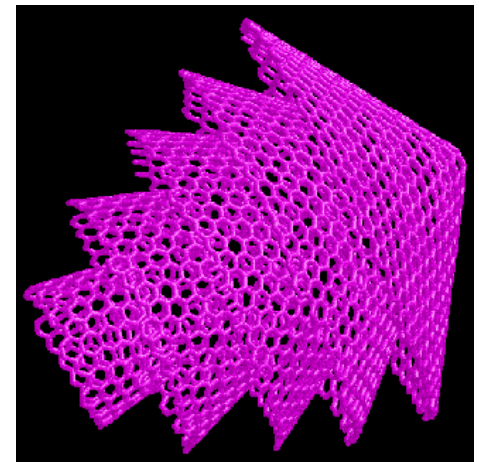
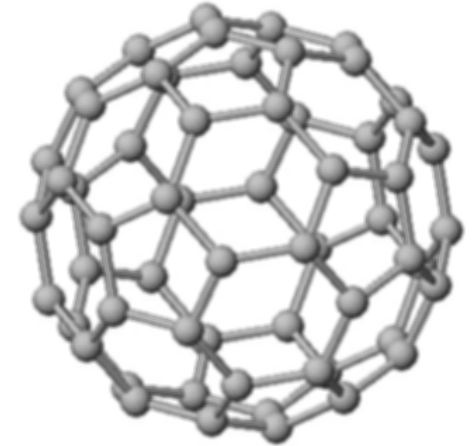
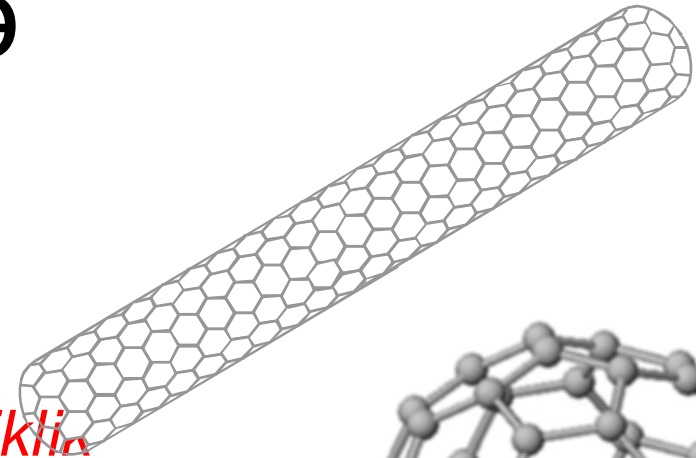
- fulleren - "yüksək simmetirikli"
- borular - "möhkəmlik"
- konuslar - "ən iti formalar"
- karbon black - "Geniş istehsalı"

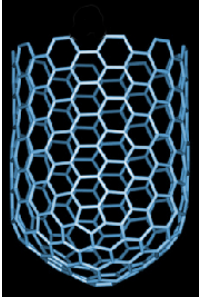
- Xassələri

- elektik, mexaniki, istilik, saxlanma, qəfəs

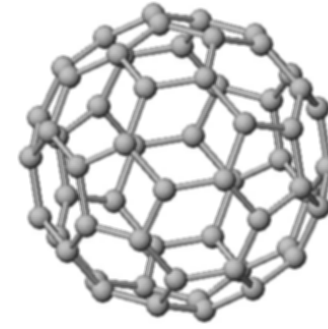
- Tətbiqləri

- antenna, komposit, çap işi, sahə emissiyası, tranzistor, iplik, mikroskop, saxlama





Kommersiyya



- **Kompaniyalar:** ~ 20 dünyada
 - Carbon Nanotechnologies Inc. (CNI)
 - SES Research
 - n-Tec
- **Qiymətləri:**
 - Borular: təmiz SWCNT \$500 / qram (CNI)
MWCNT € 20-50 / qram (n-Tec)
 - C₆₀ : təmiz \$100-200 / qram (SES Research)
 - Konus: Multi € 1 / qram (n-Tec)

 - Qızıl : \$10 / qram

