

Systemy mechatroniczne

- klasyczne systemy mechatroniczne
- systemy mikroelektromechaniczne MEMS
- **systemy nanoelektromechaniczne NEMS**

NEMS (ang. *Nano Electro-Mechanical Systems*-
określenie zintegrowanych układów elektro-
mechanicznych, których co najmniej jeden wymiar
szczególny znajduje się w skali nano (od **1 nm** do **100 nm**)).

Wymiar **10 nm** jest **1 000 razy mniejszy** niż średnica
włosa człowieka.

Systemy nano-elektro-mechaniczne stanowią wg.
wielu naukowców podstawę przyszłych molekularnych
systemów wytwarzających.

Systemy mikroelektromechaniczne

NEMS

1. Ogólna charakterystyka
2. Technologia wytwarzania
3. Przykłady zastosowań

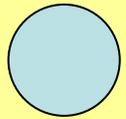
Systemy mikroelektromechaniczne

NEMS

1. **Ogólna charakterystyka**
2. Technologia wytwarzania
3. Przykłady zastosowań

Jaka jest wielkość nanometra?

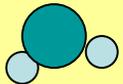
Nanometr (nm) to 10^{-9} metra.



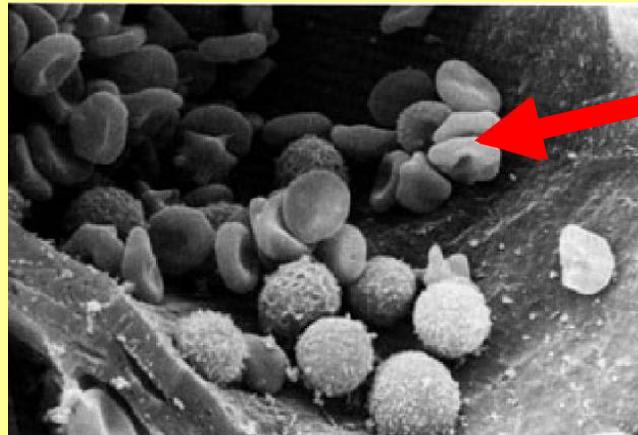
Argon 0.3 nm



CH₄ 0.4 nm



H₂O 0.3 nm



czerwone
krwinki
2000x7000 nm

Zarys historii nanotechnologii

1959 rok - wykład Richarda Feynmana "There is plenty of room at the bottom" (*W mikroskali jest mnóstwo miejsca*)

„What I want to talk about is the problem of manipulating and controlling things on a small scale” - tymi oto słowami Richard Feynman, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki z roku 1965 za niezależne stworzenie relatywistycznej elektrodynamiki kwantowej, po krótkim wstępie, przywitał osoby biorące udział w spotkaniu Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego dnia 29 grudnia 1959 roku.

Nikt wtedy jeszcze nie zdawał sobie sprawy, iż ten wykład wejdzie do historii jako pierwszy, który traktował o **nanotechnologii**, dziedzinie nauki wtedy zupełnie niewyobrażalnej.

Kilka uwag na temat samego referatu Feynmana

Po pierwsze pojawiła się osoba, która wskazała, iż działanie molekularne jest możliwe i powinno być celem nauki przyszłości.

Po drugie od tego momentu można mówić o nanotechnologii, gdyż Feynman podał jej niejako definicję i, co należy podkreślić, jest to definicja troszeczkę odmienna od tej, którą przyjmuje się obecnie.

Po trzecie - wskazał, że fizyka nie zakazuje wytwarzania molekularnego (ang. molecular manufacturing).

I choć w roku 1959 takie rozważania mogły wydawać się niedorzeczne, to **nanotechnologia** stała się faktem, a nawet koniecznością, jeśli nie chcemy dojść do krańców rozwijania wielu dziedzin nauki z wykorzystaniem dotychczasowych technik.

Feynman w prostych wyliczeniach przedstawił, iż ok. 24 milionów woluminów książek z całego świecie dałoby się zapisać na powierzchni 3 milionów łebków od szpilki (ok. 2,3 m²).

Kontynuując swoje obliczenia, **Feynman** wskazał, iż gdyby informacje zapisać za pomocą 6-7 bitów (jeden bit potrzebuje 5×5×5 atomów - łącznie 125), gdzie np. Encyklopedia Britannica zajmuje 10¹⁵ bitów informacji, to wszystkie te wiadomości dałyby się zawrzeć w sześciu kurzu!

Ponadto **Feynman** zwrócił uwagę, iż taka wielkość wcale nie jest rewelacyjna, jeśli popatrzeć na biologię.

Tam wszystkie informacje zawierają się w najmniejszych komórkach (np. kod DNA i RNA), gdzie 1 bit mieści się w 50 atomach.

Nanotechnologia

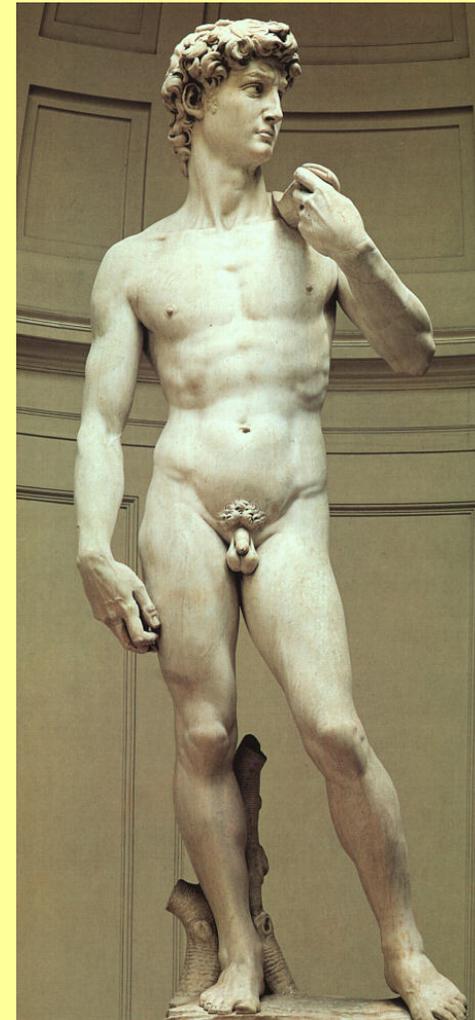
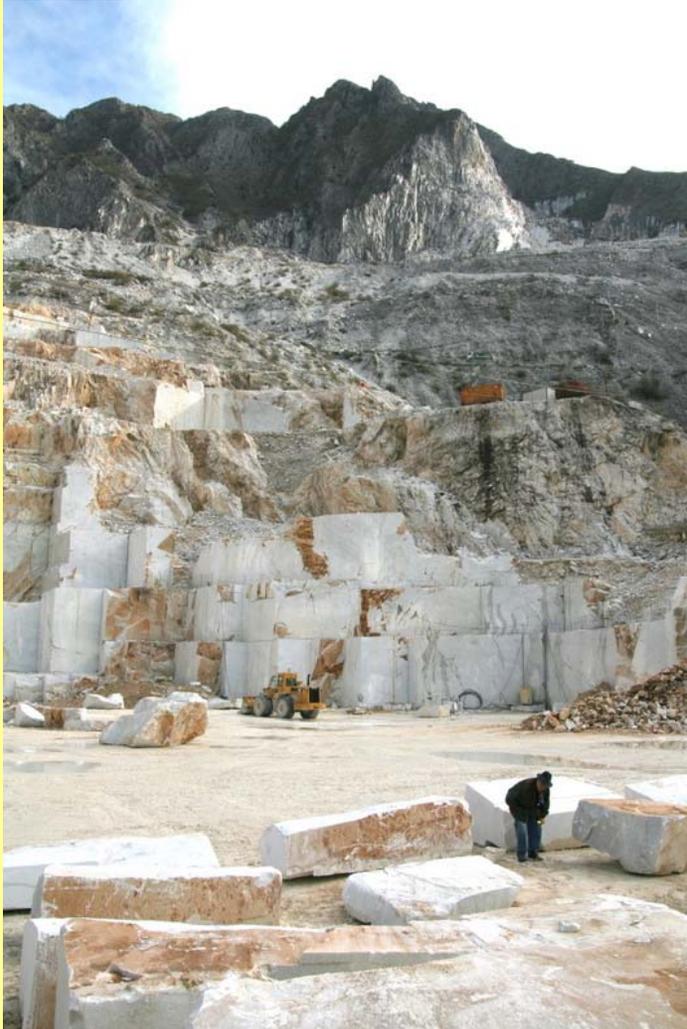
Wszystko zbudowane jest z ***atomów***.

Kamień, pióro, gra video, TV, pies, wszystko składa się z atomów.

Atomy budują cząsteczki i tworzą materiały.

Nanotechnologia zajmuje się manipulowaniem atomami i cząstkami tak, aby wytworzyć materiały, urządzenia, a nawet maszyny.

Odkąd tylko ludzie zaczęli “robić przedmioty”, zaczęli od **“dużych rzeczy”** (drewno, kamień, rudy metali) aby otrzymać, albo wydobyć, to co chcemy.



Teraz chcemy zaczynać od **“małych rzeczy”** (atomów i cząstek) i złożyć je tak, aby otrzymać to co chcemy.

Zaczynanie od “dużych rzeczy” oznaczało wytwarzanie rzeczy z taką precyzją, jaką “byliśmy w stanie osiągnąć”, ale - jednocześnie - wytwarzanie dużej ilości odpadów i zanieczyszczeń oraz zużywanie dużej ilości energii.

Kiedy lepiej opanowaliśmy technologię, precyzja się poprawiła, odpady i zanieczyszczenia zmniejszyły się, ale podejście pozostało takie samo.

Zaczynanie od “małych rzeczy” oznacza:

- ✓ **dokładność absolutną** (co do pojedynczego atomu !),
- ✓ **całkowitą kontrolę procesu** (brak odpadów ?),
- ✓ zużywanie mniejszej ilości **energii** (mniej CO₂, mniejszy efekt cieplarniany).

W tej chwili potrafimy zrobić jeszcze niewiele rzeczy: głównie w dziedzinie elektroniki, optyki oraz inżynierii materiałowej.

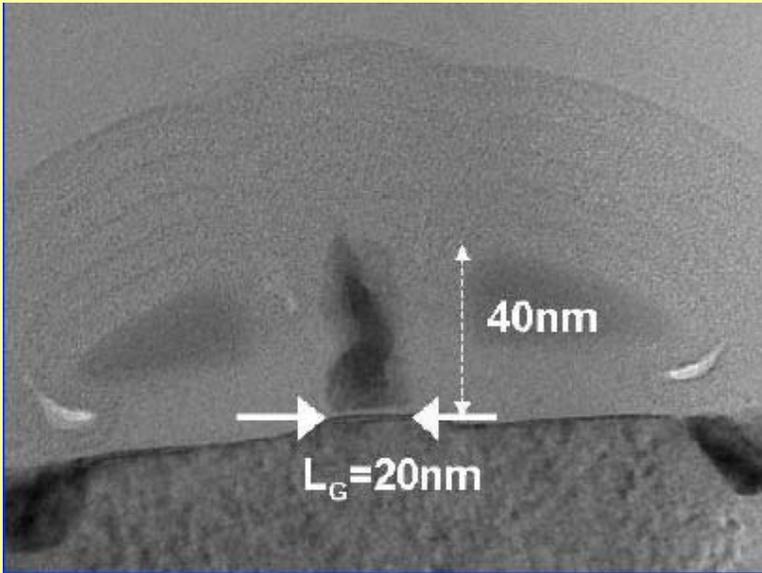
Na przykład **nano-cząsteczki**, takie jak w **kremach do opalania**.

Numer 8 czy 20 oznaczają ilość nano-cząstek w kremie pochłaniających promienie ultra-fioletowe.

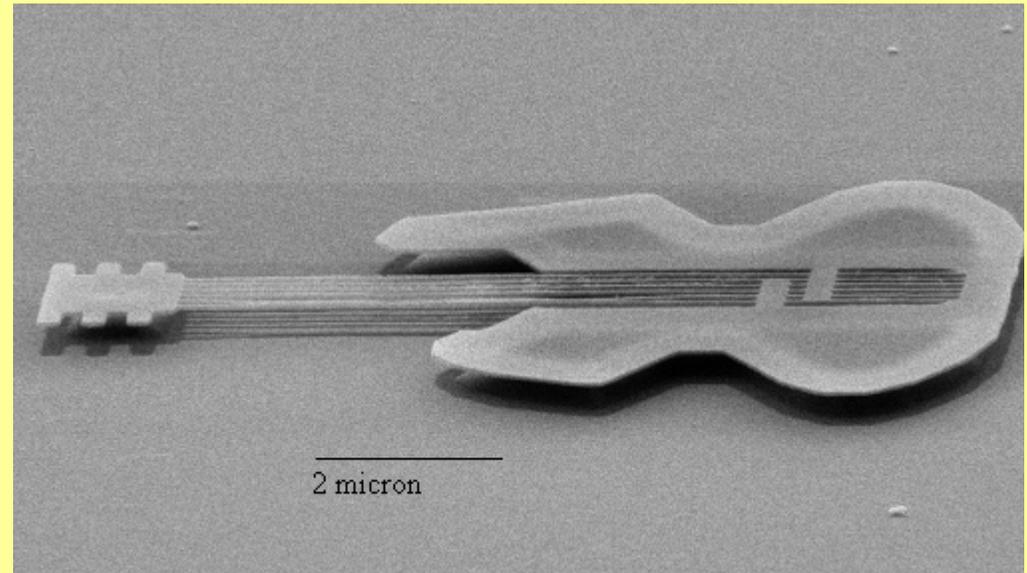


W przyszłości:

- *pomiary* z dokładnością do jednego atomu;
- *czujniki* wykrywające niebezpieczne substancje;
- *elektronika* gdzie wykorzystujemy każdy jeden elektron;
- *błony* rozdzielające z bardzo dużą dokładnością;
- *materiały* które mogą zmieniać własności zgodnie z naszymi potrzebami;
- nano-maszyny;
- *nano-roboty* które penetrują ciało człowieka aby je wyczyścić lub naprawić.



20nm
 tranzystor



najmniejsza gitara świata:

- ✓ długość – $10\ \mu\text{m}$
- ✓ sześć strun o średnicy $50\ \text{nm}$
(100 atomów)
- ✓ materiał krystalizowany
krzem

Czym jest nanotechnologia?

Termin ten wszedł pod koniec lat siedemdziesiątych do powszechnie stosowanego słownictwa techniki, chociaż został użyty po raz pierwszy już w 1974 roku, przez Taniguchiego.

Poprzedziło go wprowadzenie terminu **nanometrologia**, związanego z rozwojem precyzyjnych przyrządów pomiarowych opartych na metodach optycznych wykorzystujących między innymi promieniowanie rentgenowskie.

Celowość zawężenia terminu „nanotechnologie”

Racjonalne jest użycie terminu „nanotechnologia” tylko wówczas, gdy chodzi nie tylko o technologię operującą cząsteczką po cząsteczce i atomem po atomie ale także taką, która ma cechy jakościowo różniące ją od dotychczasowych technologii.

Cechy te to zaczerpnięte z obserwacji przyrody ożywionej:

- ✓ **samoorganizacja**: wytwarzanie samorzutnie przez atomy i małe cząsteczki odpowiednich układów od prostych do najbardziej złożonych;
- ✓ **samoreplikacja**: wytwarzanie „fabryk” które mogą produkować dalsze ” fabryki”.

CO TO JEST NANOTECHNOLOGIA?

Nanotechnologia zajmuje się manipulowaniem materią w nano skali tak, aby wytworzyć nowe materiały, urządzenia i systemy.

struktury
(np. materiały)

urządzenia
(np. czujniki)

systemy
(np. NEMS)

Nanotechnologie –stan obecny

- **wytwarzanie na poziomie molekularnym** – dokładność do poziomu atomu
- **nanorurki** – tworzenie super lekkich materiałów oraz zaawansowanych technologii wyświetlaczy ciekłokrystalicznych LCD (ang. **L**iquid **C**rystal **D**isplay)
- **medycyna** – urządzenia które poruszają się w krwiobiegu
- **nanokompozyty** – wspomaganie w znaczącej poprawie własności materiałów kompozytowych
- **elektronika** – zaawansowana technologia wytwarzania układów scalonych CMOS (ang. **C**omplementary **M**etal **O**xide **S**emiconductor) oraz tranzystorów krzemowych z litografią

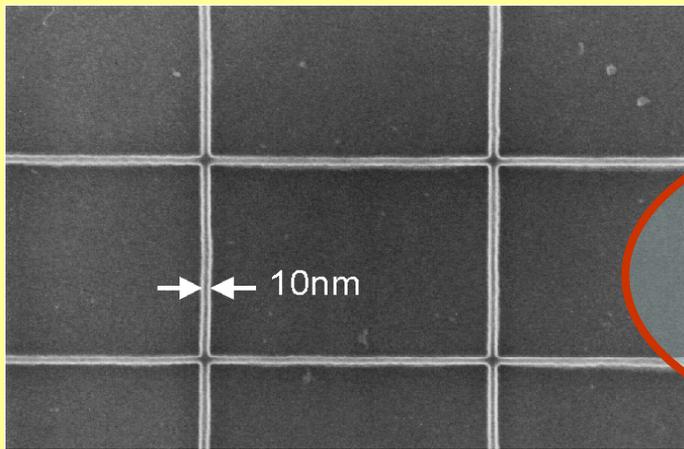
Systemy mikroelektromechaniczne

NEMS

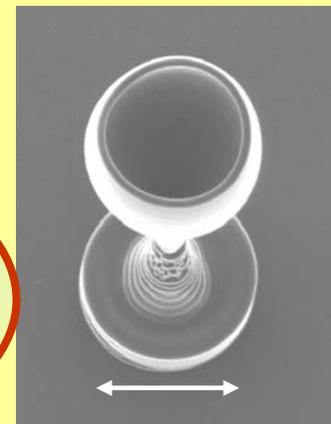
1. Ogólna charakterystyka
- 2. Technologia wytwarzania**
3. Przykłady zastosowań

Podstawowe techniki wytwarzania NEMS

- wytwarzanie promieniowaniem
- samoorganizacja
- reakcja chemiczna
- modyfikacja chemiczna
- inne



EB litografia z warstwą rezystancyjną z kaliksarenu (2-wymiarowy nano wzorec)



2.75µm

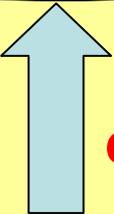
FIB wzbudzona chemiczna reakcja (3-wymiarowa nanostruktura)

Wytwarzanie promieniowaniem

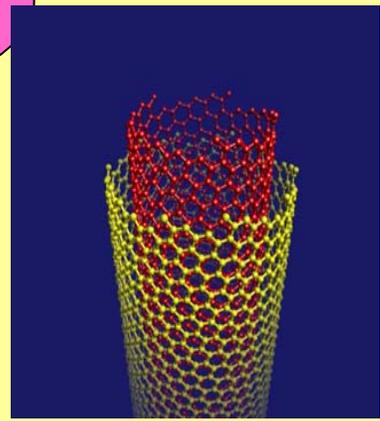


górn-dół

Nanotechnologia



dół-góra



Nanorurka węglowa (średnica ~1nm gładkość na poziomie atomu)

Samoorganizująca się membrana organiczna

Małe cząstki

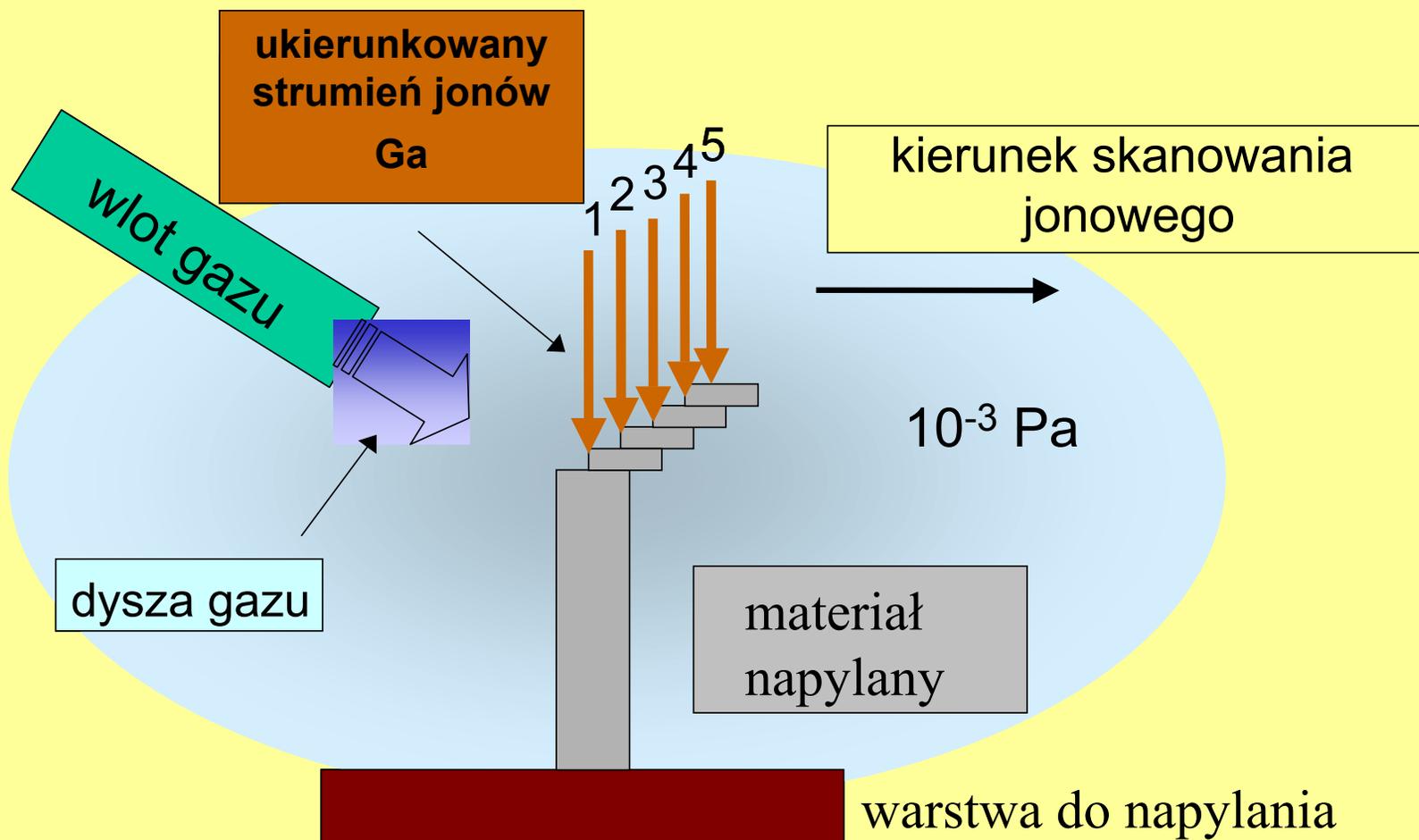
DNA

C60

Samoorganizacja
Reakcja chemiczna
Modyfikacja chemiczna

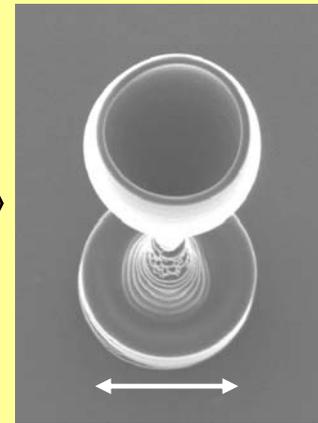
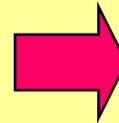
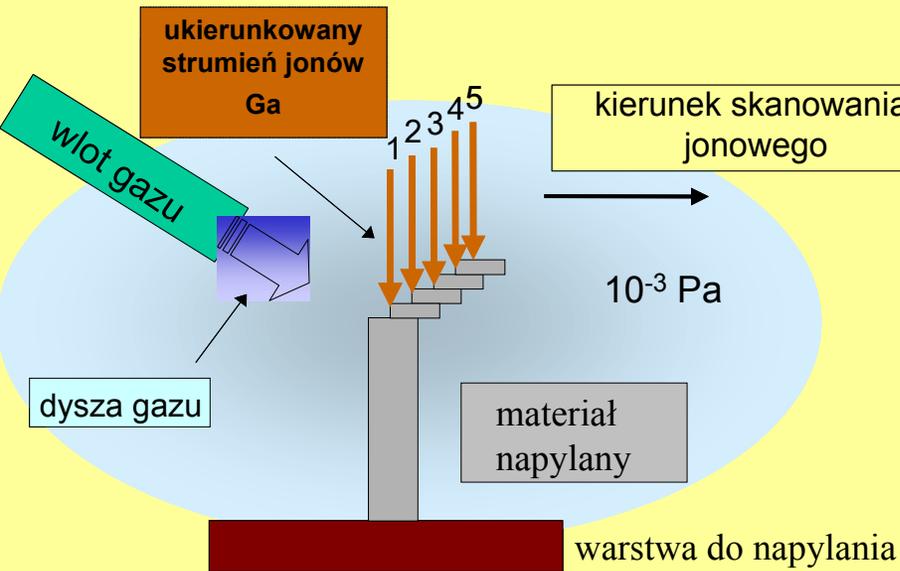
Nakładanie par chemicznych ukierunkowanym strumieniem jonów

(Focused-ion-beam chemical-vapor-deposition)



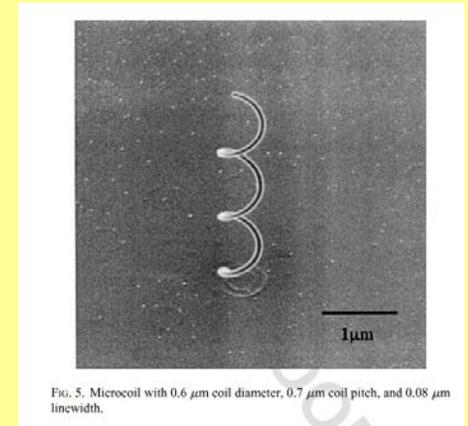
Nakładanie par chemicznych ukierunkowanym strumieniem jonów

wytwarzanie 3-wymiarowych nanostruktur



2.75 μ m

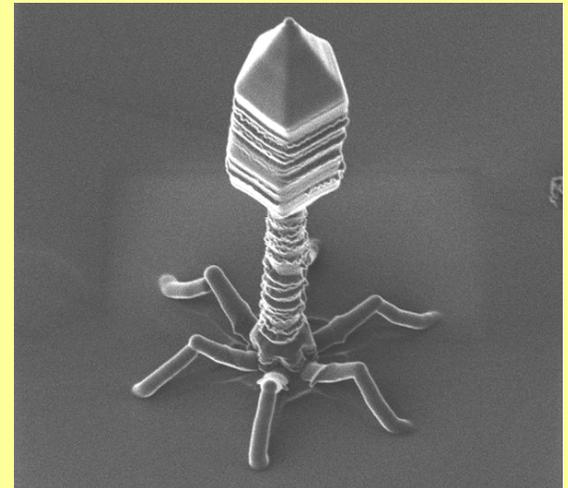
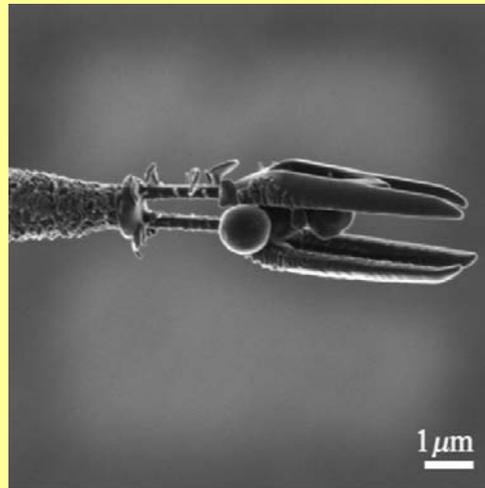
kielich do wina
wykonany z węgla
(diamentu)



nano wstęga



Nakładanie par chemicznych ukierunkowanym strumieniem jonów



Systemy mikroelektromechaniczne

NEMS

1. Ogólna charakterystyka
2. Technologia wytwarzania
3. **Przykłady zastosowań**

Zastosowania nanotechnologii

```
graph TD; A[Zastosowania nanotechnologii] --> B[struktury  
(np.materiały)]; A --> C[urządzenia  
(np. czujniki)]; A --> D[systemy  
(np. NEMS)];
```

struktury
(np.materiały)

urządzenia
(np. czujniki)

systemy
(np. NEMS)

Zastosowania nanotechnologii

```
graph TD; A[Zastosowania nanotechnologii] --> B[struktury  
(np. materiały)]; A --> C[urządzenia  
(np. czujniki)]; A --> D[systemy  
(np. NEMS)];
```

struktury
(np. materiały)

urządzenia
(np. czujniki)

systemy
(np. NEMS)

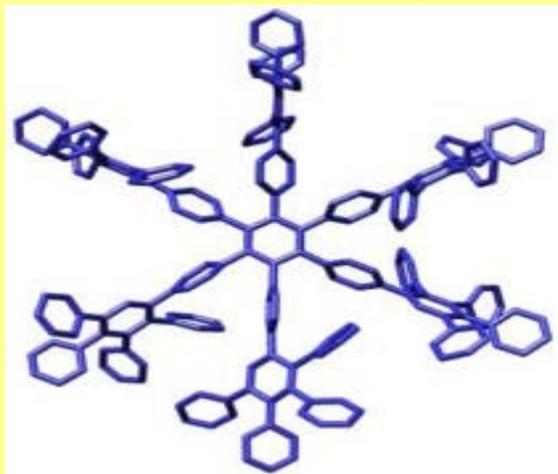
Nanomateriały - wszelkie materiały, w których występują regularne struktury na poziomie molekularnym, tj. nie przekraczającej 100 nanometrów.

Zmniejszając rozmiar uporządkowanych struktur materiałów można uzyskać znacznie lepsze właściwości fizyko-chemiczne, mechaniczne, itp.

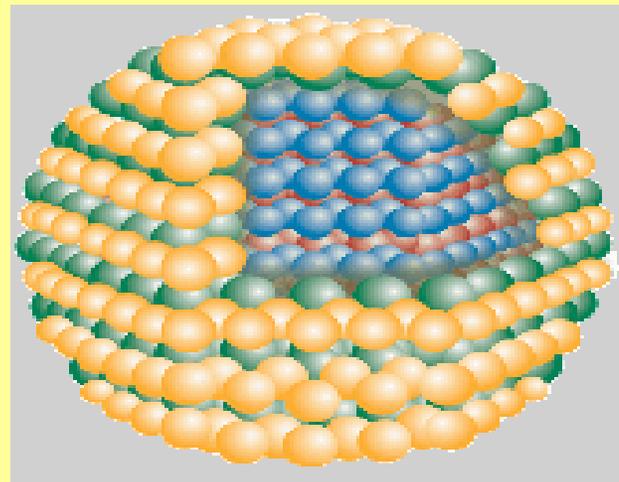
Wiele struktur biologicznych (np. skóra), jest w istocie rodzajem nanomateriałów.

Klasyfikacja nanomateriałów

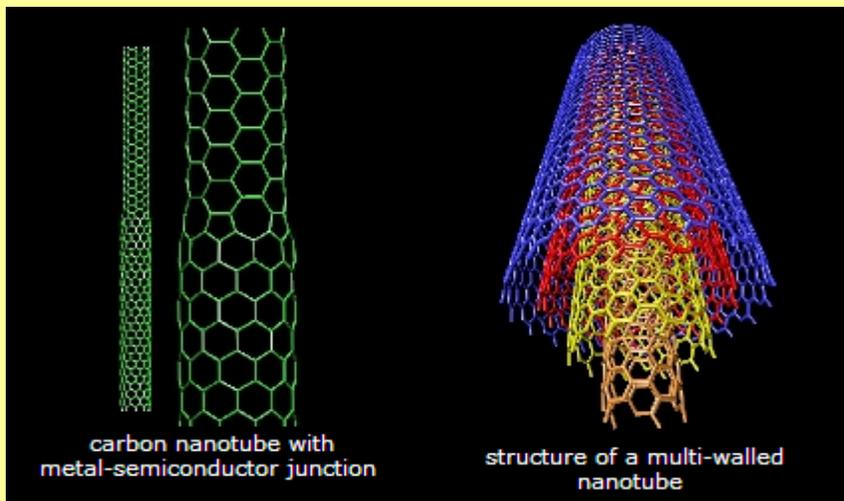
dendrymery



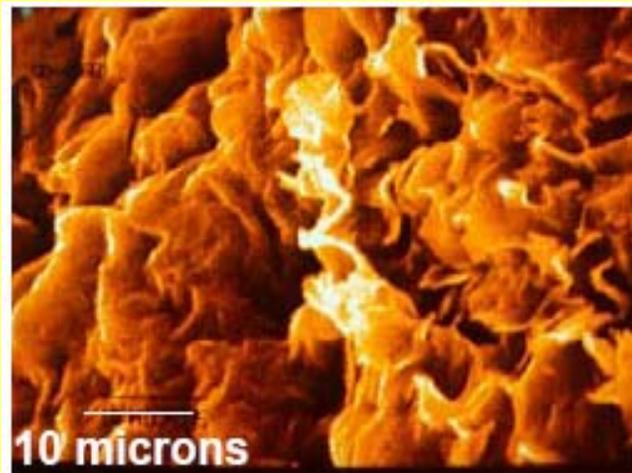
Materiały na bazie metalu



Materiały na bazie węgla

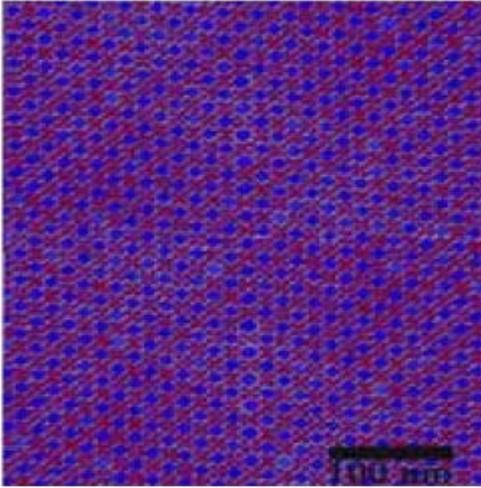


kompozyty

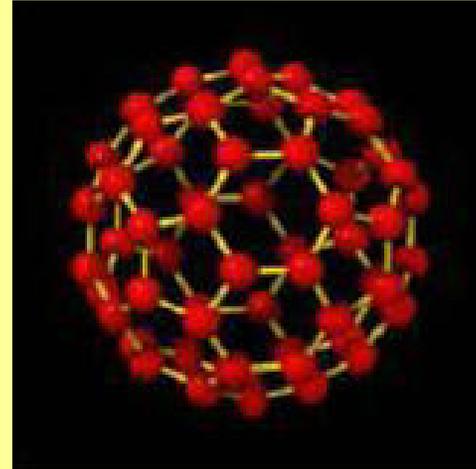


Klasyfikacja nanomateriałów

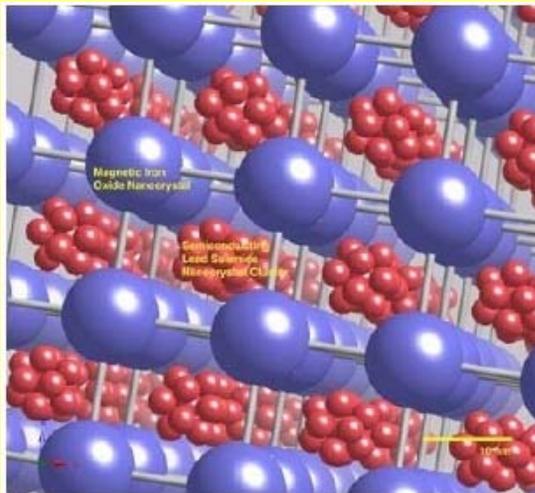
nanocząsteczki



fulereny

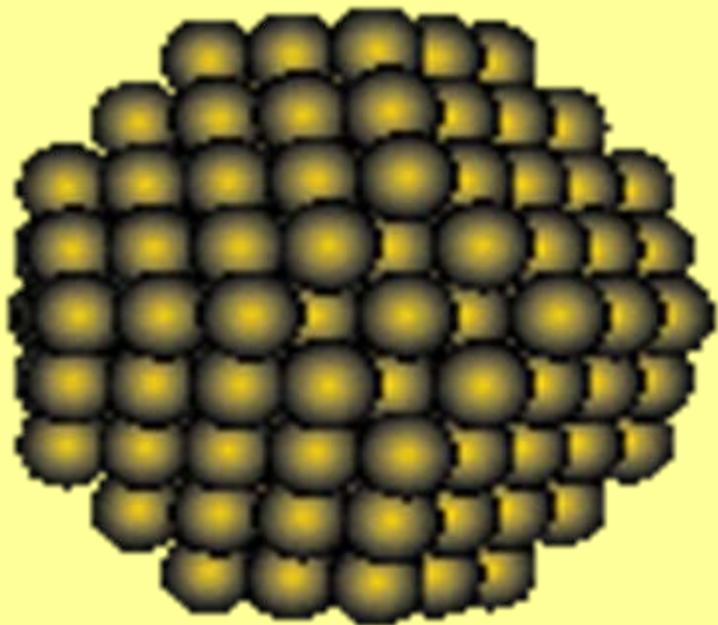


nanokryształy

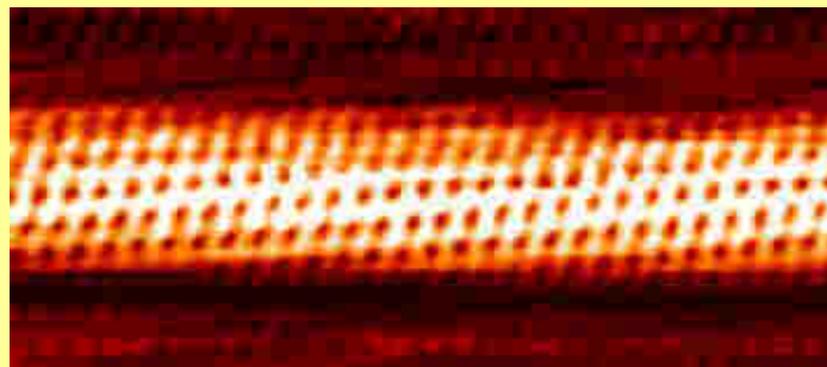
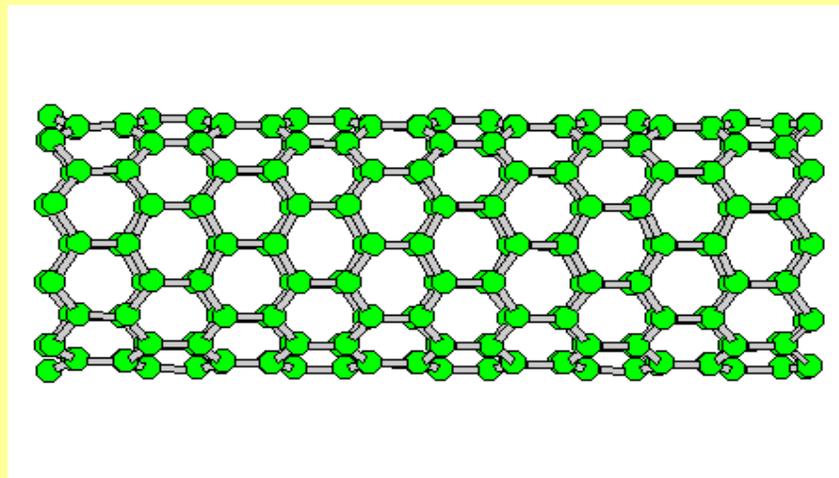


nanodruty





Nanocząsteczki złota
~ 300 atomów złota



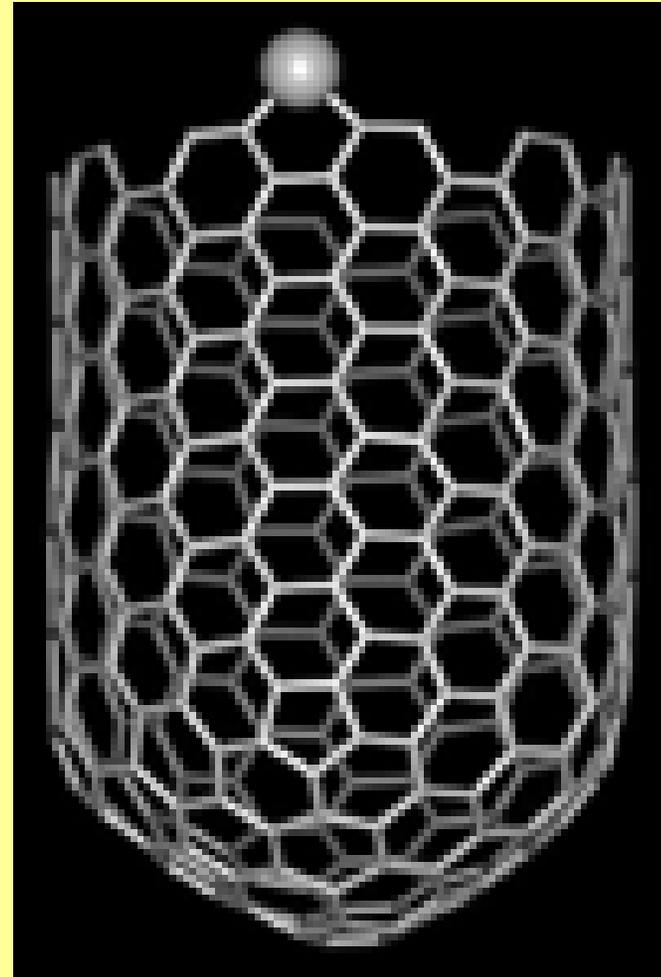
Nanorurki węgla

nowe własności

- fizyczne
- chemiczne
- biologiczne
- mechaniczne
- elektryczne
- optyczne

przykład: nanorurka węglowa

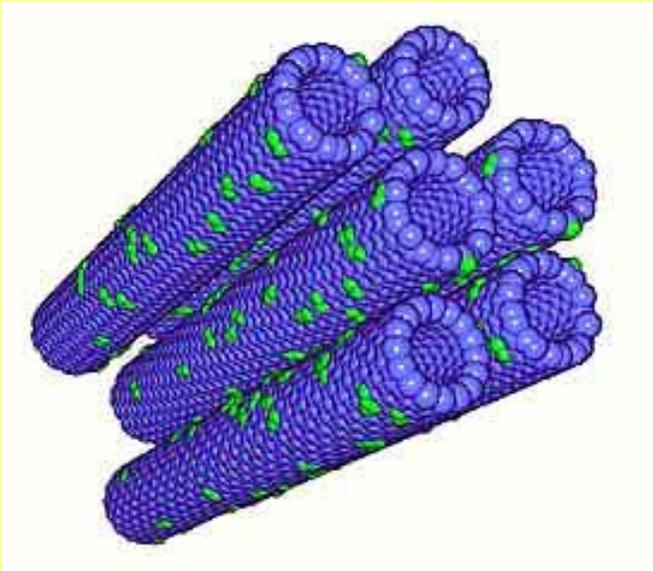
- moduł Young'a > 1000 MPa (*stal* ~ 200 MPa)
- wytrzymałość na rozciąganie ~ 200 GPa (*stal* ~ 1000 MPa)
- sztywność:
porównywalna z diamentem



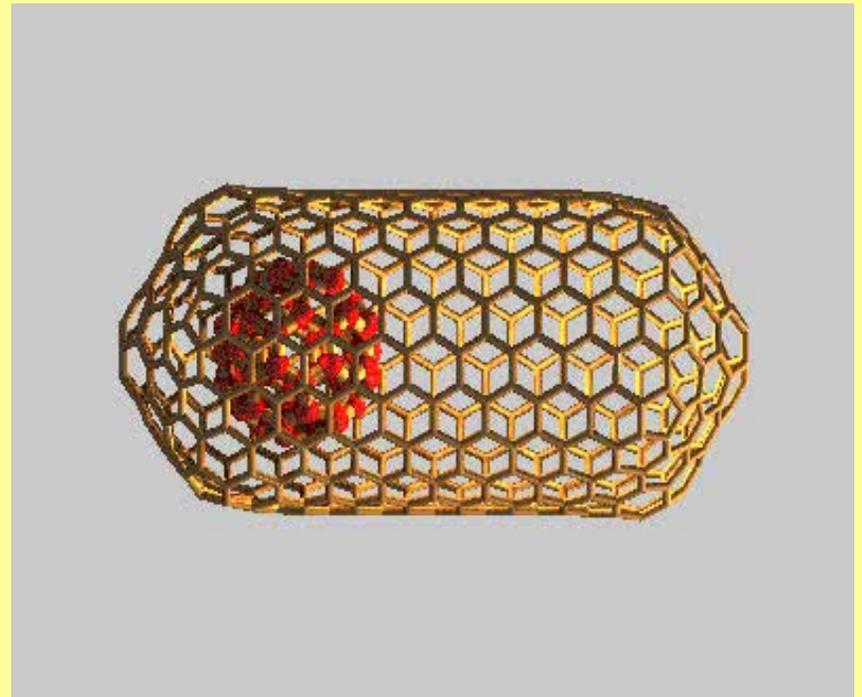
Nanorurki

Nanorurki - struktury nadcząsteczkowe, mające postać pustych w środku walców.

Współcześnie najlepiej poznane są nanorurki węglowe, których ścianki zbudowane są ze zwiniętego grafenu (jednoatomowej warstwy grafitu).

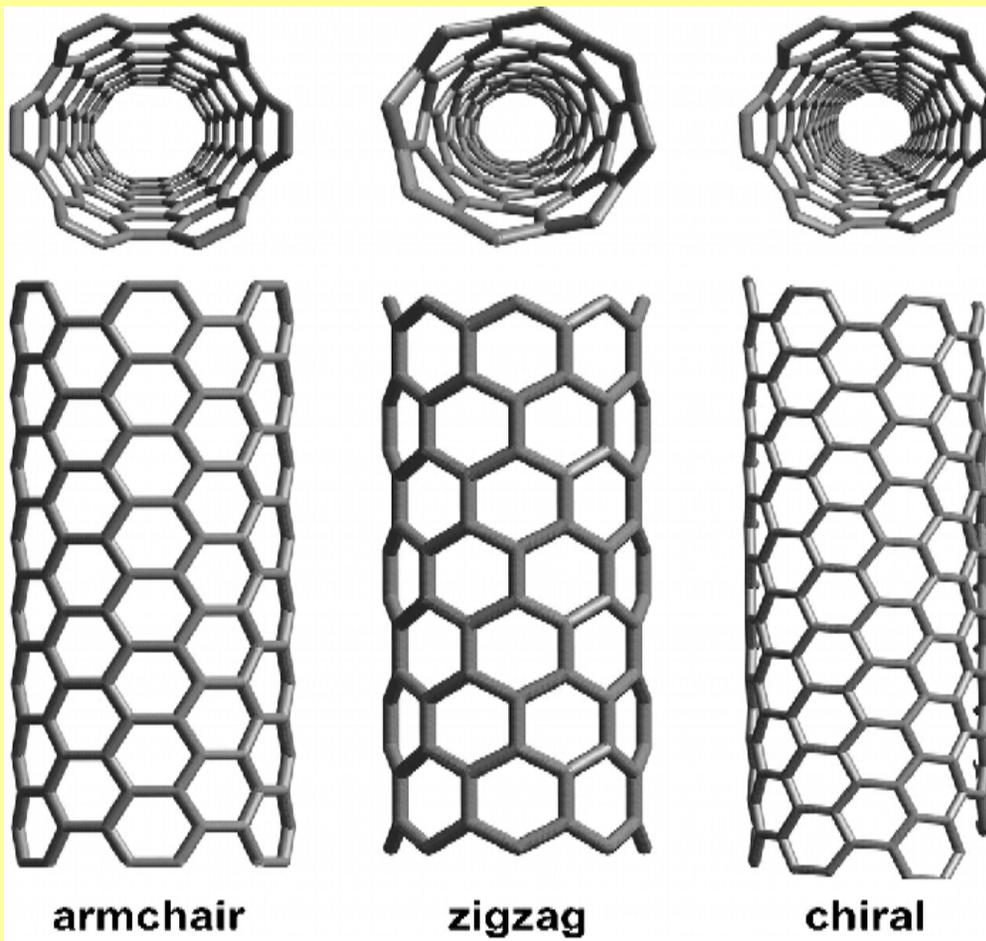


nanorurki węglowe



układ pamięci oparty o nanorurki (2004)

struktury nanorurek węglowych



armchair

zigzag

chiral

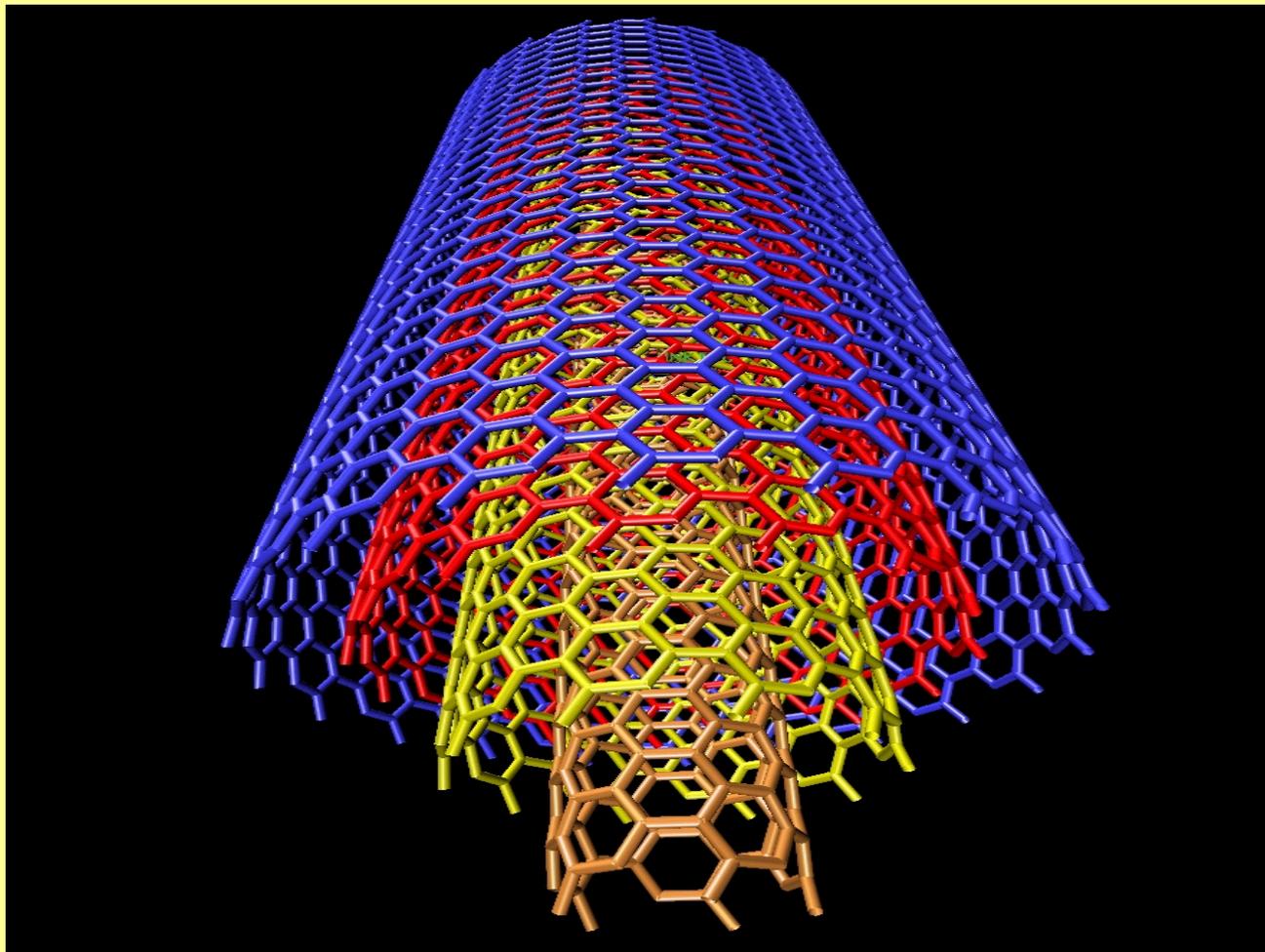
(n, n)

$(n, 0)$

(n, m)

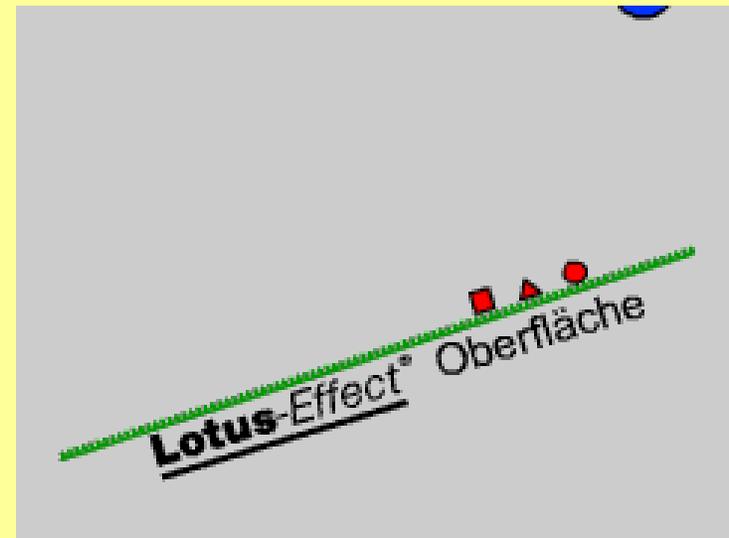
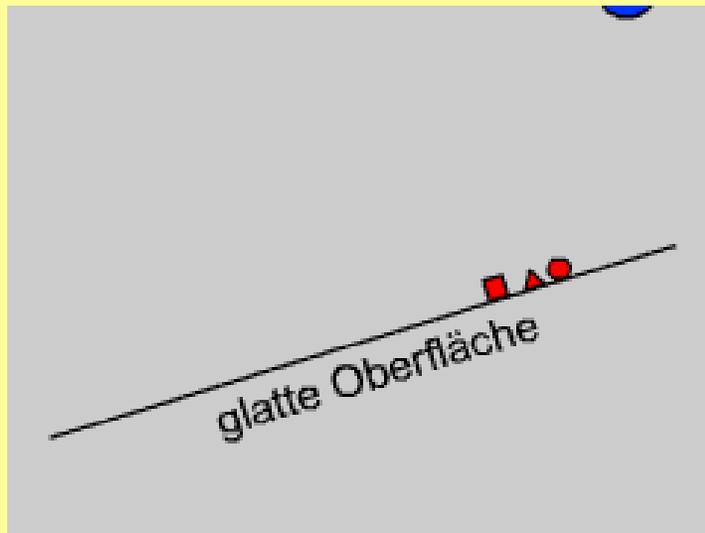
gdzie $n \neq m$

Połączenia atomów węgla w tych nanorurkach są silniejsze niż w diamentcie!





Nanotechnologia otwiera przed nami zupełnie niespotykane do tej pory możliwości zastosowań, które powodują rewolucyjne zmiany we właściwościach materiałów lub ich powierzchni pokrytych **nanocząsteczkami**.



Natura posłużyła naukowcom za wzór swoim efektem lotosu.

Posiadające specyficzną strukturę powierzchni liście kwiatu lotosu są zawsze czyste i suche.

W wyniku tego nie przyłga do ich powierzchni żaden brud a wiatr i deszcz mogą łatwo usunąć każde zanieczyszczenie.

Z liści indyjskiego kwiatu lotosu, krople deszczu spływają w kształcie perełek jak woda z gorącej kuchennej płyty i zabierają ze sobą brud oraz zarodki chorobotwórcze.

Zastosowania nanotechnologii

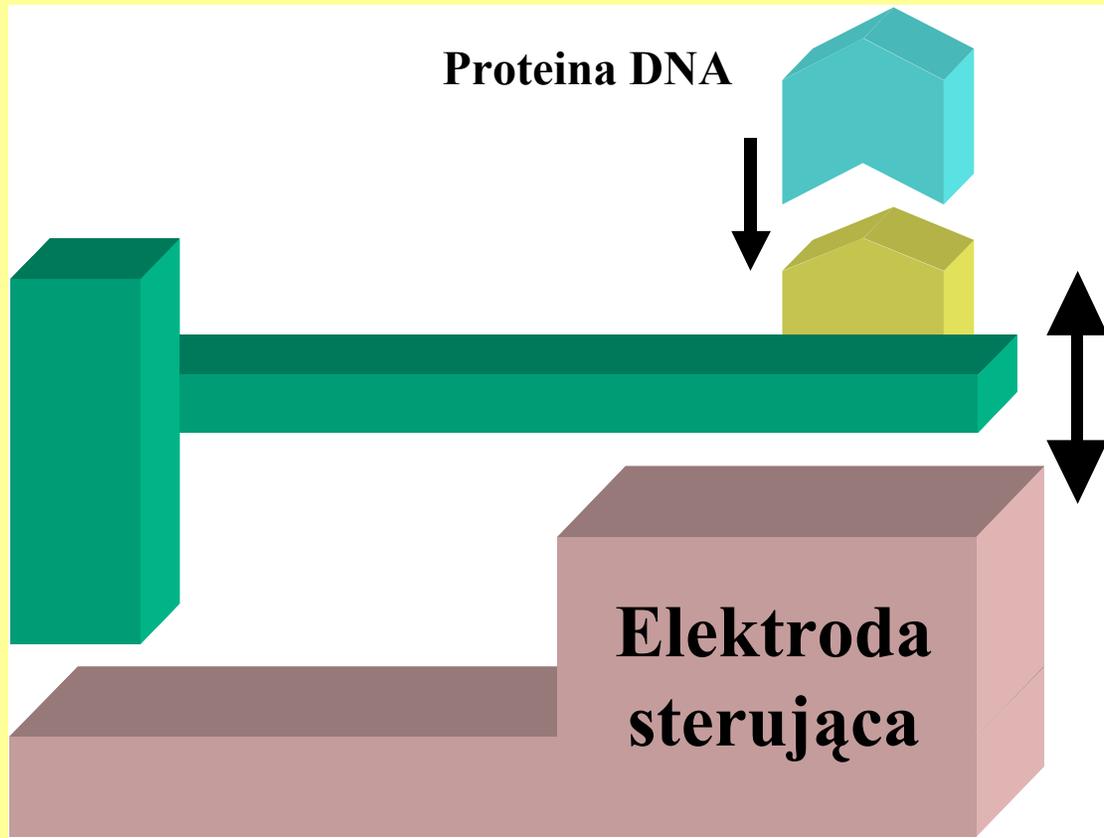
```
graph TD; A[Zastosowania nanotechnologii] --> B[urządzenia  
(np. czujniki)]; A --> C[struktury  
(np. materiały)]; A --> D[systemy  
(np. NEMS)];
```

struktury
(np. materiały)

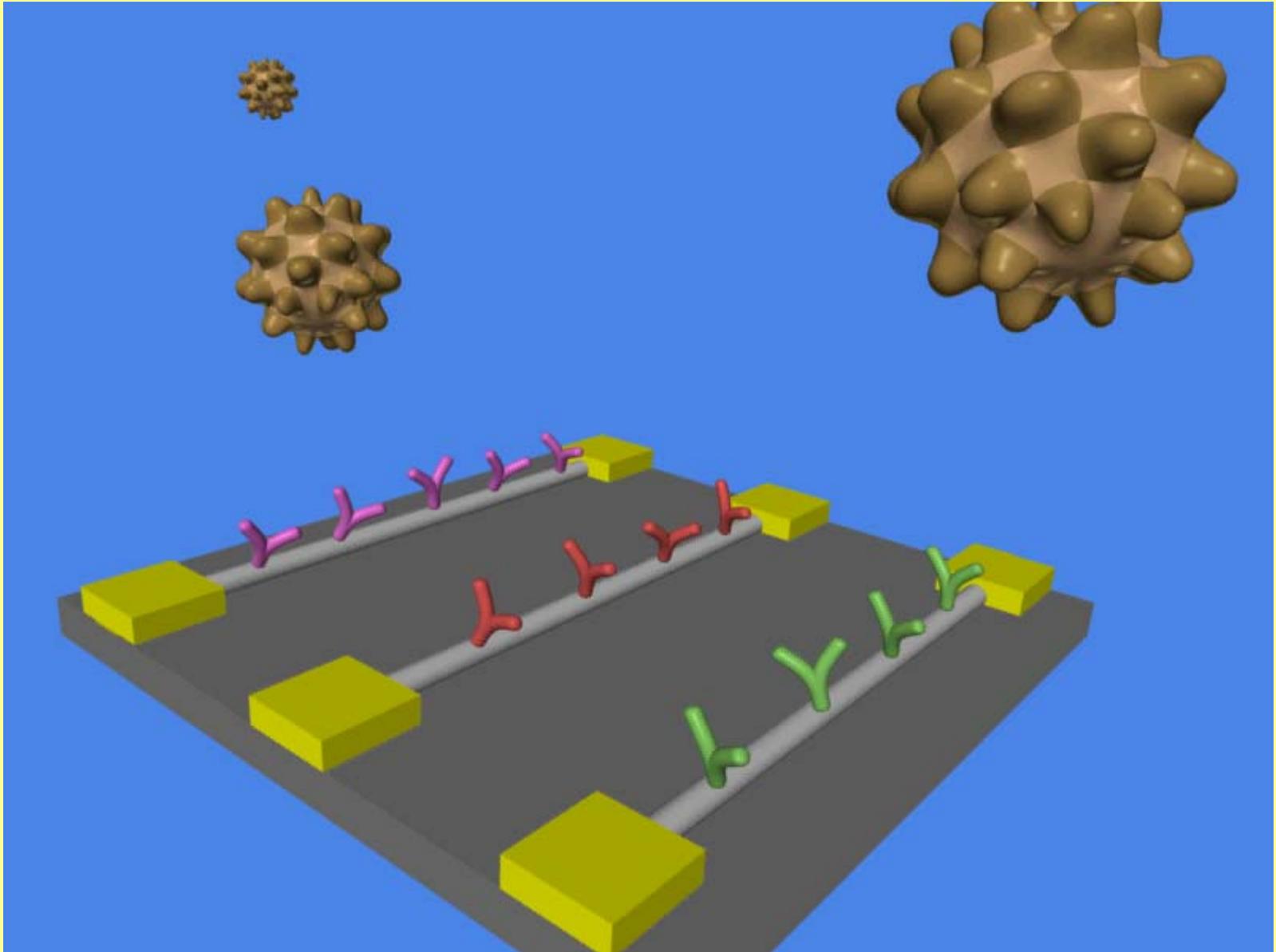
urządzenia
(np. czujniki)

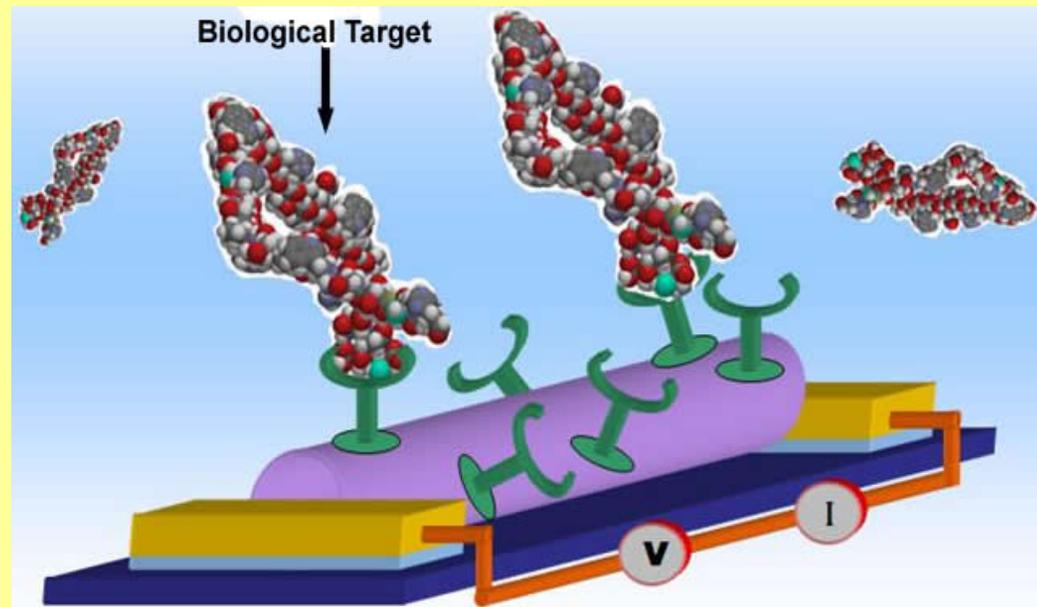
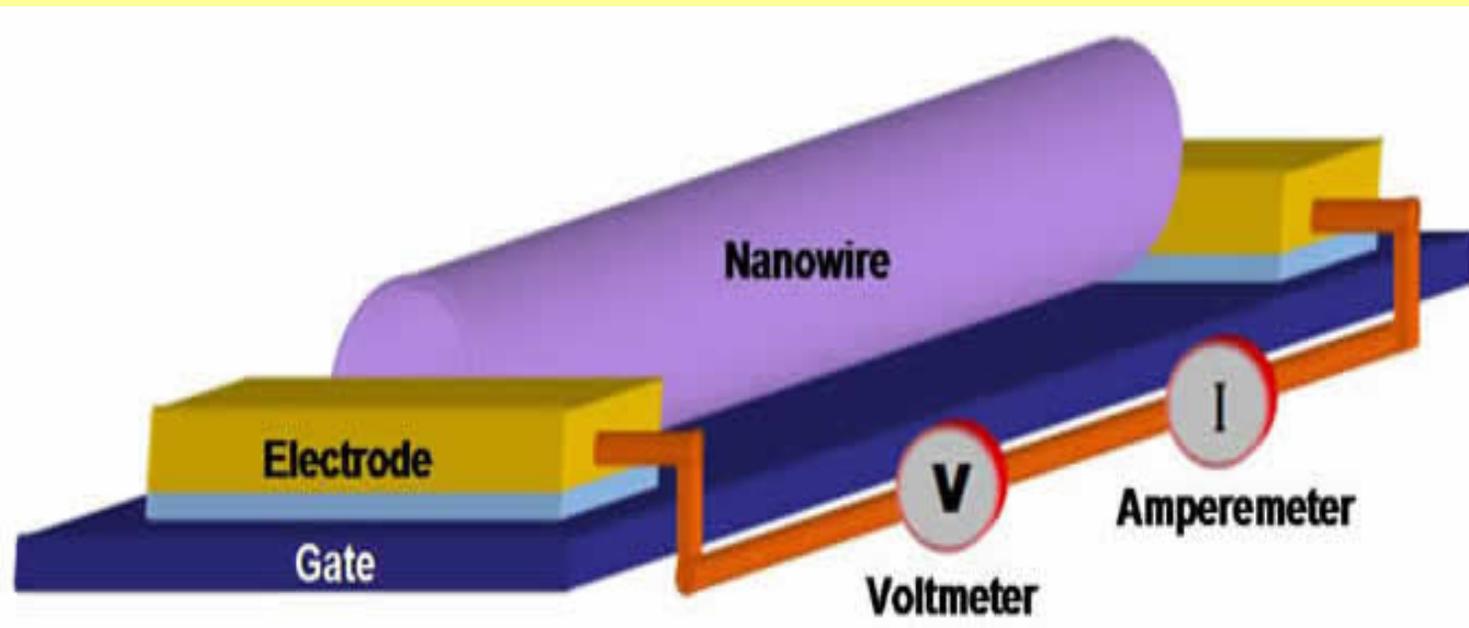
systemy
(np. NEMS)

Nanobioczujnik

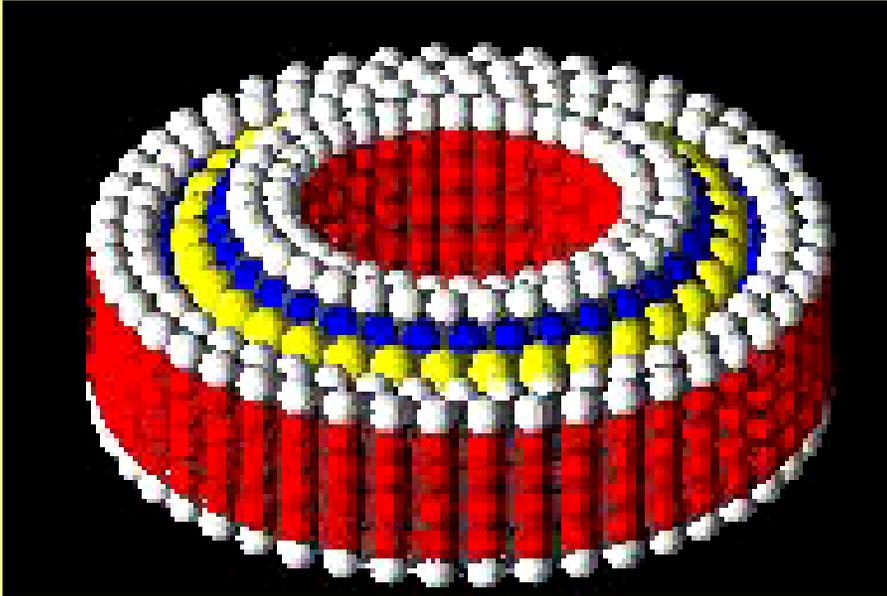


Detekcja wirusów

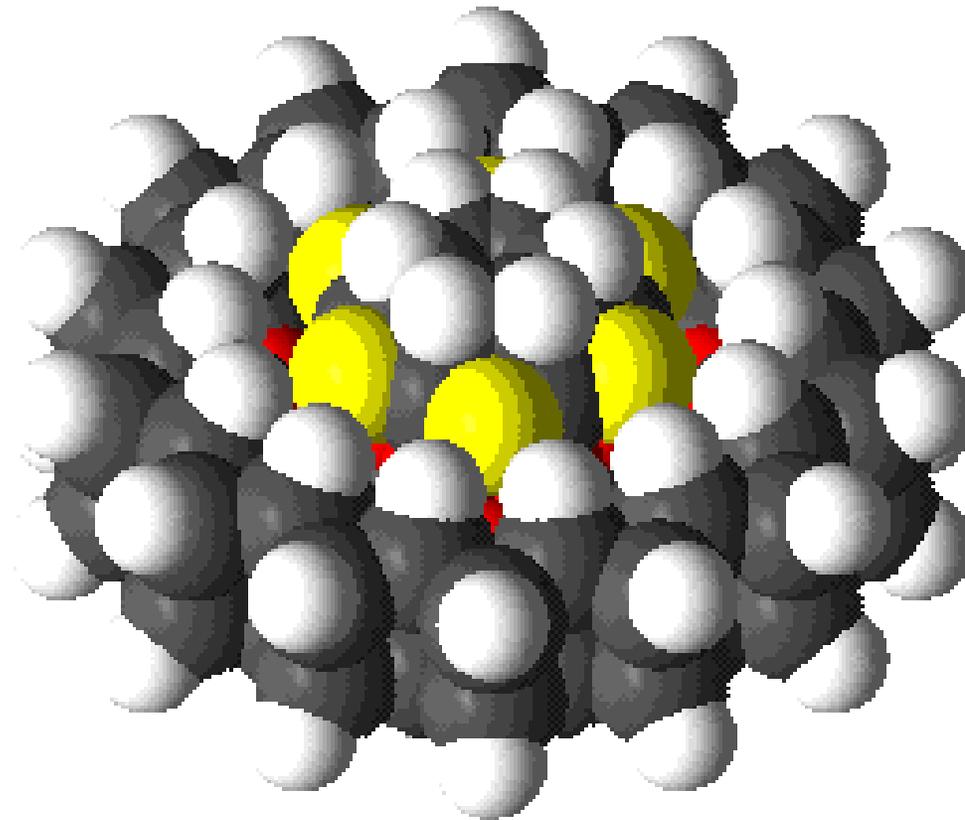




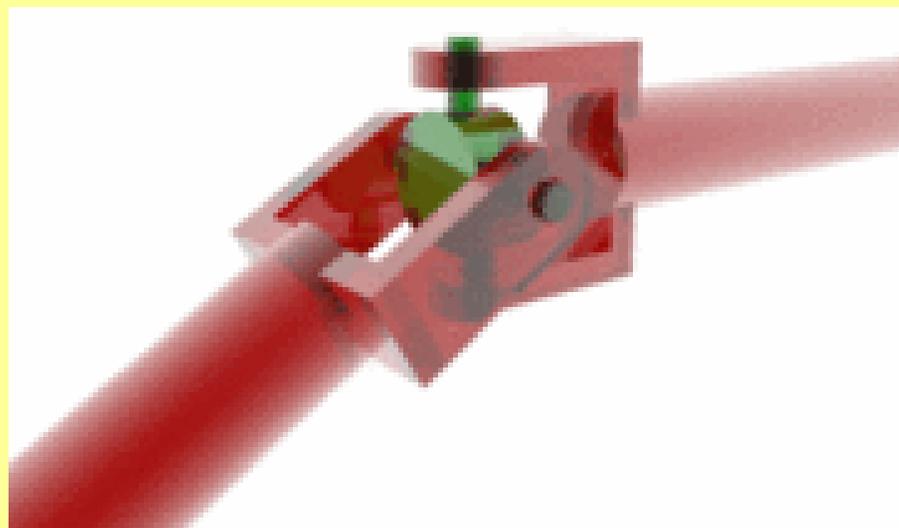
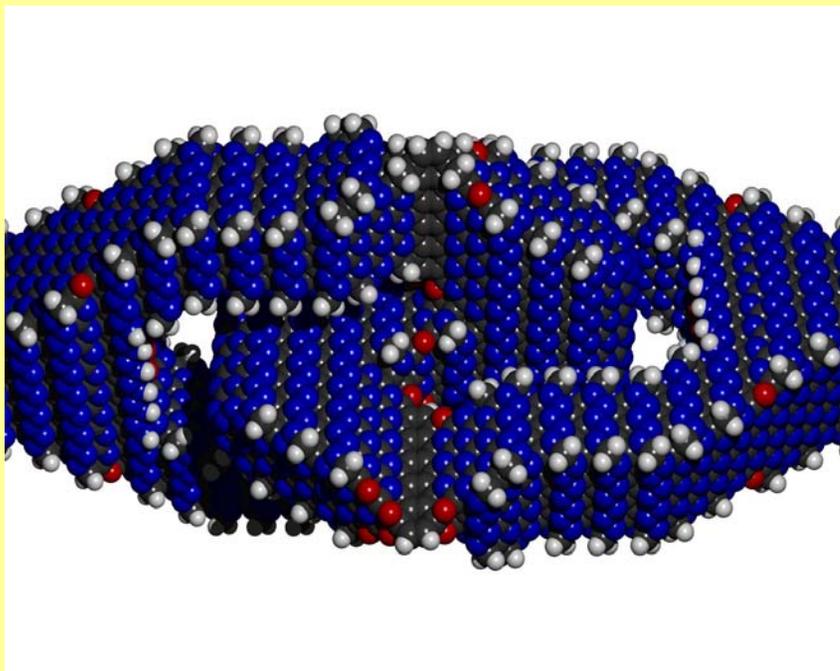
łożysko



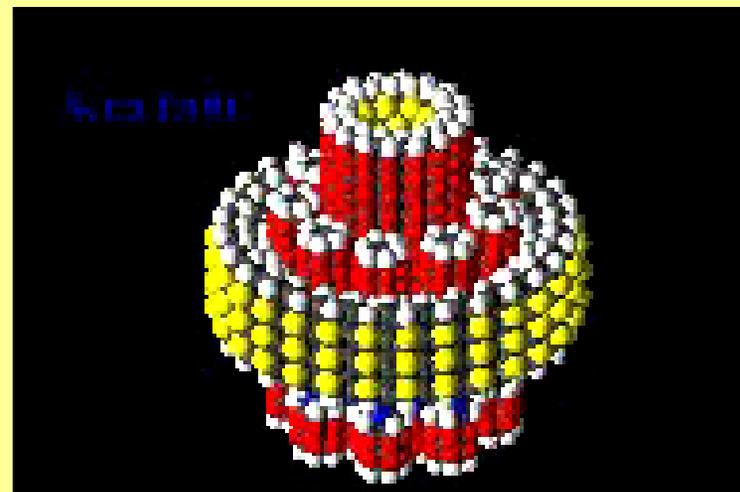
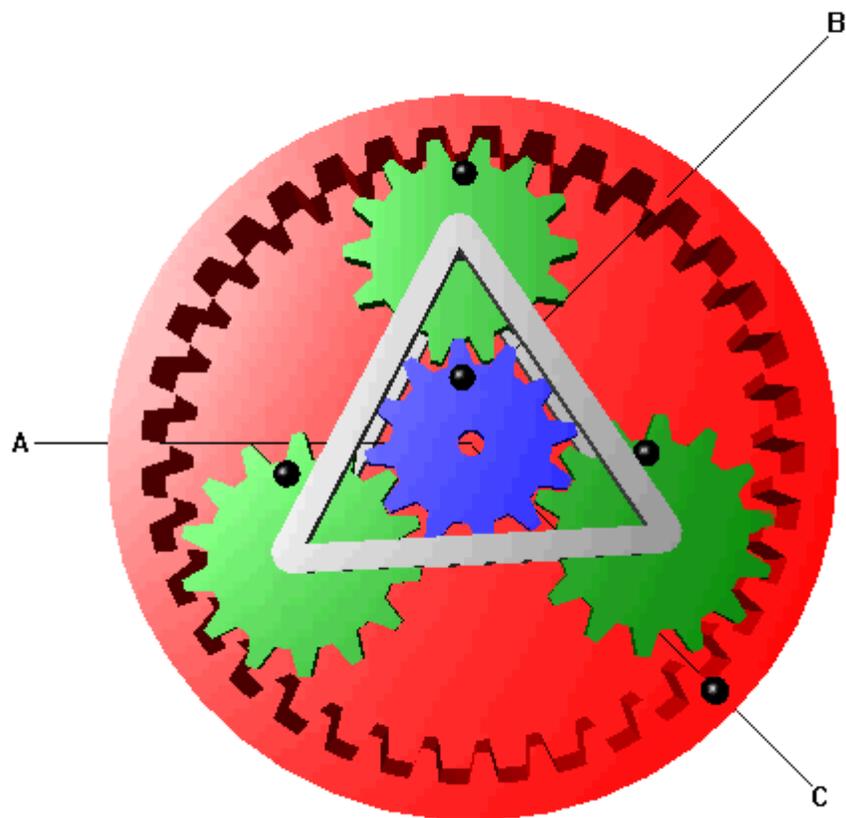
łożysko



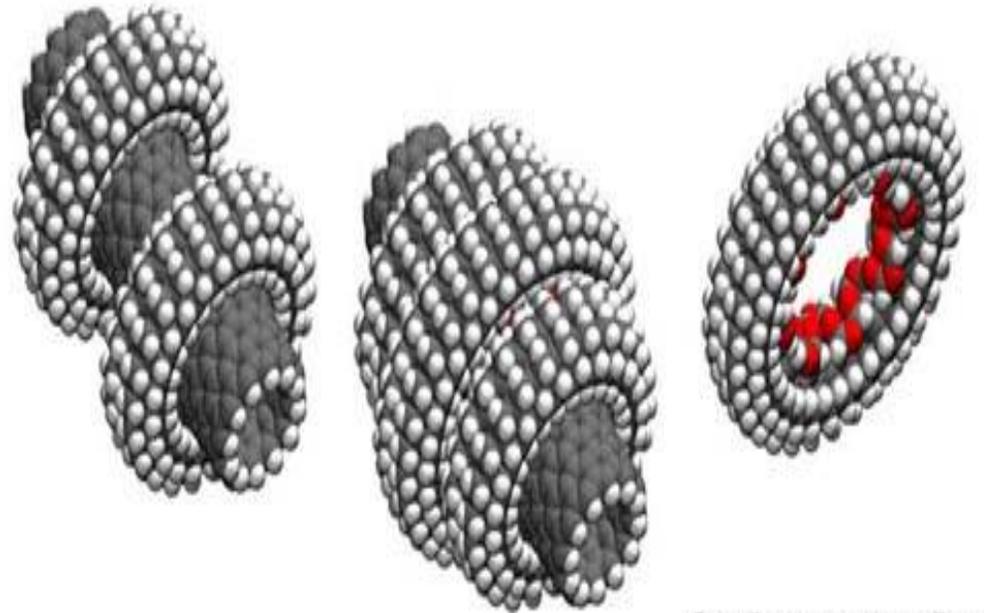
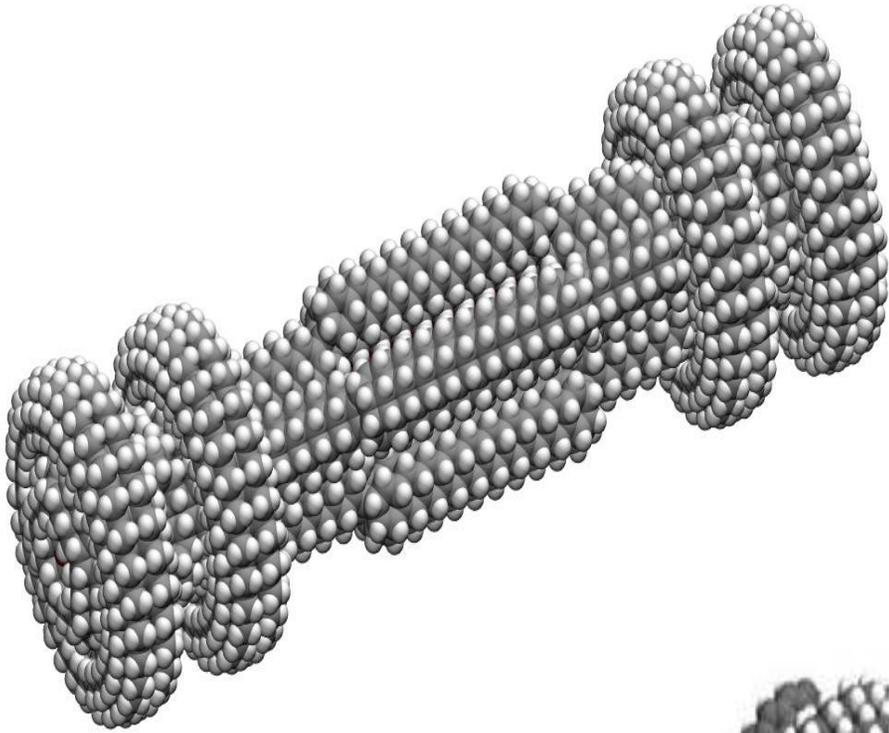
przegub Cardana



przekładania planetarna



przekładnie



Zastosowania nanotechnologii

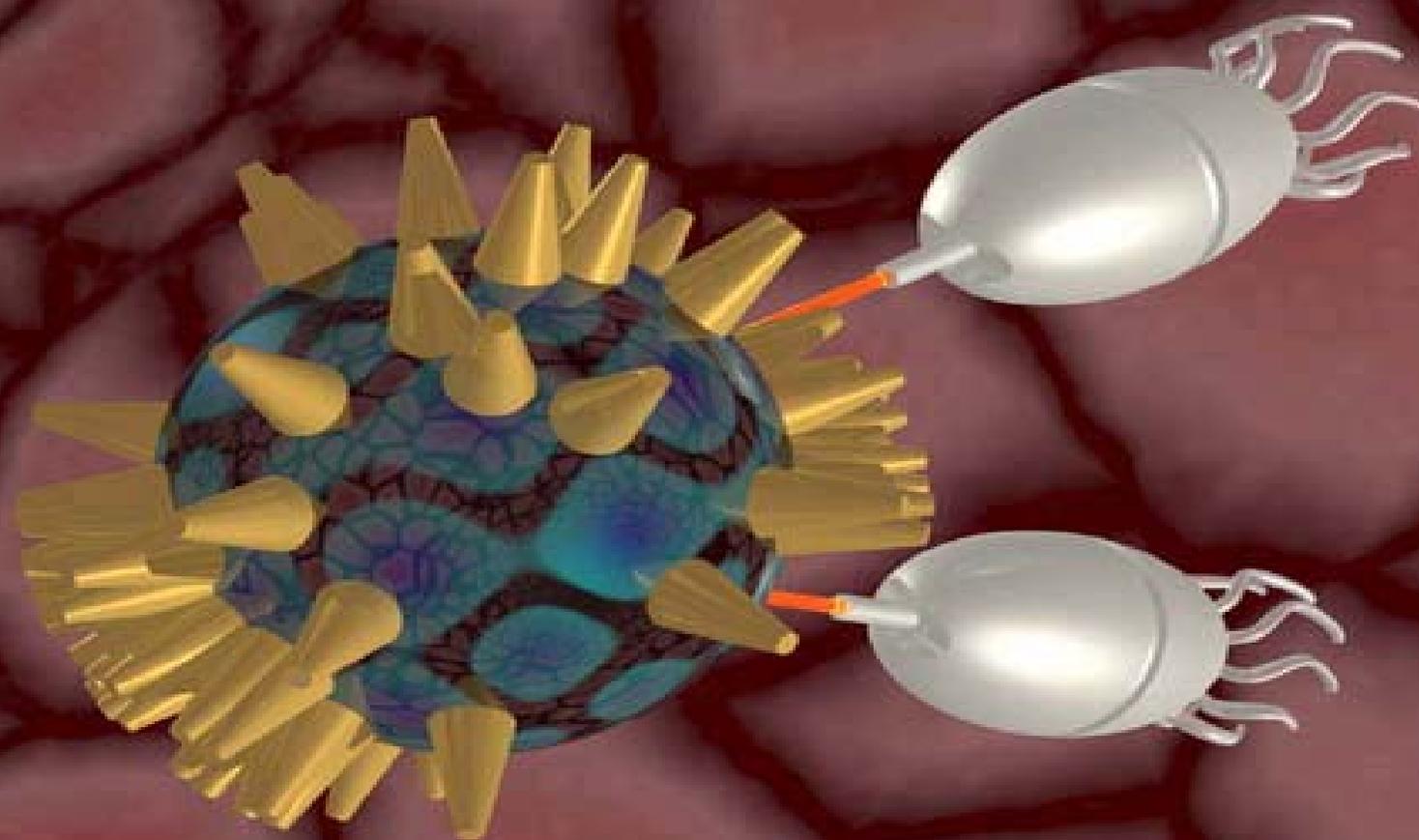
```
graph TD; A[Zastosowania nanotechnologii] --> B[struktury  
(np.materiały)]; A --> C[urządzenia  
(np. czujniki)]; A --> D[systemy  
(np. NEMS)];
```

struktury
(np.materiały)

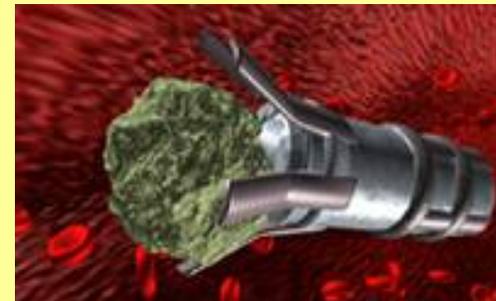
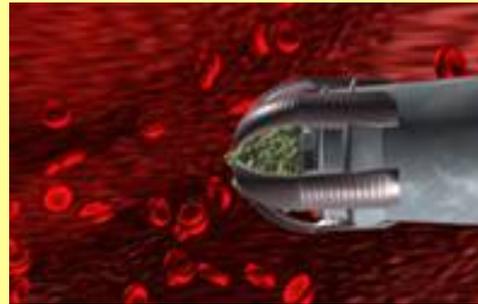
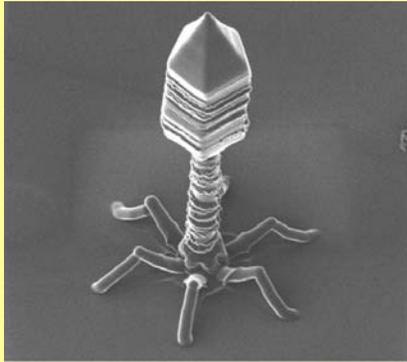
urządzenia
(np. czujniki)

systemy
(np. NEMS)



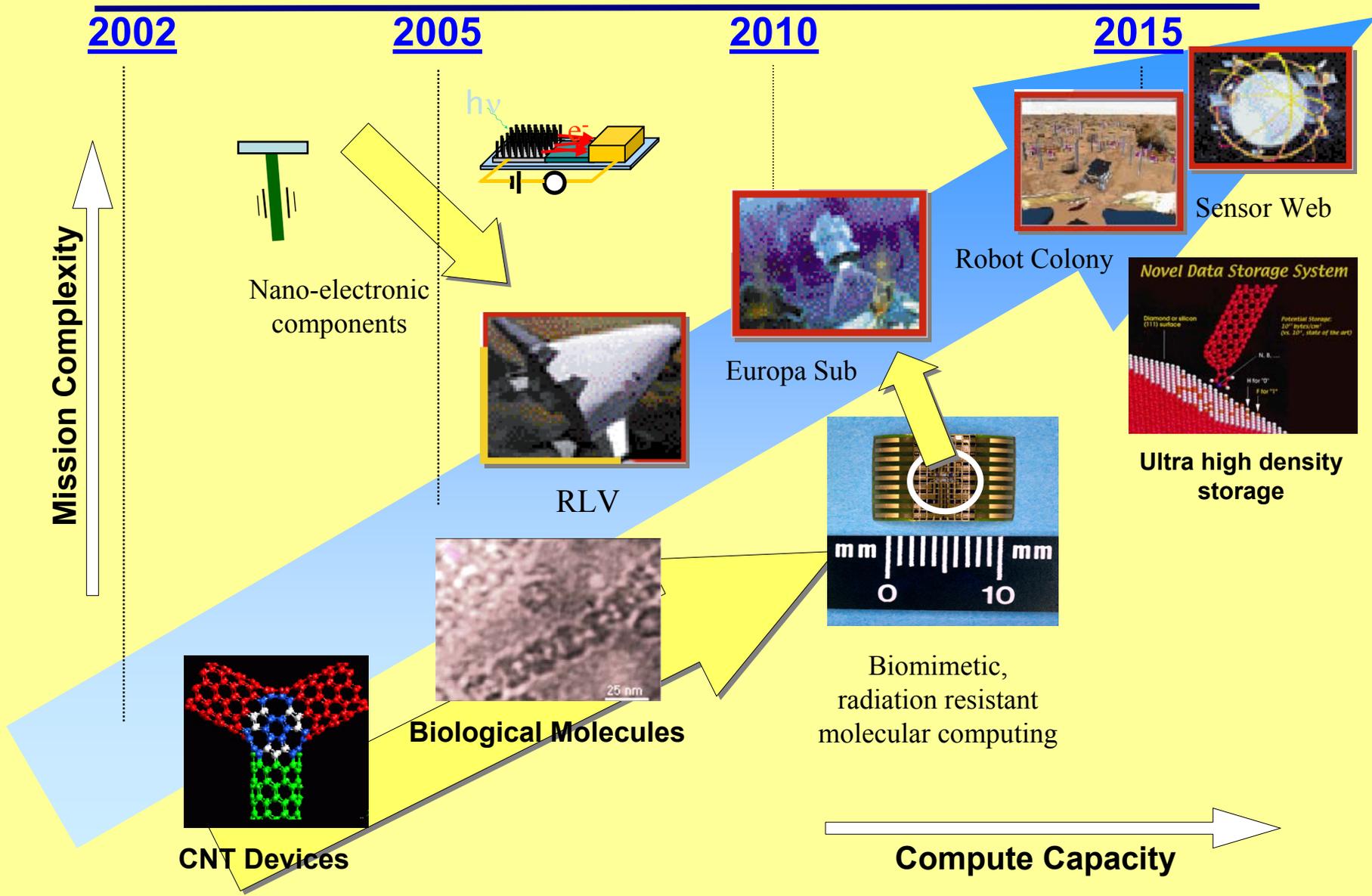


Graficzna reprezentacja nanorobota 'pracującego' w naczyniach krwionośnych w celu usunięcia komórek rakowych



nanopompa





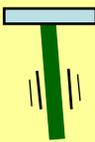
2002

2005

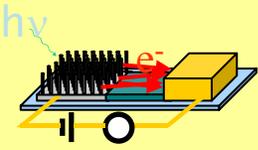
2010

2015

Mission Complexity



Nano-electronic components



RLV



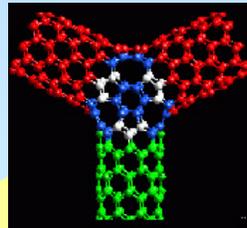
Europa Sub



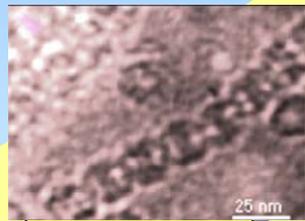
Robot Colony



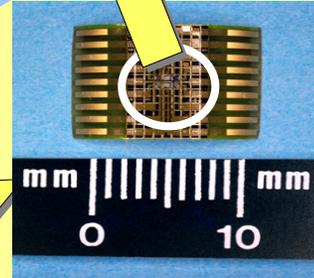
Sensor Web



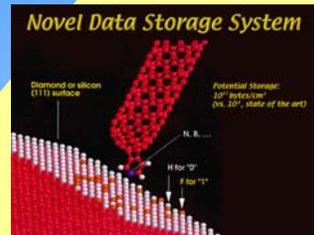
CNT Devices



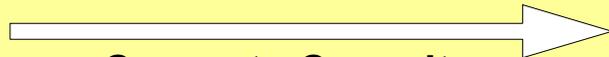
Biological Molecules



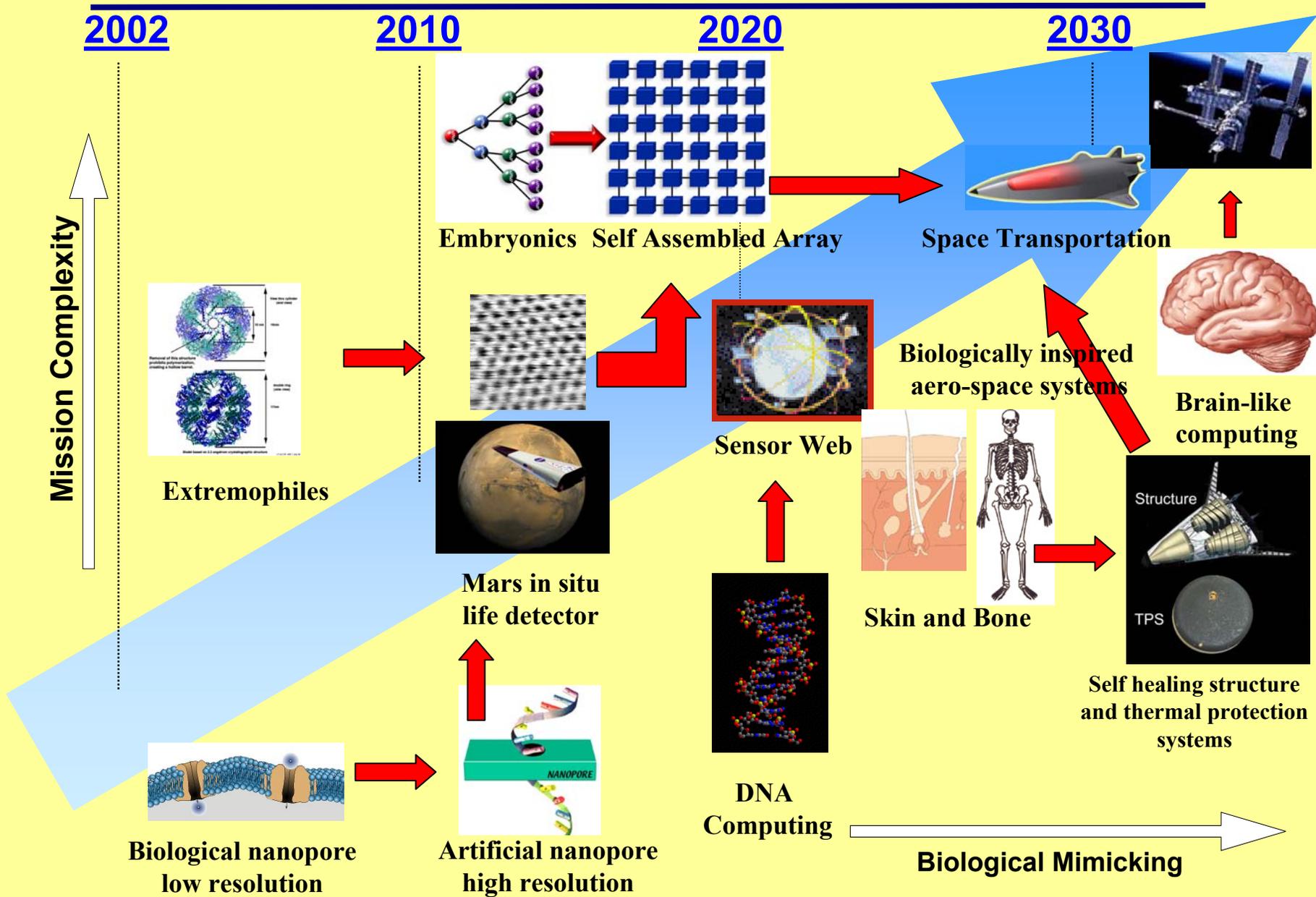
Biomimetic, radiation resistant molecular computing



Ultra high density storage



Compute Capacity



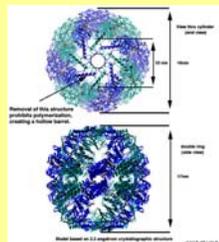
2002

2010

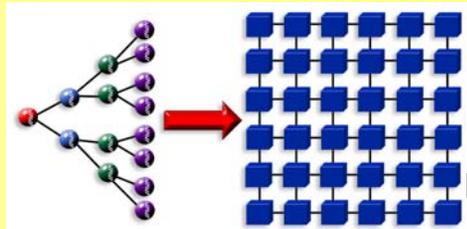
2020

2030

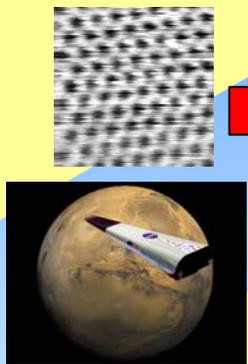
Mission Complexity



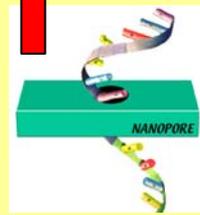
Extremophiles



Embryonics Self Assembled Array



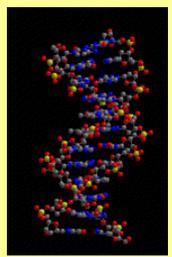
Mars in situ life detector



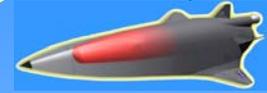
Artificial nanopore high resolution



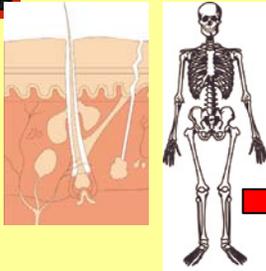
Sensor Web



DNA Computing



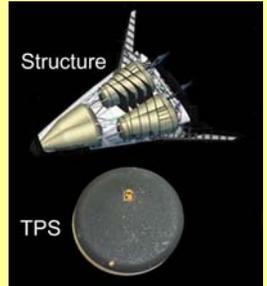
Space Transportation



Skin and Bone



Brain-like computing



Self healing structure and thermal protection systems

Biological Mimicking →