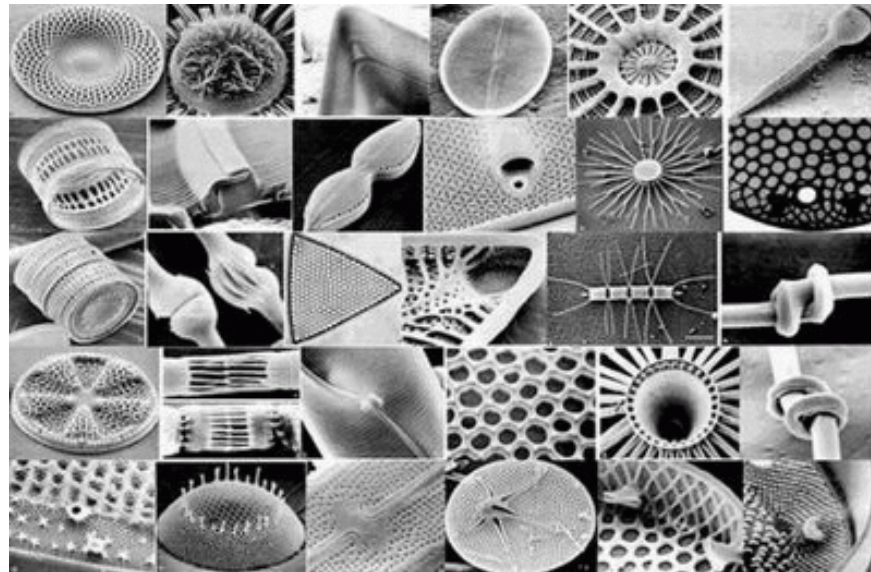


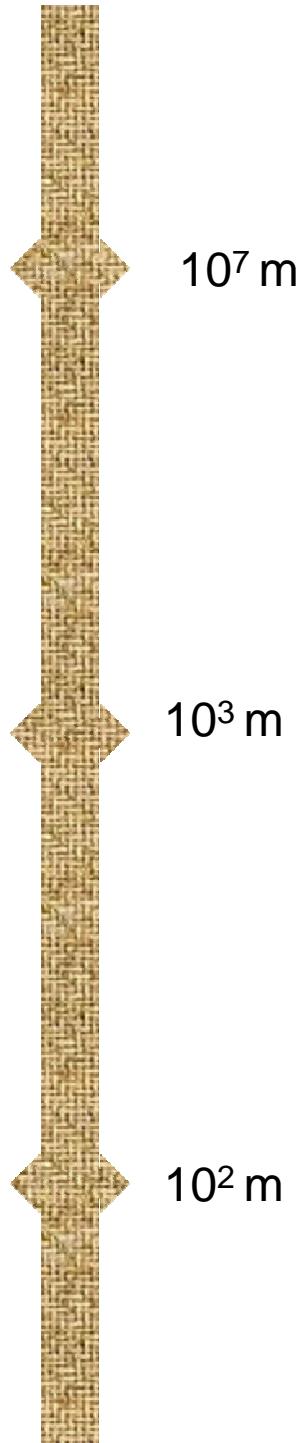
Nanotechnologie



Barbara Bittová, KFKL MFF UK

Obsah přednášky

- 1) Jak vypadají objekty na nanoškále?
- 2) Které nanotechnologie jsou již běžně dostupné?
- 3) Cesta lidstva k malým rozměrům látky
- 4) Inspirace přírodou
- 5) Metody pozorování
- 6) Nanomateriály- co, jak a proč....
- 7) Předpověď vývoje do roku 2015







	<p>10,000 kilometres</p> <p>Planet Earth 12,756 kilometres in diameter at the equator</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>The Earth is approximately one hundred million times larger than a soccer ball </p>
	<p>1 kilometre</p> <p>Taipei 101 building World's tallest structure, in Taiwan is just over half a kilometre in height.</p>
	<p>100 metres</p> <p>Giant sequoia The world's tallest tree grows up to 112 metres in height</p>

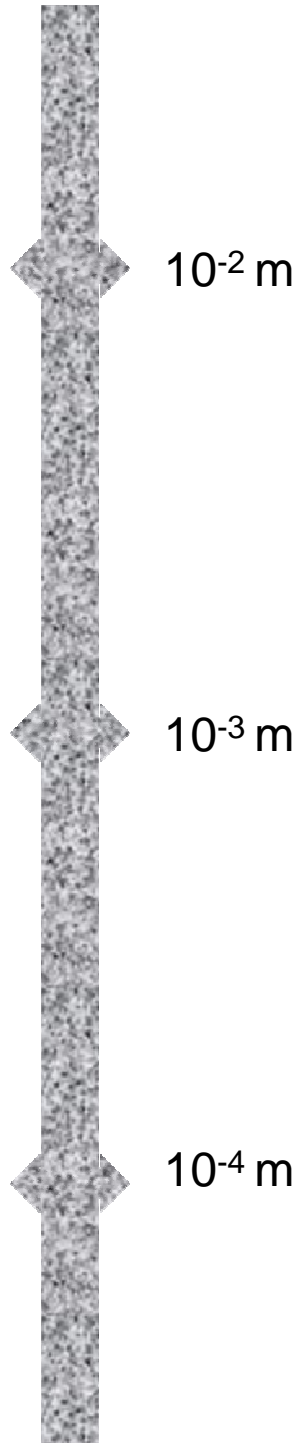


10 m

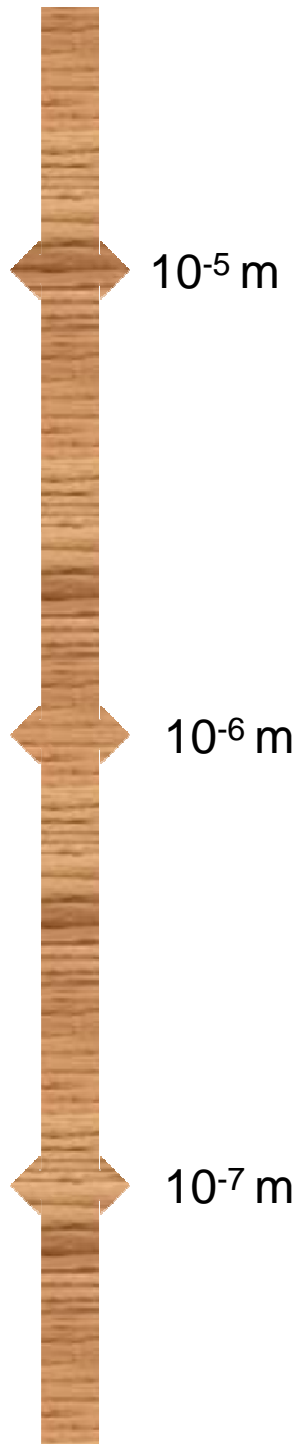
10^0 m

10^{-1} m

	<p>10 metres</p> <p>Humpback whale Typically 11 to 15 metres in length</p>
	<p>1 metre</p> <p>Human being Typically between 1.5 and 2 metres in height</p>
	<p>10 centimetres</p> <p>Soccer ball 22 centimetres in diameter</p> <p>-----</p> <p>A soccer ball is approximately one hundred million times smaller than the Earth, yet one hundred million times larger than soccer-ball-shaped molecules of C₆₀ - also known as buckyballs</p> 



	<p>1 centimetre</p> <p>Ant Approximately half a centimetre in length</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">University of Queensland</p>	<p>1 millimetre</p> <p>Head of a pin About 1 millimetre in diameter</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Andrew Syrett / Science Photo Library</p>	<p>100 micrometres</p> <p>Dust mite Around 200 micrometres in length</p> <p>Human hair Around 80 micrometres in diameter</p> <p><i>Image: Coloured scanning electron micrograph (SEM) of a dust mite (Dermatophagoides sp.) on the threads of a piece of fabric</i></p>

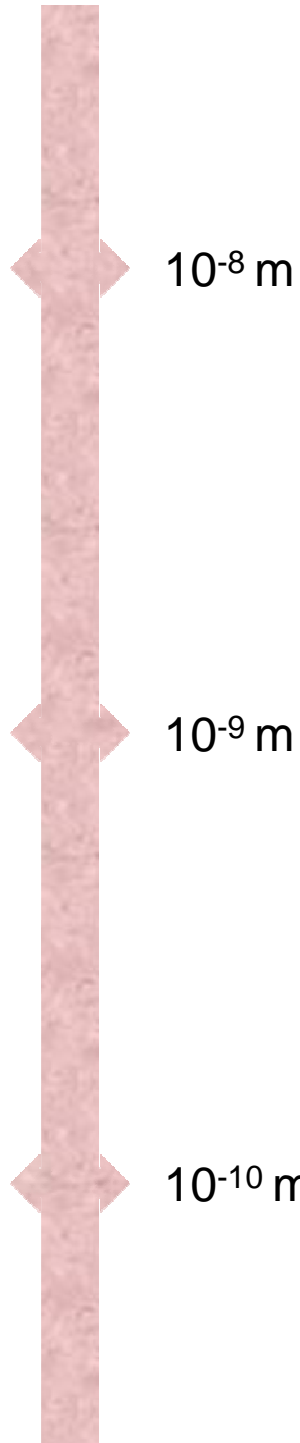


Dr Tony Brant/SPL

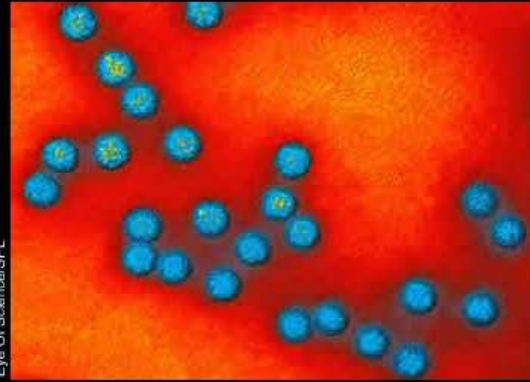
PhotoLibrary inc./Photolibrary

Alfred Pasieka / SPL

	<p>10 micrometres</p> <p>Red blood cells Around 7 micrometres in diameter</p> <p>Other animal cells 10 to 20 micrometres in diameter</p> <p>Plant cells 20 to 30 micrometres in length</p>
	<p>1 micrometre</p> <p>Bacteria Most bacteria - including anthrax (<i>Bacillus anthracis</i>), shown here - are 1 to 5 micrometres in length</p> <p>Nucleus of a eukaryotic cell 5 micrometres in diameter</p> <p><i>Image: coloured scanning electron micrograph (SEM) image of a group of anthrax bacteria</i></p>
	<p>100 nanometres</p> <p>Herpes simplex virus Herpes, one of the larger kinds of virus, is 150 to 200 nanometres across</p> <p><i>Image: coloured transmission electron micrograph (TEM) image of a cross-section through a Herpes simplex virus.</i></p> <p>6</p>



Eye of Science/SPL

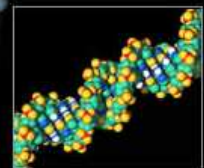
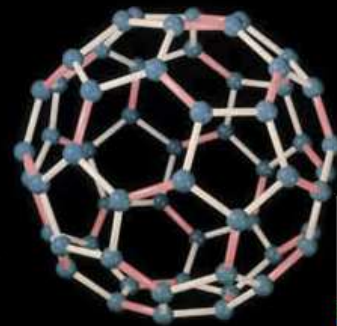


10 nanometres

Polio virus
 Polio, one of the smallest kinds of virus, is 20 to 30 nanometres across

Image: coloured transmission electron micrograph (TEM) image of a cluster of polio viruses

J. Bernholc et al., NCSU/SPL



1 nanometre

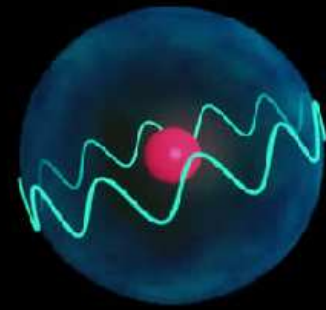
Buckyball
 Otherwise known as C₆₀, this molecule is 0.7 nanometres in diameter

Strand of DNA
 Approximately 2 nanometres wide

Carbon nanotubes
 1.3 nanometres in diameter

A bucky ball is one hundred million times smaller than a soccer ball 

Laguna Design/SPL



0.1 nanometre

Hydrogen atom

1) Proč mají látky na nanoškále odlišné vlastnosti ?

- malé částice- velký povrch v porovnání s objemem-větší chemická reaktivita
- škála pod 100 nm-kvantové jevy
- probíhá většina základních biologických procesů
- malé klastry Au, Ag- katalytické vlastnosti, antibakteriální, makroskopické Au-inertní
- Fe jako nanokrystal- velká tvrdost

2) Proč je vhodné vyvíjet materiály v rozměrech nanometrů?

- zefektivnění procesu výroby, šetření surovin
- široké využití v skoro všech odvětvích lidské činnosti
- medicína, průmysl, ekologie, potravinářství
- pro aplikace není tak důležitá velikost, ale tvar** (který ovlivňuje jak nanomateriály vedou teplo, absorbují světlo, jak jsou stabilní a jak se chovají v přítomnosti jiných struktur)

Použití v současnosti

Kosmetika

- opalovací krémy (TiO_2 , ZrO_2)
- rtěnky, líčidla (Fe_2O_3)

Potravinářství

- Stolní a kuchyňské náčiní s potahy nanostříbra
- Pánve potažené nanokompozitním keramickým materiálem (Green pan)
- Doplnky stravy, potravinová aditiva
- Antibakteriální obaly, chladničky, mrazničky

Ekologie

- Čištění kontaminovaných vod (Severní Karolína), využití Fe_2O_3

Medicína

- Kontrastní látky, cílený transport léčiv, léčba nádorů
- Samo-čisticí povrchy (kachličky, nátěry stěn, sklo)- využití lotosového efektu, problém s kondenzací páry

Elektronika

- paměťová média využití GMR, tenké epitaxní/granulární filmy
- miniaturizace součástek (vodiče, tranzistory)

Použití v současnosti

Ve stadiu testování:

Energetika

- Solární články (používají uhlíkové nanotuby, nanovlákná, fullereny)

Medicína

- funkcionalizované superparamagnetické nanočástice, kontrastní látky MRI, transport léčiv, hypertermie
- implantáty

Technologie v ČR

- první anorganická linka na výrobu nanovláken na světě, Liberec 2009
- kosmetika, solární články, katalyzátory
- nanovlákná TiO_2 , $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
- solární články testovány ve spolupráci z ČEZ
- pevné a lehké materiály

Paměťová média

- tenké filmy
- MEMS, NEMS

Elektronika

- tranzistory
- led diody
- fluorescenční nanometrické polovodiče (kvantové tečky)- fluorescenční mikroskopie

Vojenství

- kamufláž, pohlcení nárazu z exploze, čichové senzory v oblečení

- **Nátěr firmy Behr** pro kuchyně a koupelny obsahující přísady v nanorozměrech, které způsobují vyšší tvrdost povrchu a odolnost proti vodě, plísním a špíně
- **Šampón Pantene** od firmy Procter & Gamble využívající nanotechnologie pro vytvoření výrazné „perlové“ vůně
- **Spotřebiče odolné bakteriím.** Společnost LG a jiní výrobci nyní vyrábějí ledničky, pračky, sušičky, myčky i mobilní telefony povrchem obsahujícím nanočástice stříbra, které potlačují růst bakterií a zápach
- **Nešpinící se oděvy.** Ať již koupíte kalhoty, saka i vázanky od firem Dockers, L.L. Bean nebo Brooks Bros., máte oděv z látky, která se díky využití nanotechnologií nešpiní a nemačká
- **Kosmetické výrobky.** Výrobci kosmetiky, opalovacích krémů a jiných výrobků pro péči o kůži nyní používají nanomateriály v jejich recepturách pro lepší dopravu účinných látek do kůže i z dalších důvodů.
- **Paměťové čipy.** Výsledkem použití nanotechnologií při výrobě elektronických čipů jsou vysokokapacitní paměťové součástky používané např. v iPod Nano.

Holicí strojek FX Diamond firmy Wilkinson Sword.

Vynikající vlastnosti žiletek tohoto strojku jsou způsobeny použitím povlaku alfa diamantu v nanorozměrech.

· **Nanotechnologie v automobilech.**

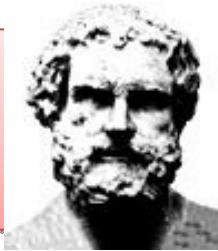
General Motors používá polymerní nanokompozity v bočních výliscích u značek GMC Safari, Chevrolet Impala a na obložení podlahy automobilu Hummer. Nissan X-Trail je vybaven blatníky odolnými pomačkání.

· **Sportovní nářadí.** Mnoho nových typů golfových holí, golfových míčků, tenisových raket, hokejových holí a jiného nářadí využívá různých nanomateriálů pro zlepšení účinnosti nářadí.

· **Fotopapír Kodak Ultima** má povlak z devíti vrstev obsahujících keramické nanočástice. Papír odolává změnám, které mohou být způsobeny teplem, vlhkostí, světlem a ozonem.

Historie

400 pr. n.l.- Démokritos použil slovo "atomos", což starořecky znamená "nedělitelný,"



4. stol n.l.

-první známé využití nanotechnologií –sklářství (přidávání prášků různých látek, Au, Ag, Cd, Zn-mají jinou barvu než makroskopický materiál)



Obrázek 1: Lykurgovy poháry

Lykurgovy poháry

- světlo dopadá zvenku- zelené
- zdroj je uvnitř-červená
- 73 % SiO_2 , 7 % CaO
- zlato (cca 40 ppm) a stříbro (cca 300 ppm)
- nanokrystaly o rozměru cca 70 nm
- slitina zlata a stříbra v poměru 3:7

13. - 16. století

-lesklá glazovaná keramika
kovový film o tloušťce 200 - 500 nm, obsahující kovové (stříbrné) sférické nanokrystaly rozptýlené v matici bohaté na křemík, přičemž ve vnější vrstvě filmu o tloušťce 10 - 20 nm se kov nenachází.

15 a 16. století

- italská Umbrie
- glazury renesanční keramiky obsahují částice stříbra o průměru 5 - 100 nm

1857

- **Faraday** oznámil získání koloidního zlata redukcí vodného roztoku tetrachlorozlatitanu.

1861

- **Thomas Graham** -jako první popsal suspenzi obsahující částice o rozměrech 1 - 100 nm a nazval ji koloidním systémem

1931 - Max Knoll a Ernst Ruska -elektronový mikroskop, umožňující zobrazit objekty menší než 1 nanometr

“There’s Plenty of Room at the Bottom” („Tam dole je spousta místa“), CALTECH, 29.12.1959,
Richard P. Feynmann



-předpoklady:

- 1) Informace ze všech knih světa jdou zapsat ve formě krychličky o hraně 0,1 mm
- 2) Ovlivňování chemických reakcí na atomární úrovni
- 3) Manipulace s atomy

„Rád bych teď popsal obor,“ řekl Feynman, „v němž bylo vykonáno ještě málo, ale jenž v principu může zaznamenat obrovský rozvoj. Chci mluvit o problému, jak připravovat systémy o velmi malých rozměrech a kontrolovat jejich vlastnosti.“

„Proč bychom nemohli zapsat na špendlíkovou hlavičku všech 24 dílu Encyklopedie Britanniky?“

Nabídl jeden tisíc dolarů tomu, kdo jako první dokáže zapsat jednu stránku textu běžné knihy na plochu, která bude zmenšena na 1/25 000 původní plochy, přičemž text bude čitelný elektronovým mikroskopem.

- Dalších jeden tisíc dolarů slíbil vyplatit tomu, kdo zhotoví funkční elektromotorek, jenž se vejde do krychličky o hraně 0,4 mm.

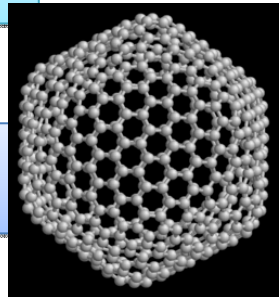
Historie

1974 - Norio Tamaguci navrhl používání termínu nanotechnologie pro obrábění s tolerancí menší než 1 nm

1981 - první článek o nanotechnologii ve vědeckém časopise

1981 - Gerd Binnig a Heinrich Rohrer skenující tunelový mikroskop- zobrazení jednotlivých atomů

1985 – R. Smalley, H. Kroto a R. Curl - objev fullerenu



1986 - poprvé zaznamenány jednotlivé kvantové skoky v atomech - založen Foresight Institute

1983 - řetězová reakce v polymeru - vytvořen první umělý chromozóm

-1986- kniha **Stroje stvoření**
-samo-učící, samo-organizující nanostroje, které jsou schopny poskládat vše od proteinu daných vlastností po dálnici

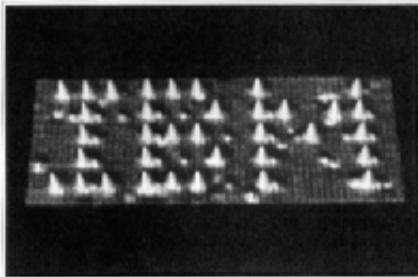


Kim Eric Drexler

"Lidé, kteří zaměňují vědu s technologiemi, nechápou skutečné meze. Někdo si může myslet, že když víme všechno, můžeme udelat cokoli. Pokroky technologií skutečně přinášejí nová know-how, otevírají nové možnosti. Naproti tomu pokrok ve vědě jenom prokreslí mapu skutečných hranic, což často ukáže nové nemožnosti."

1988 - vypracována metoda identifikace osob podle DNA z jediného vlasu

1990 - pomocí tunelového skenovacího mikroskopu napsal tým vědců na niklovou destičku 35 xenonovými atomy písmena IBM



1991 - založen Institute for Molecular Manufacturing - S. Iijima objevil **nanotrubice**

1993 - první **nanodráty** - řetízky silné pouze několik nanometrů

1995 - demonstrováno vedení elektrického proudu jednou molekulou - založena společnost Nanocor, zabývající se **vývojem nanokompozitních materiálů**

1997 - založena společnost Zyvex - první firma zabývající se konstrukcí nanomechanismu

1998 - Skupina kolem C. Dekkera z univerzity v Delftu v Nizozemsku sestrojila z uhlíkových nanotubic **tranzistor**

2000 - rozluštění lidského genomu - první nanomotorek na bázi DNA (Bell Labs)

2000 - americký prezident Clinton vyhlašuje program National Nanotechnology Initiative

2001 - tranzistor z nanotrubiček (IBM) - první nanolaser, základ pro optický přenos dat v inteligentních nanosystémech - logický obvod v jedné molekule, tvořený dvěma tranzistory

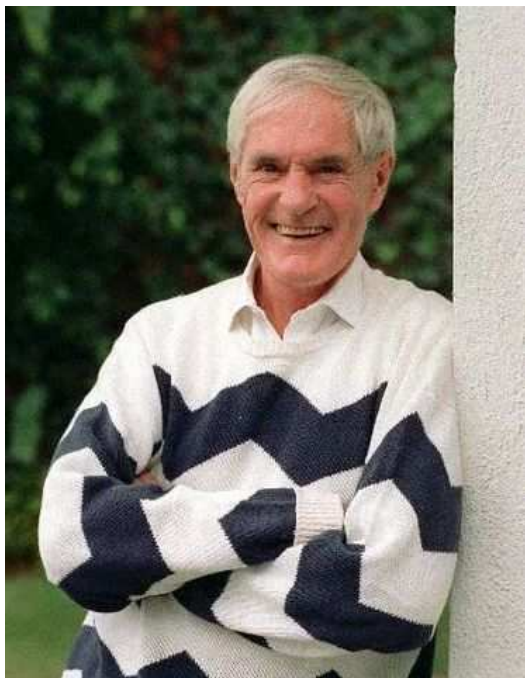
2002 - začínají se prosazovat inteligentní kompozitní materiály

2002 - Výzkumný tým Hewlett-Packard představil první molekulární paměť na světě, ve které jsou informace zapisovány do jednotlivých molekul čipu

2002 - první mezinárodní konference o nanotechnologii (R. Smalley přednesl návrh, že ideálním prostředkem pro molekulové nanotechnologie jsou fullerénové struktury)

2003 - Společnost IBM vyrobila první uhlíkový světelný zdroj, **miniaturní baterku** v podobě trubičky 50 000krát tenčí než lidský vlas.

Timothy Leary

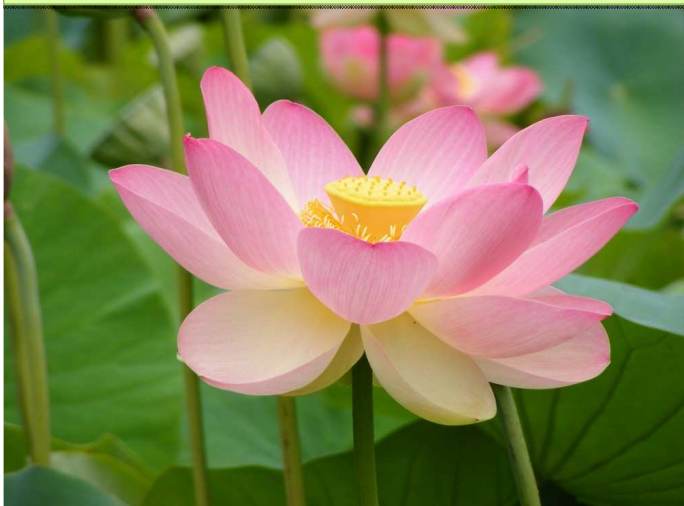


americký psycholog, filozof,
vědec a publicista.

„S úspěchem nanotechnologie by se svět stal místem nepředstavitelné hospodářské hojnosti. Bylo by například možné vytvořit jakýkoli předmět jen z prachu a slunečního svitu. Reparační buněčné mechanismy, vetknuté do každé buňky lidského těla, aby mohly zpomalit či úplně zvrátit účinky bolesti a chorob.

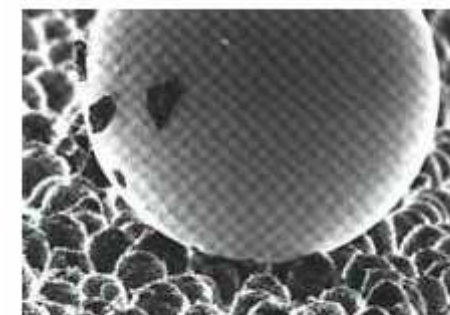
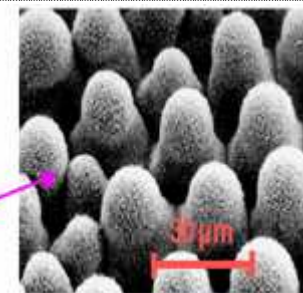
Stavba tryskových motorů by se stala záležitostí jedné minuty, vyrostly by znenadání a dokonale jako krystaly z kapalných roztoku obsahujících nanostroje.”.

Nanotechnologie v přírodě



Lotosový efekt

- neusazují se kapalné nečistoty
- odplavení pevných nečistot
- kapky vody nesmáčejí povrch (1 mm)
- kutálení po povrchu výstupků, nedochází ke kontaktu s povrchem listu

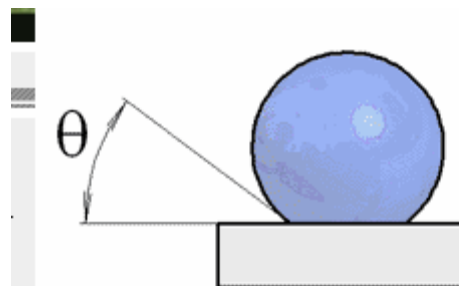
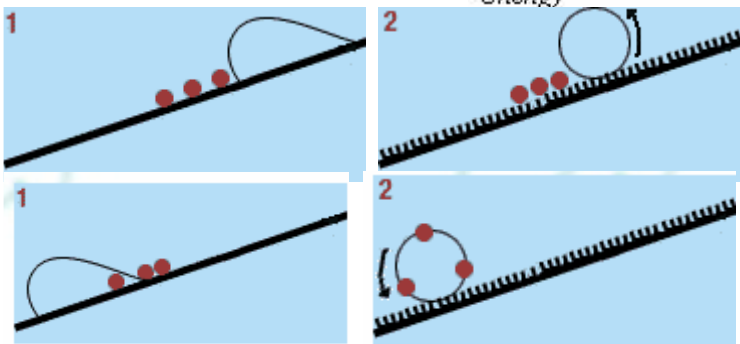


Kapka vody na listu lotosu odnáší špínu s

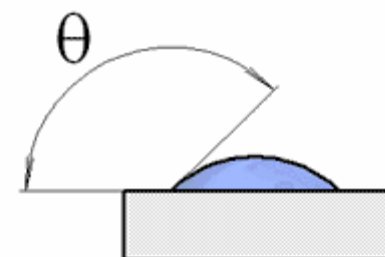
- Experiment s vodní párou – vytvořené kapky smáčejí povrch (menší než mikro-výstupky, pokrytí povrchu)



Kapka vody, která nečekaně pevně drží na listu lotosu. (Credit: Y-T Cheng)



Kapalina s velkým povrchovým napětím na vhodném povrchu
Úhel smáčení je malý a kapalina má snahu tvořit na povrchu kapky



Kapalina s malým povrchovým napětím na vhodném povrchu
Úhel smáčení je velký a kapalina má snahu vytvářet na povrchu film

Deštník NanoNuno



- Deštník zůstává stále suchý a čistý
- realizován ve Švýcarsku.



£49.95 (\$94)

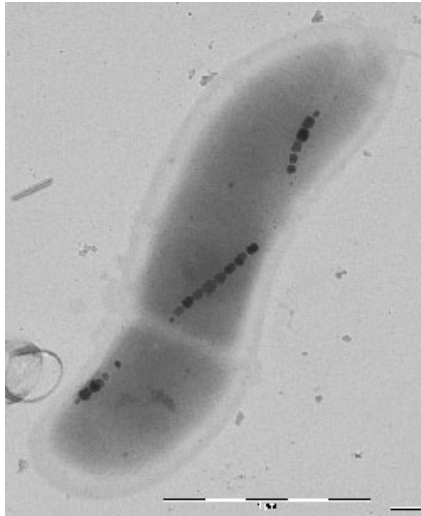
Gekon

- **Gekon obrovský (*Gekko gecko*) má spodní stranu prstů hustě posetou jemnými keratinovými chloupky – sětami. Jsou dlouhé asi 30–130 μm a mají jen asi 10 \times menší průměr než lidský vlas. Na čtverečním milimetru je takových sět okolo 5000, na každé tlapce pak asi půl milionu. Každá séta je dále rozdělena na 400–1000 útvarů zvaných *spatulae*.**

- Využití adheze, Van der Waalsovy interakce



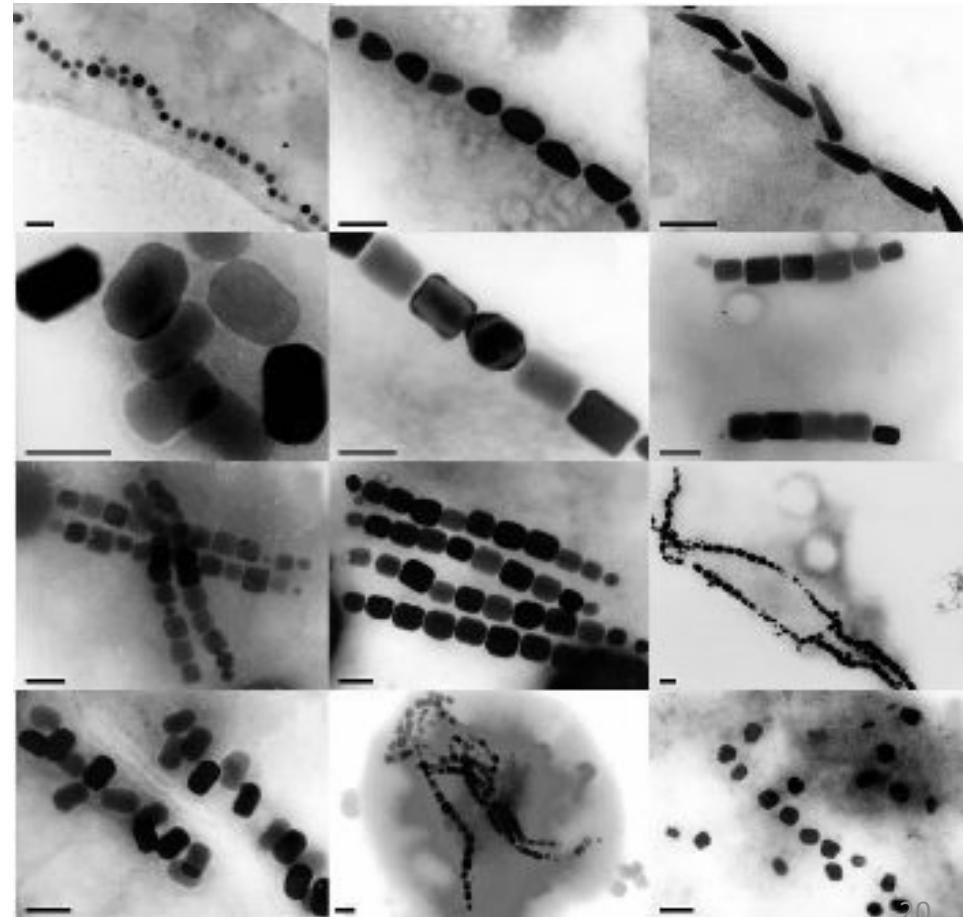
Nanotechnologie v přírodě



Magnetotaktické bakterie



- publikováno v roce 1975 (Richard Blakemore)
- bakterie preferují prostředí bez kyslíku – snaží se plavat hluboko pod hladinu
- orientace za pomoci magnetického pole Země
- řetězce magnetitu v těle bakterie pomáhají určit směr pole
- magnetické nanokrystaly o velikosti 35-120 nm
- definovaná velikost i tvar, pokryto proteiny



Jak pozorovat nano-objekty?

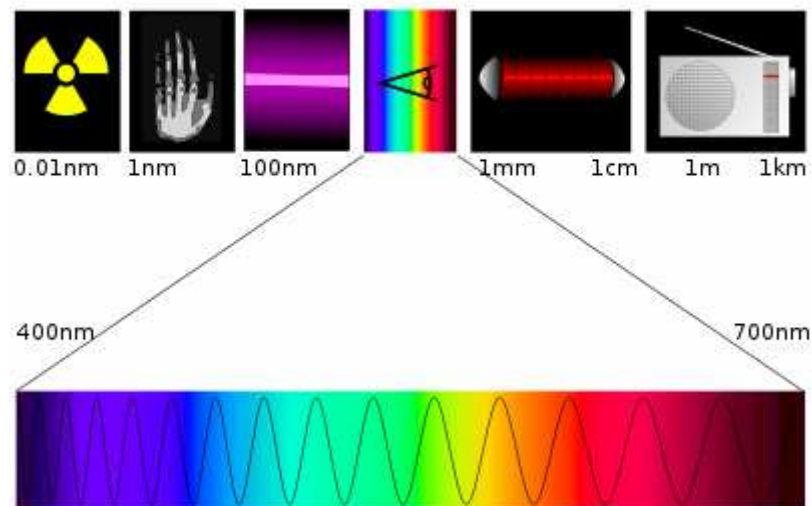
Elektromagnetické spektrum – záření všech možných vlnových délek

Viditelné spektrum světla

Klasická optická mikroskopie:

- pozorujeme objekty s velikostí srovnatelnou s vlnovou délkou světla (400-700 nm)

- prakticky jde pozorovat do 0,25 mm



Jak pozorovat nano-objekty?

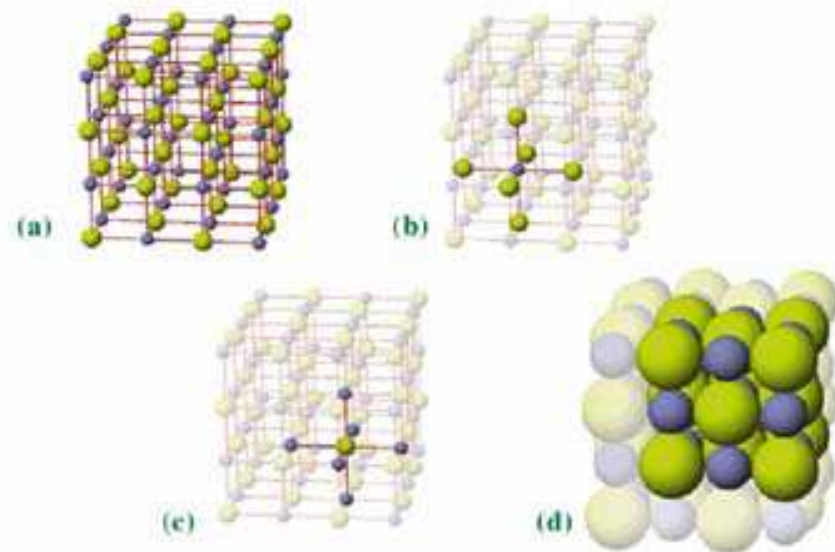
Proč RTG?

Rentgenové záření
 $\lambda = 10\text{nm} - 1\text{nm}$



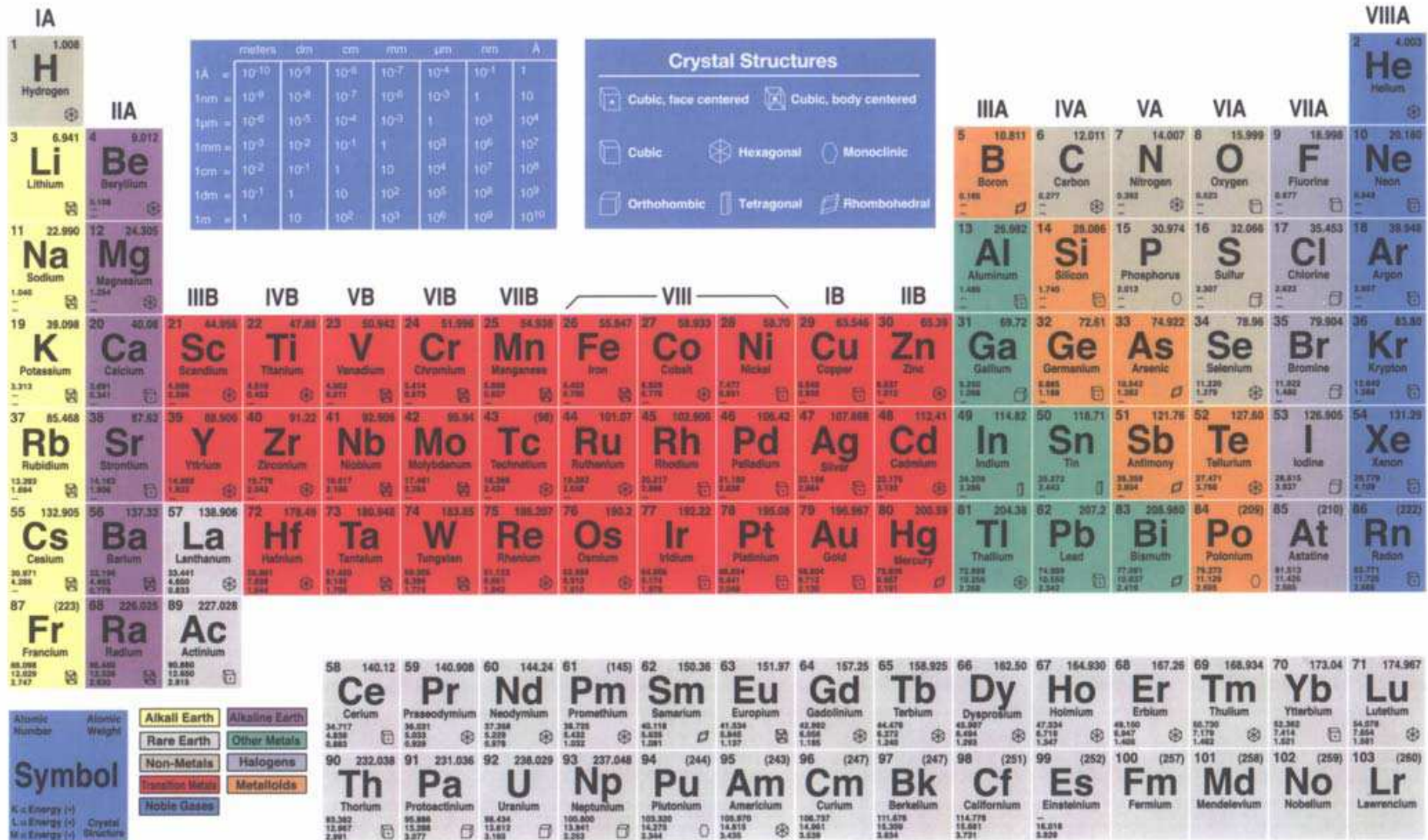
Vlnová délka je srovnatelná s interatomárními (mezirovinnými) vzdálenostmi v krystalu – dochází k difrakci

NaCl crystal lattice



Krystal: homogenní pevná látka vytvořená opakováním třírozměrného modelu atomů, iontů, nebo molekul a mající pevné vzdálenosti mezi základními částmi.

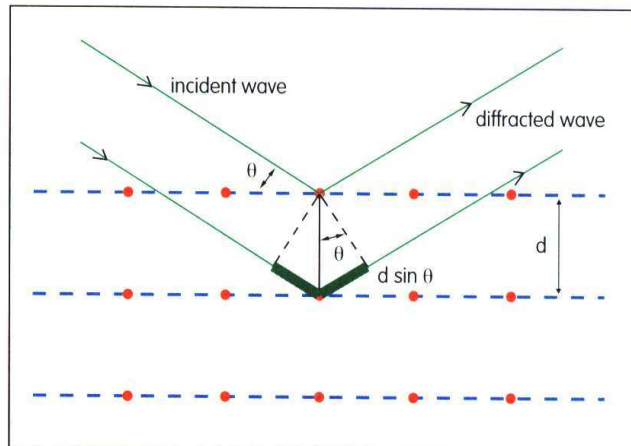
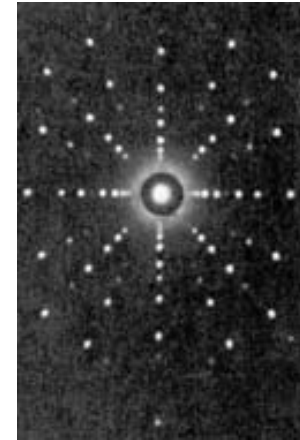
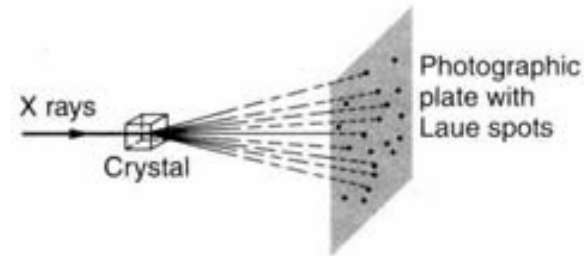
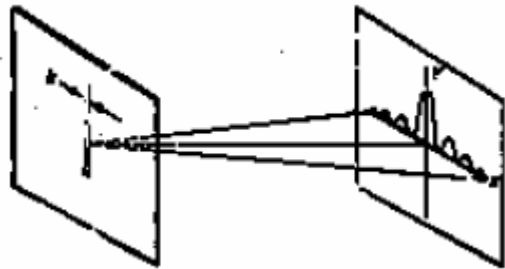
Jak pozorovat nano-objekty?



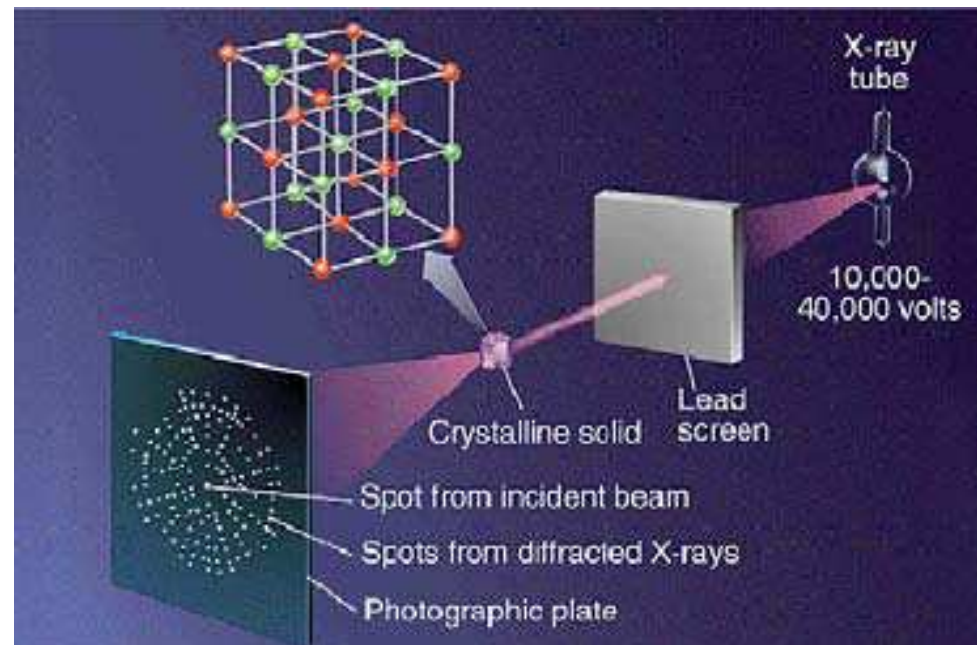
Jak pozorovat nano-objekty?

Difrakce RTG záření na krystalu – analogie s difrakcí světla na mříži

- rozptyl paprsků na mříži krystalu (elektronový obal atomů)
- pro malé uhly vniká několik mikrometrů pod povrch
- Informace o atomární stavbě látky



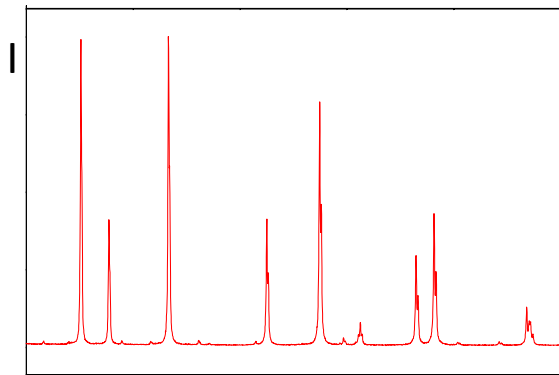
$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta_{hkl}$$



Jak pozorovat nano-objekty?

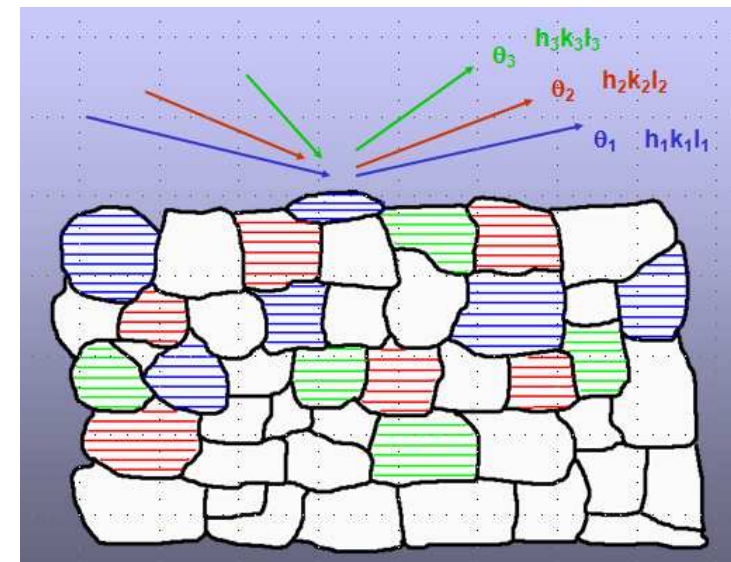
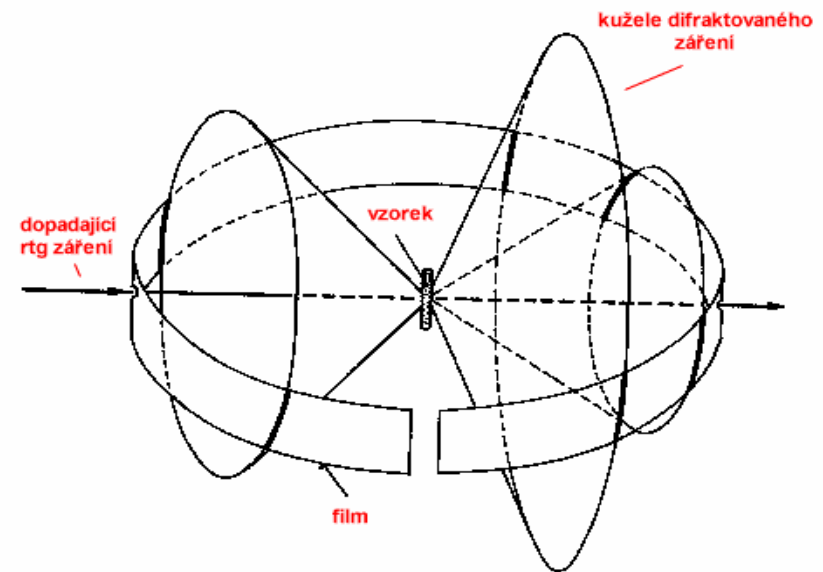
RTG prášková difrakce

- nanočástice, práškové materiály-krystality



2θ

- tvar a velikost krystalitů
- složení látky
- deformace
- poruchy, napětí v krystalové mříži



Jak pozorovat nano-objekty?

Proč elektrony?

-záporný náboj, nepatrná hmotnost ve srovnání s neutrony, protony

Záření s kratší vlnovou délkou, než má viditelné světlo-vstupenka do mikrosvěta

-dá se urychlovat napětím U
 $\lambda = 1,226 / U^{1/2}$

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1.6726231 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

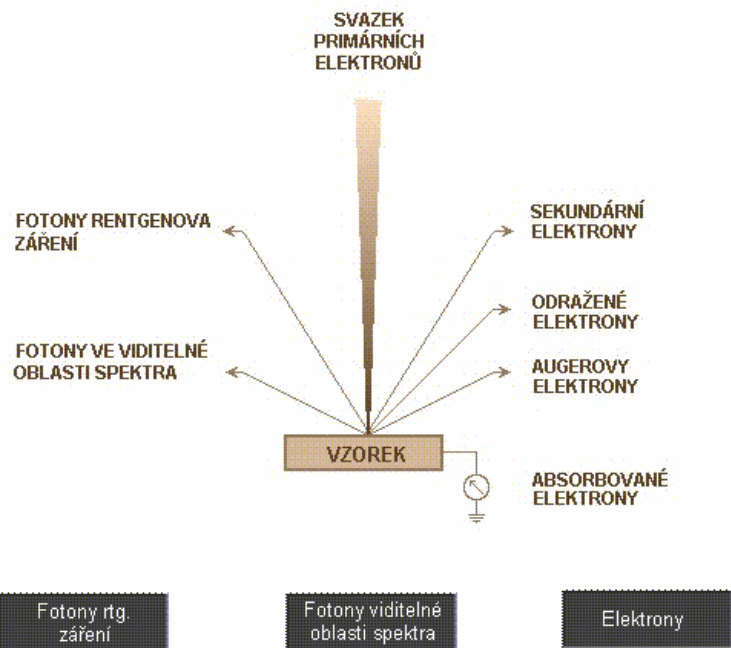
U [V]	lambda[nm]	lambda _{relativistická} [nm]	v[m/s]
10 ²	0.123	-	5.95x10 ⁶
10 ³	0.040	-	1.87x10 ⁷
10 ⁴	0.0123	-	5.85x10 ⁷
10 ⁵	0.00386	0.00370	1.65x10 ⁸
10 ⁶	0.00122	0.00087	2.83x10 ⁸

Jak pozorovat nano-objekty?

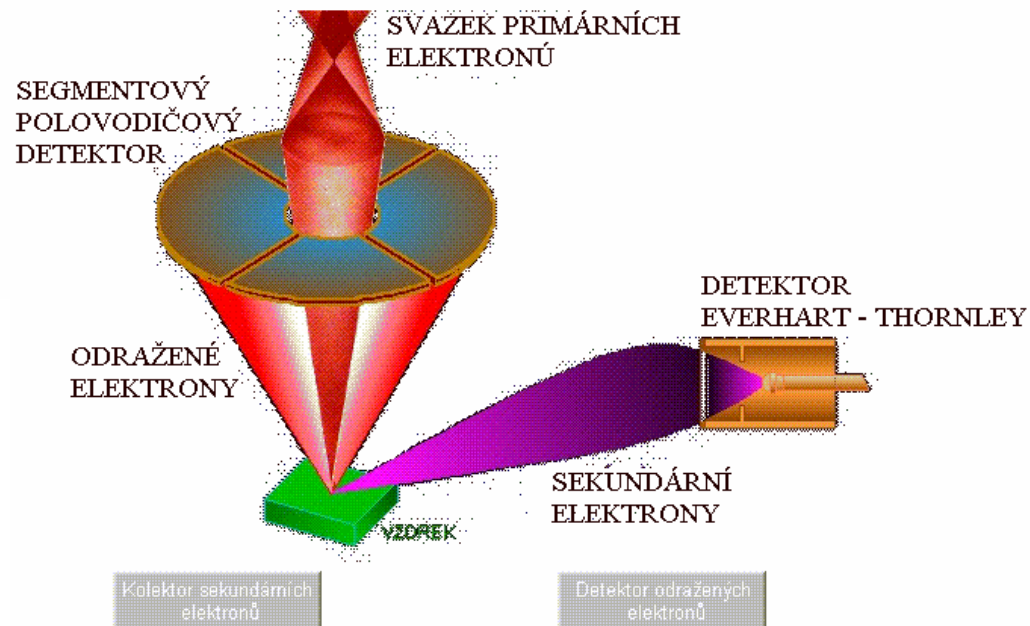
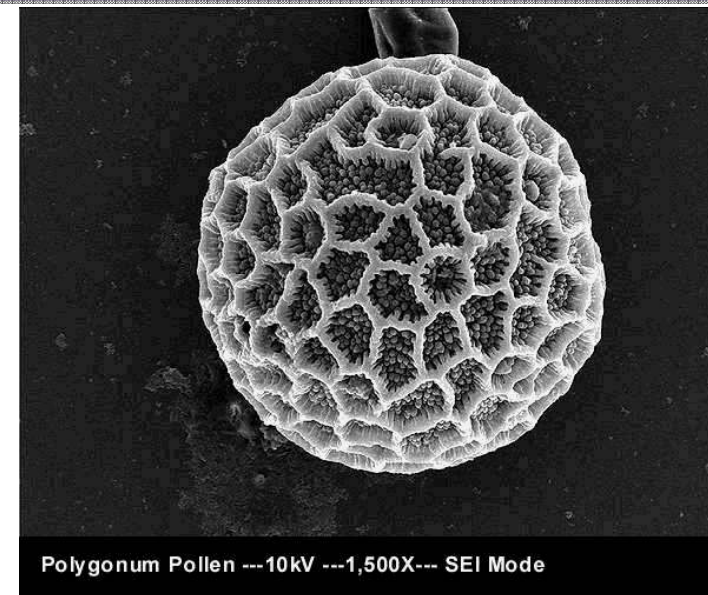
Elektrony

Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Produkty atomárních interakcí primárních elektronů s hmotou vzorku

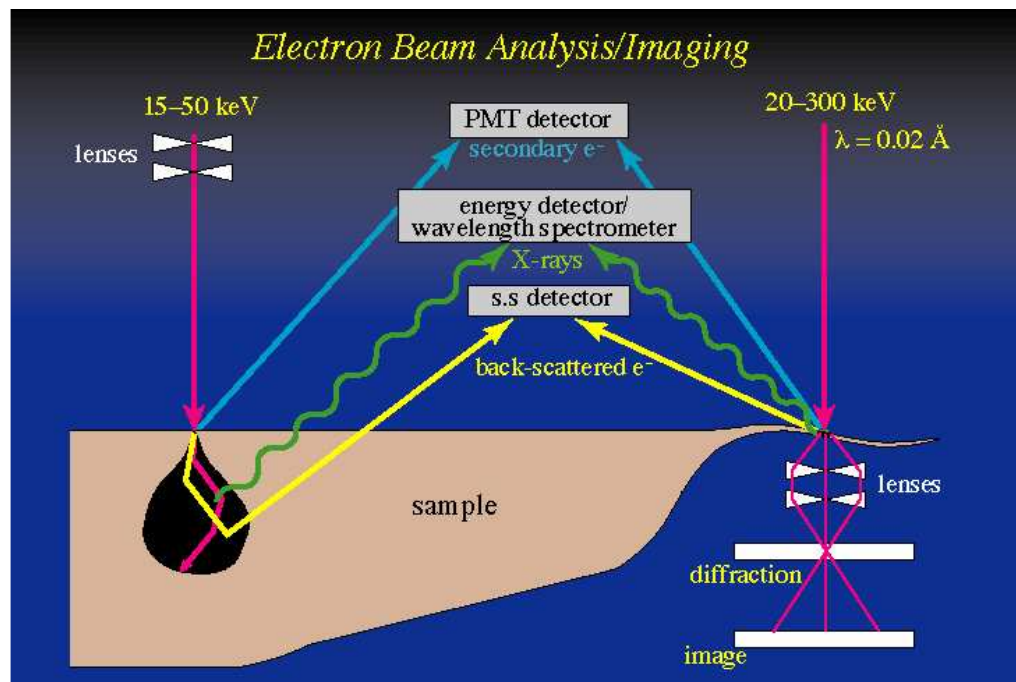


- Pozorování povrchů
- Prvkové složení preparátu
- Vysoká rozlišovací schopnost



Jak pozorovat nano-objekty?

Transmisní elektronová mikroskopie (TEM)



- pozorování objektů do 100 nm tloušťky, vysoké zvětšení, vysoká rozlišovací schopnost
- funguje podobně jako rozptyl RTG

Jak pozorovat nano-objekty?

Skenovací tunelovací mikroskop (STM)

Nobelova cena 1986 (fyzika)

*Gerd Binnig, Heinrich Rohrer STM
(scanning tunneling microscope)*

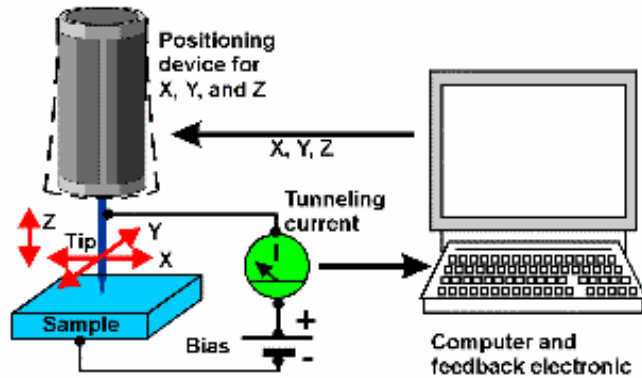
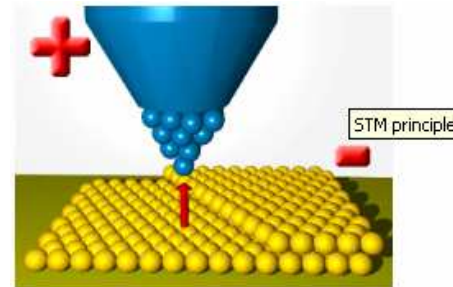


Figure 1: Basic principle of the Scanning Tunneling Microscope



-vodivý vzorek

-vysoké vakuum

-odlišné vlastnosti
tunelujícího proudu pro
různé atomy

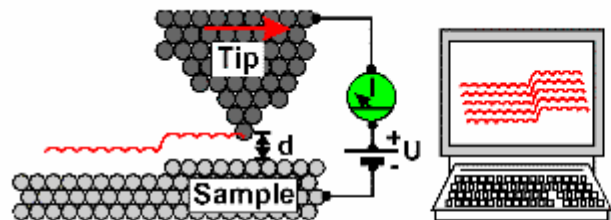


Figure 2a:
tip-sample tunneling contact

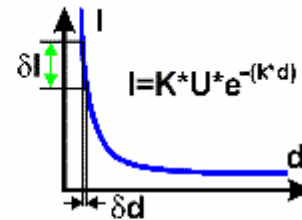
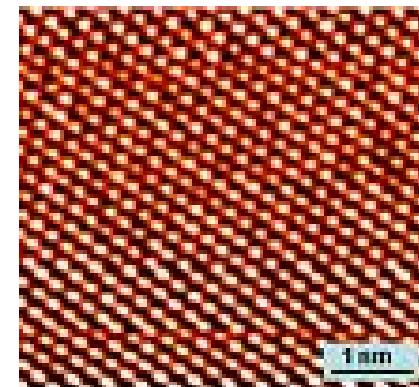


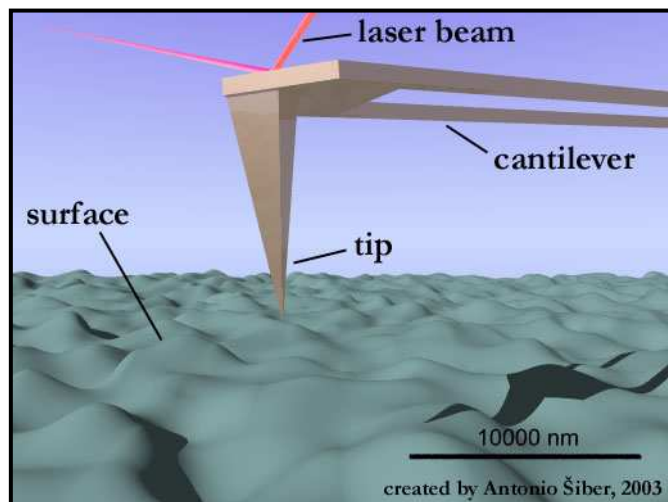
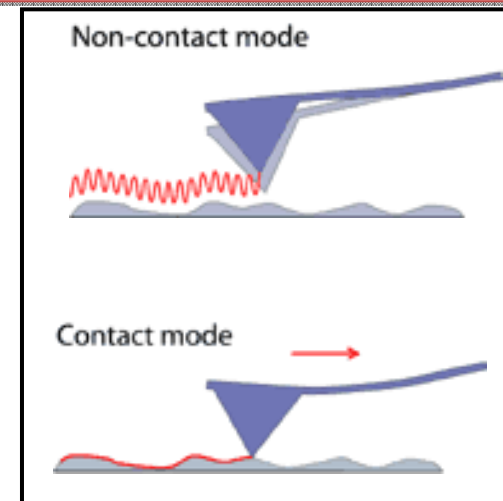
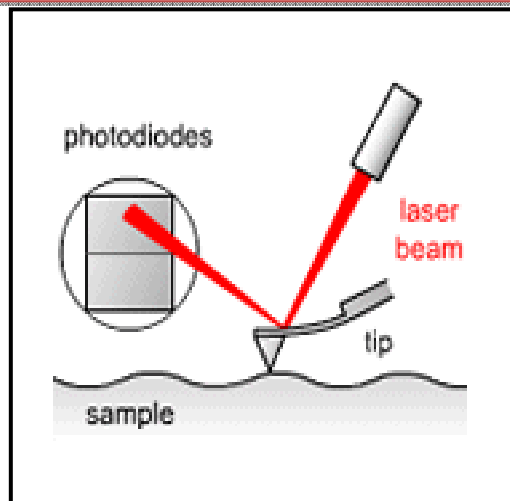
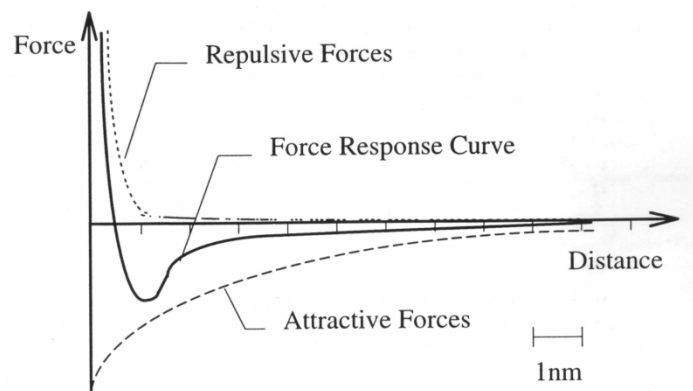
Figure 2b:
exponential behavior of the tunneling current
I with distance d



Cu(111), IBM

Jak pozorovat nano-objekty?

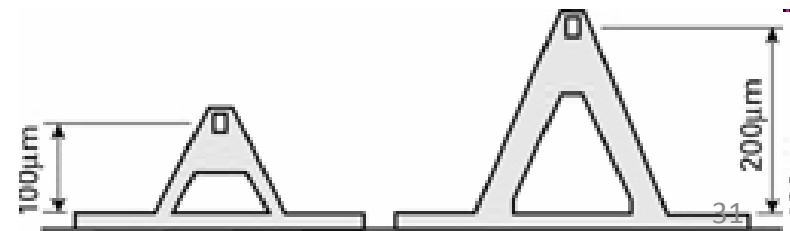
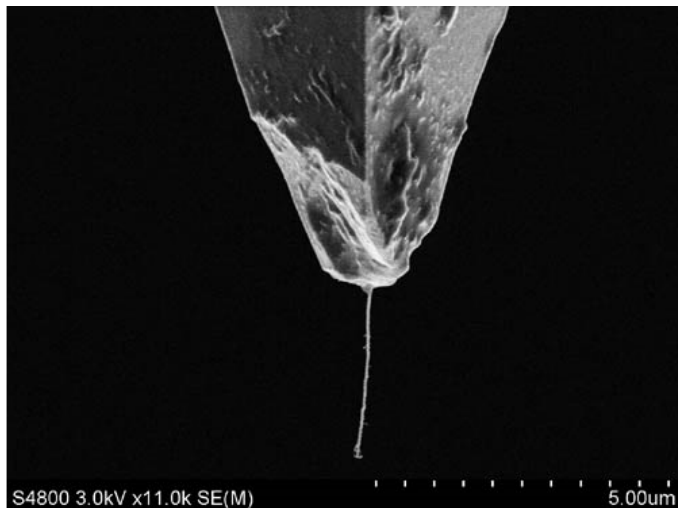
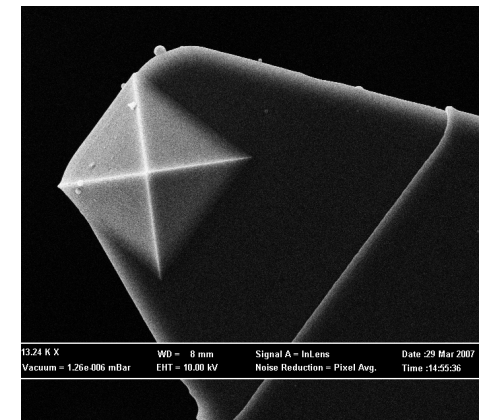
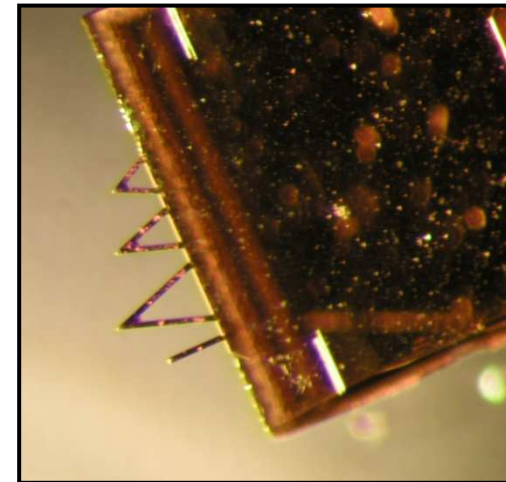
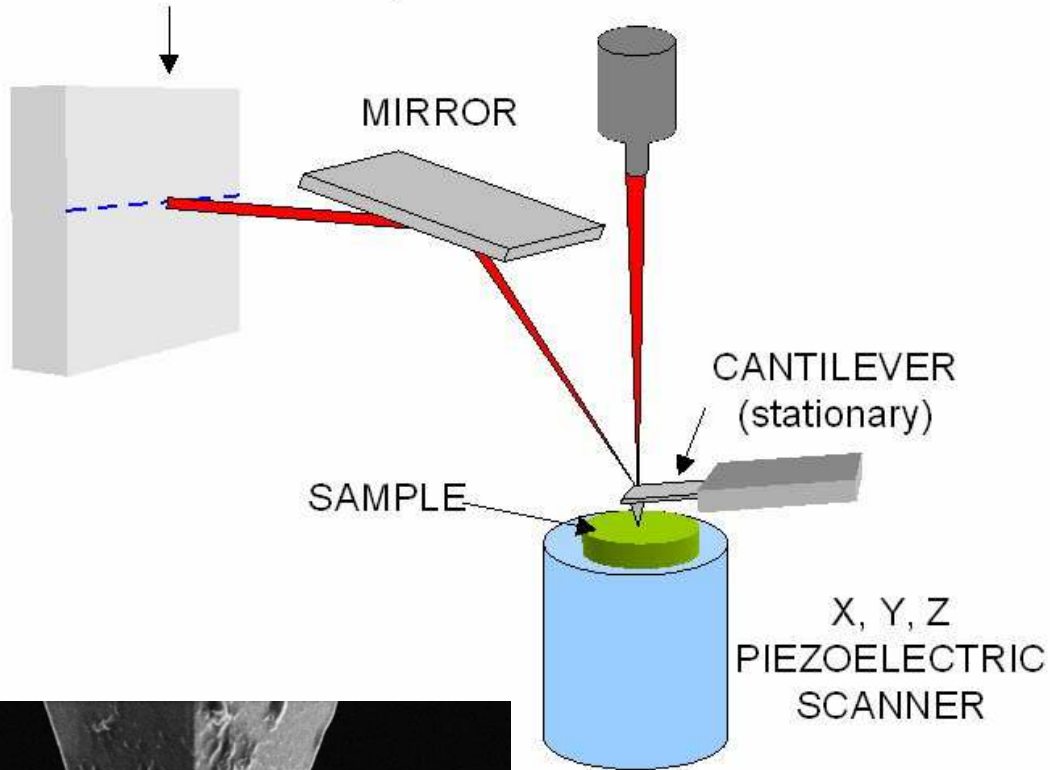
Atomová silová mikroskopie (AFM)



- pozorování objektů na mikro-atomární škále
- biologické vzorky (in vivo, in vitro)
- detekce mezimolekulárních interakcí
- uspořádání magnetických domén v materiálu
- studium povrchových mechanických vlastností

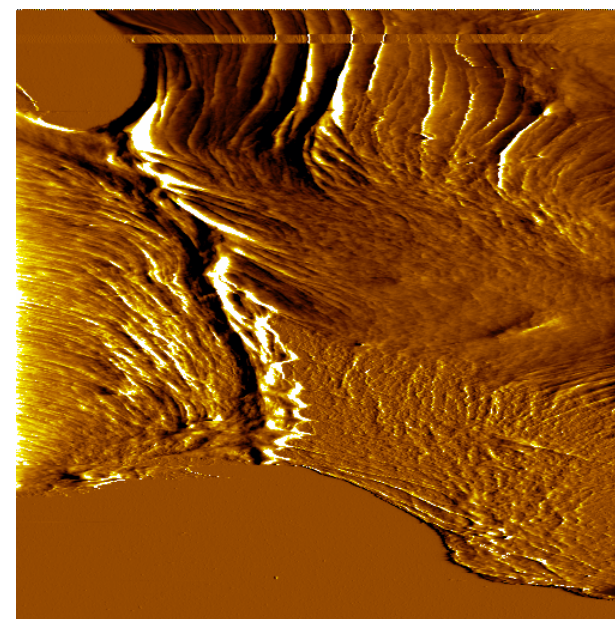
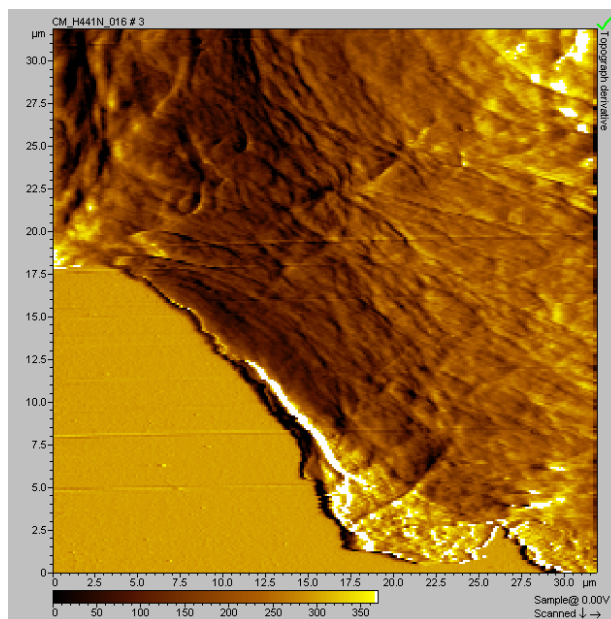
Jak pozorovat nano-objekty?

DUAL SEGMENT PHOTODIODE
(position sensitive detector)



Jak pozorovat nano-objekty?

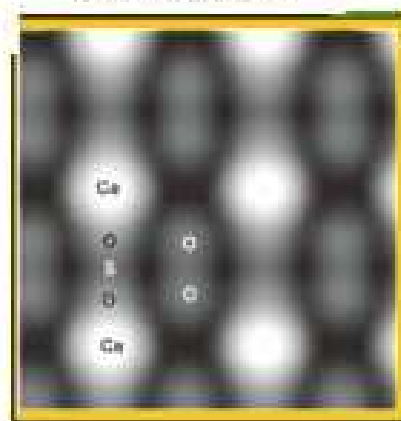
100 nm ← dipól-dipólové



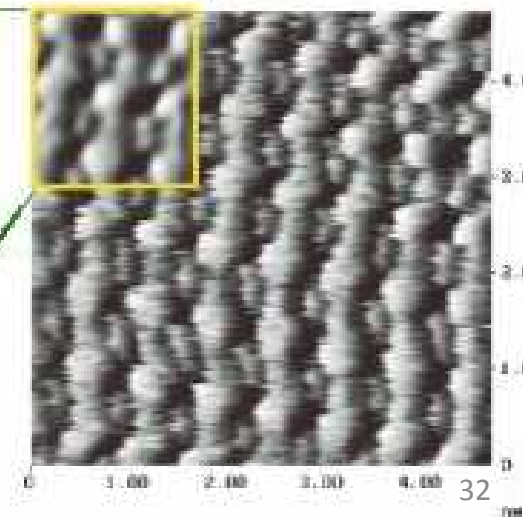
10 nm ← V. der Waals

1 nm ← Výměnné interakce

Simulation



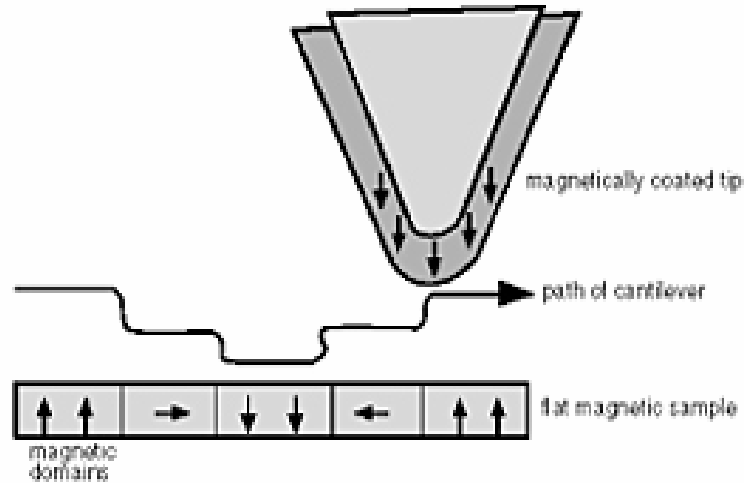
Experiment



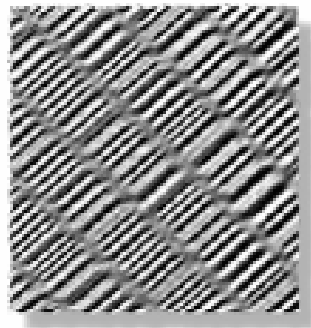
Jak pozorovat nano-objekty?

-Rozlišení magnetických domén 20nm

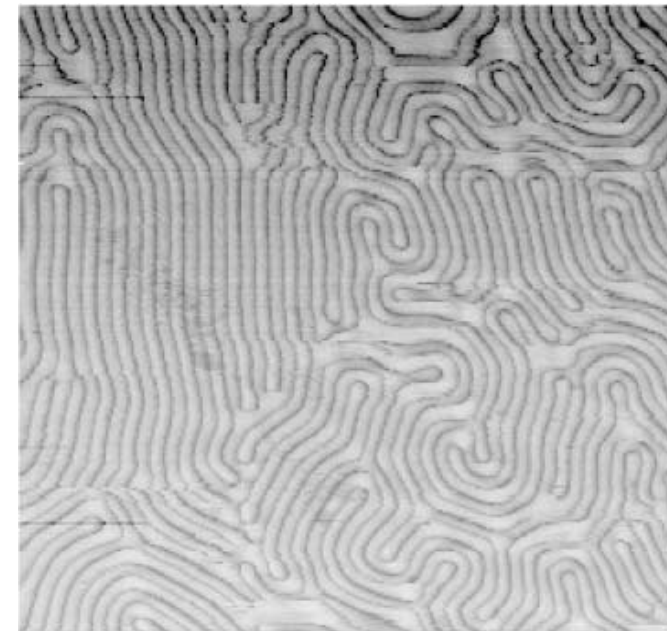
-Rozlišení magnetického momentu atomů



MFM maps the magnetic domains of the sample surface.



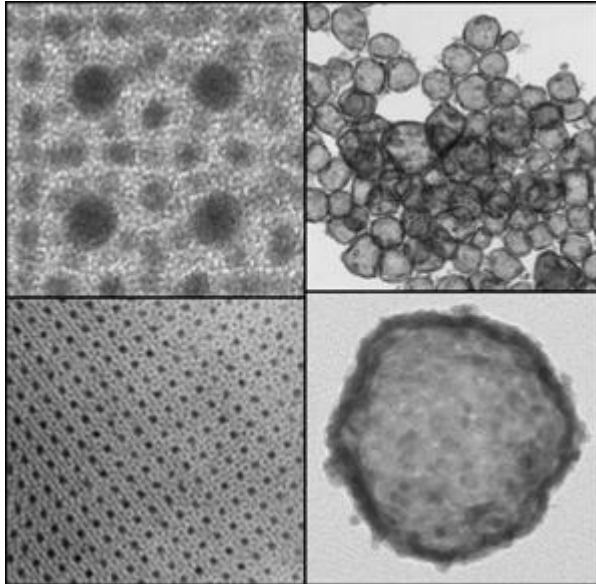
**MFM image showing the bits of a hard disk.
30µm. scan**



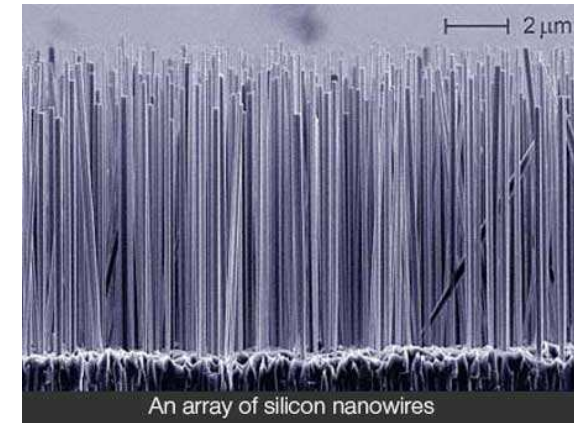
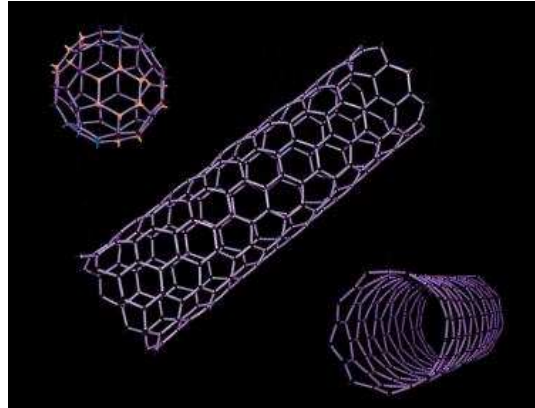
20 µm×20 µm (Hosoi et al.)

Rozdělení nano-objektů

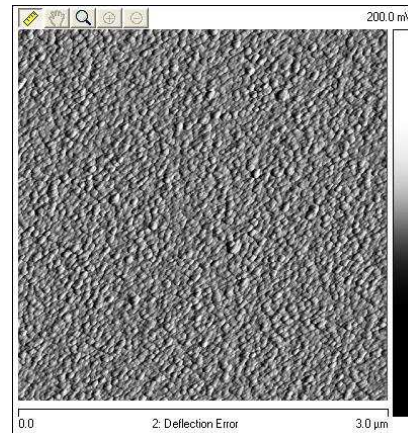
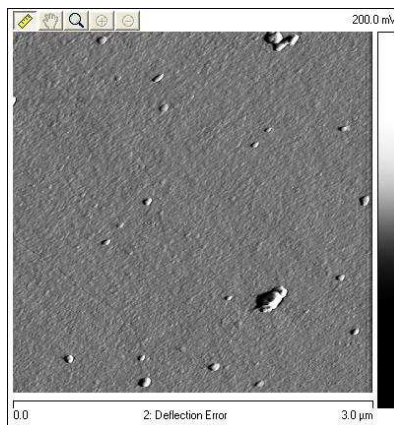
0D: Nanočástice, kvantové tečky



1D: Nanodráty, nanotuby



2D: Tenké filmy



3D: složitější komplexní struktury, čipy



Rozdělení nanoobjektů

Nanocrystals and clusters (quantum dots)	1 – 10 nm (diam.)	Metals, semiconductors, magnetic materials
Other nanoparticles	1 – 100 nm (diam.)	Ceramic oxides
Nanowires	1 – 100 nm (diam.)	Metals, semiconductors, oxides, sulfides, nitrides
Nanotubes	1 – 100 nm (diam.)	Carbon, layered metal chalcogenides
Nanoporous solids	0.5 – 10 nm (pore diam.)	Zeolites, phosphates, etc.
2-D arrays (of nanoparticles)	Several nm ² – μm ²	Metals, semiconductors, magnetic mater.
Surfaces and thin films	1 – 1000 nm (thickness)	A variety of materials
3-D structures (superlattices)	Several nm in the three dimensions	Metals, semiconductors, magnetic materials

Základní proces výroby

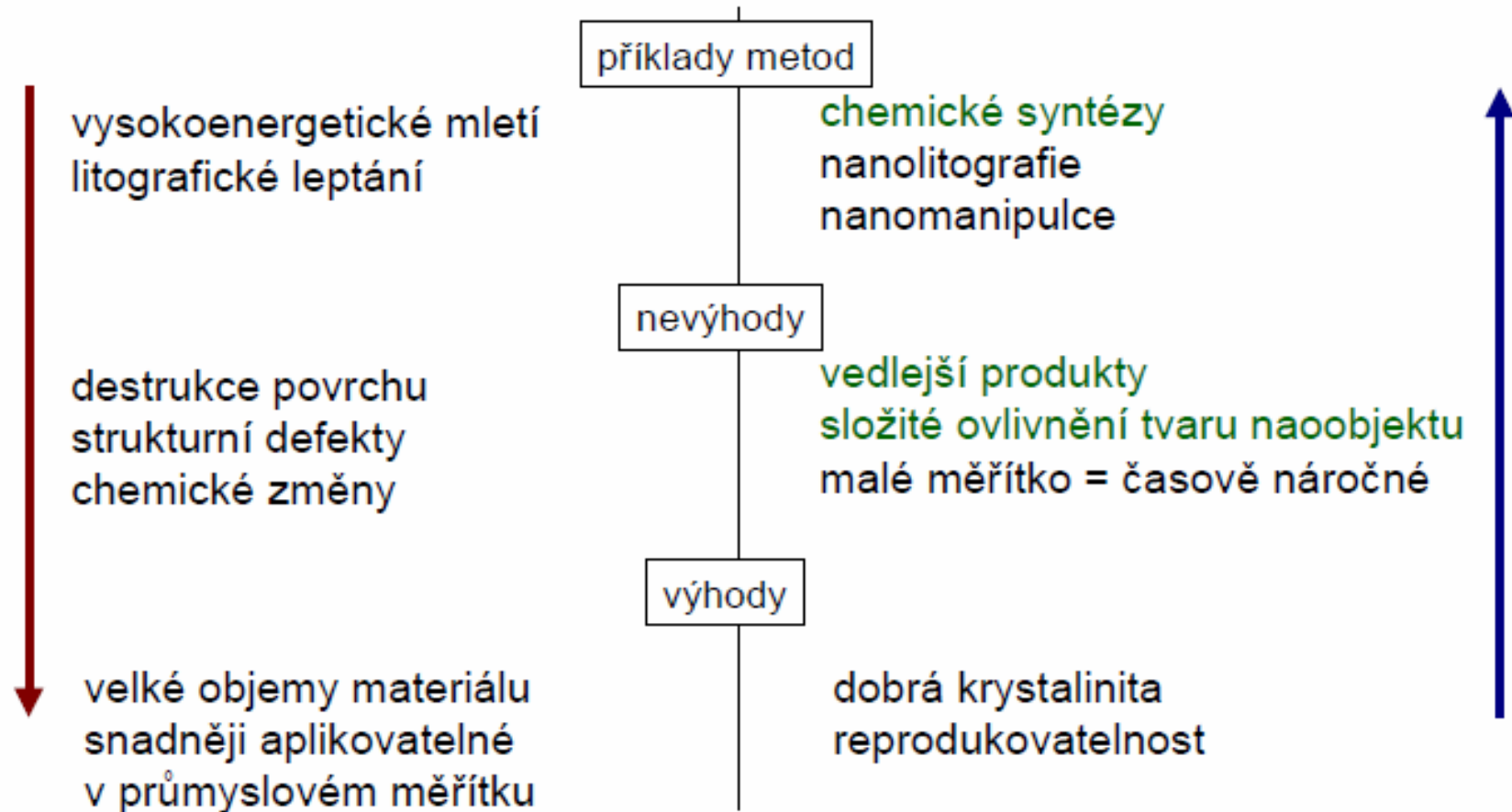
„Top-down“

- Feynmann – velké stroje budou konstruovat ty malé
- práce na molekulární úrovni
- fotolitografie
- tenké filmy
- výroba ve velkých množstvích

„Bottom-up“

- skládání malých částí ve větší
- chemická syntéza
- E. Drexler-molekulární stroje
- využití proteinů, stavba přírodě podobných strojů
- akademická půda, průmysl
- individuální molekuly představují tranzistory, vlákna
- samo-uspořádající se struktury
- MEMS, NEMS

Top-down vs. bottom-up



Některé nanosystémy nelze připravit jedním z uvedených přístupů...

0D- Nanočástice

Nové vlastnosti materiálů při dosažení nanorozměrů

Kovy \longrightarrow polovodiče, izolátory

- fluorescence

-kvantové jevy

-zmenšení poměru povrch/objem – stávají se srovnatelnými

-povrchové atomy mají jiné vlastnosti než atomy uvnitř- větší reaktivita materiálu, využití katalytických jevů (Au)

-nanoklastry Au: 8 nebo 22 atomů- katalytické účinky, 7 nebo 20 – inertní

Na čem závisí tvar nanočástice?

- uvažujme krystalovou strukturu
- povrchová rovina – povrchová energie
- tvoří se fazety s nejmenší povrchovou energií

$$\gamma_0 = \frac{1}{2} N_b u \rho_a$$

N_b – počet přerušených vazeb

u - síla vazby

R_a - povrchová hustota atomů

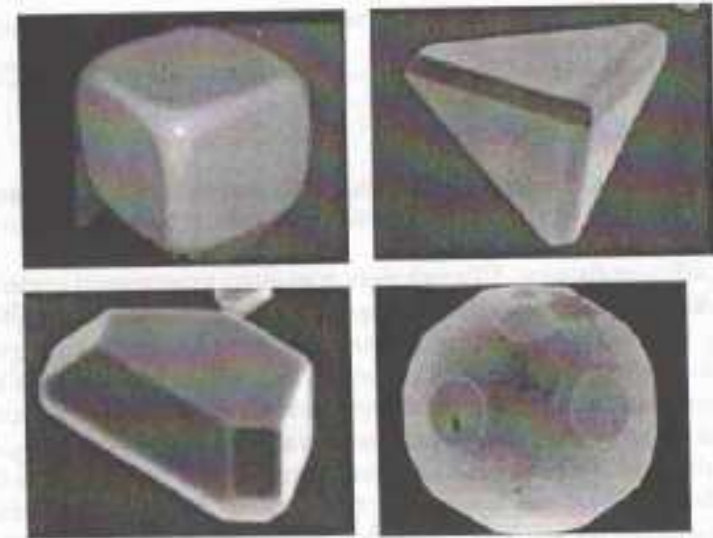
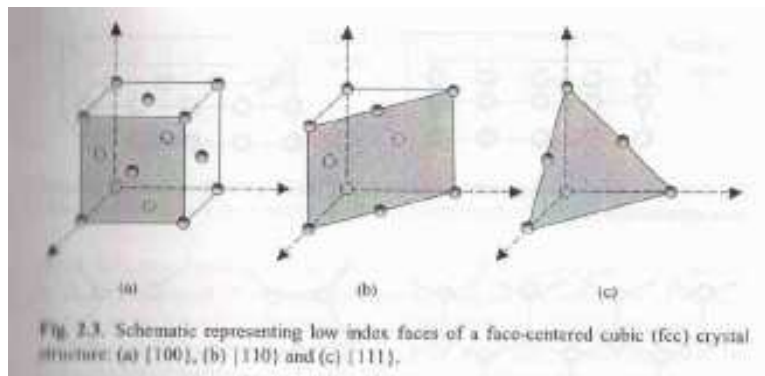
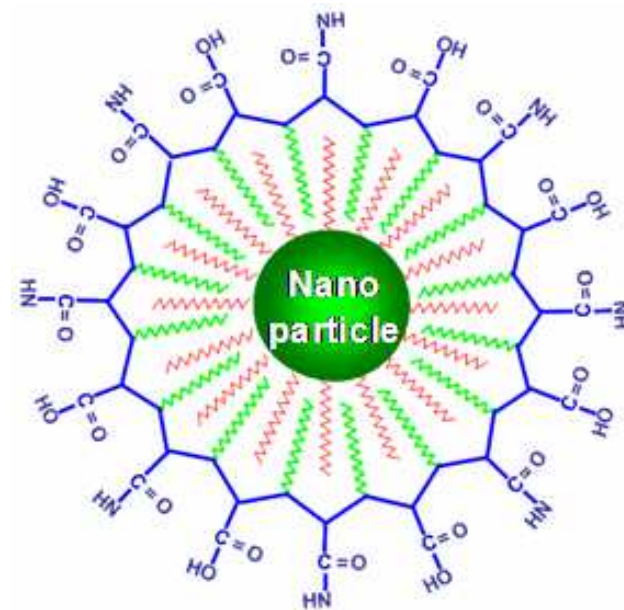
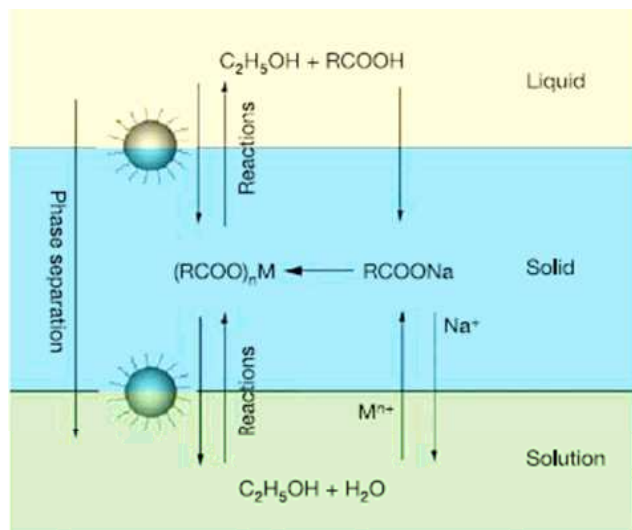
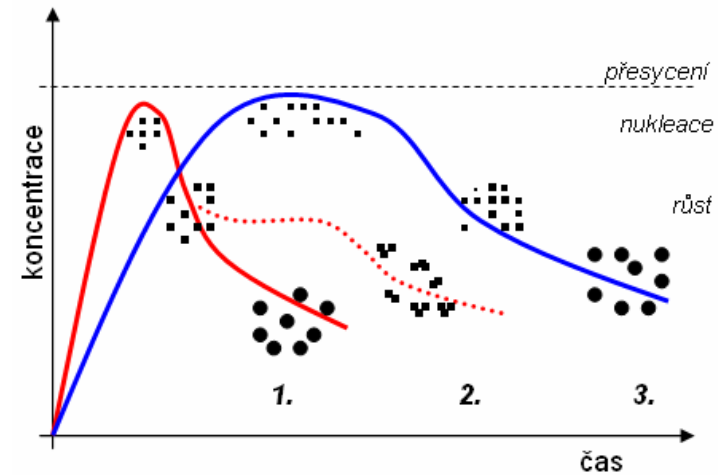


Fig. 2.7. Examples of single crystals with thermodynamic equilibrium shape. (Top-left) Sodium chloride, (top-right) silver, (bottom-left) silver, and (bottom-right) gold. Gold particles are formed at 1000°C and some facets have gone through roughening transition.

- výsledné tvary fazet – redukce povrchové energie
- odlišné pro různé typy struktur

Chemická cesta (bottom-up)

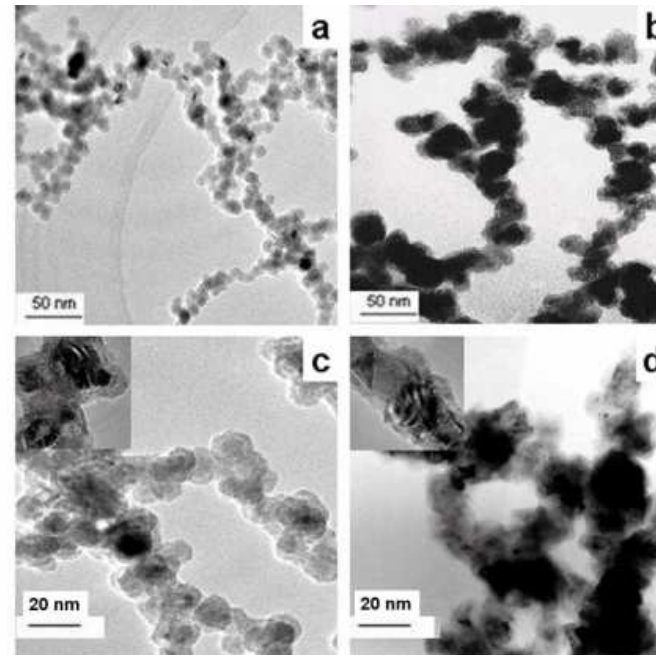
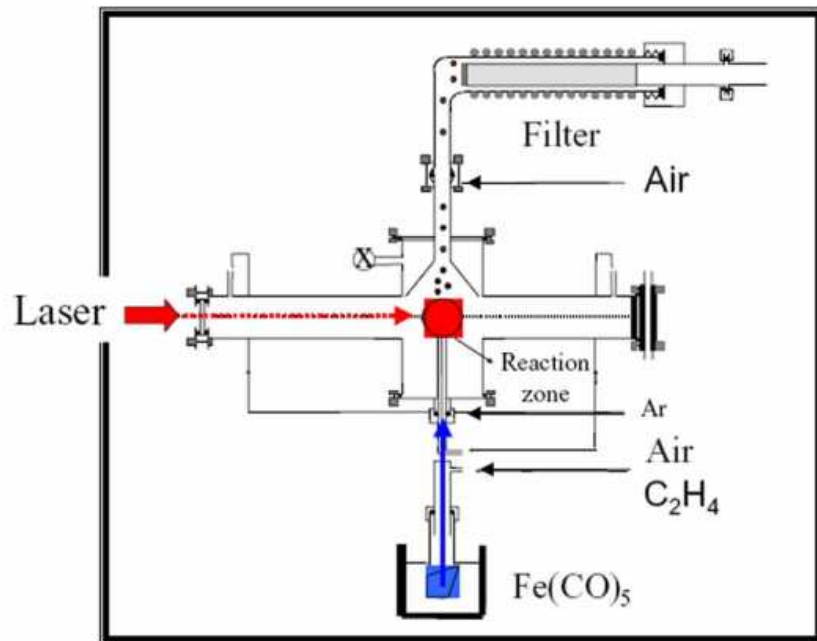
- růst nanokrystalů z přesyceného roztoku (pH, teplota)
- solvo-termální metoda
- micelární metoda aj.



Fyzikální postup přípravy

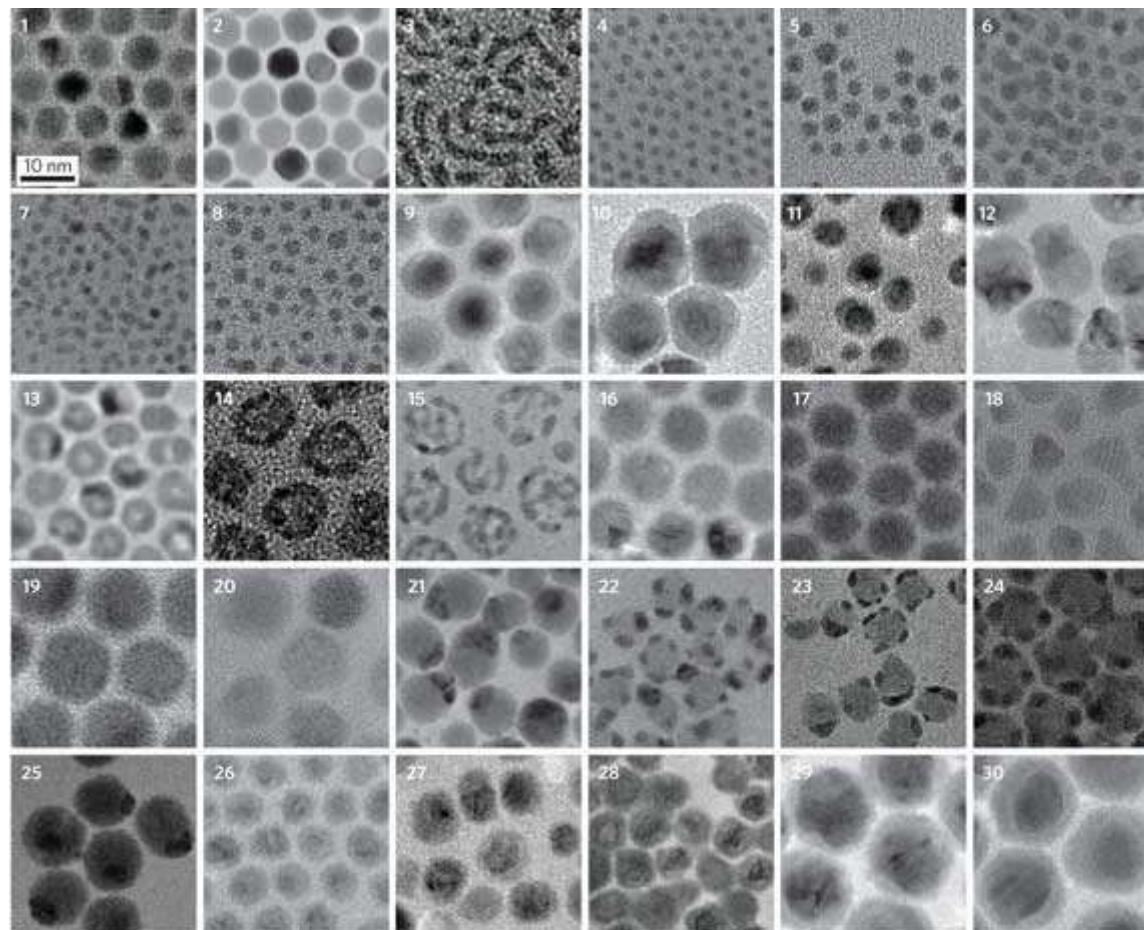
Laserová pyrolýza (bottom-up)

- kondenzační centra v plynu



0D- Nanočástice

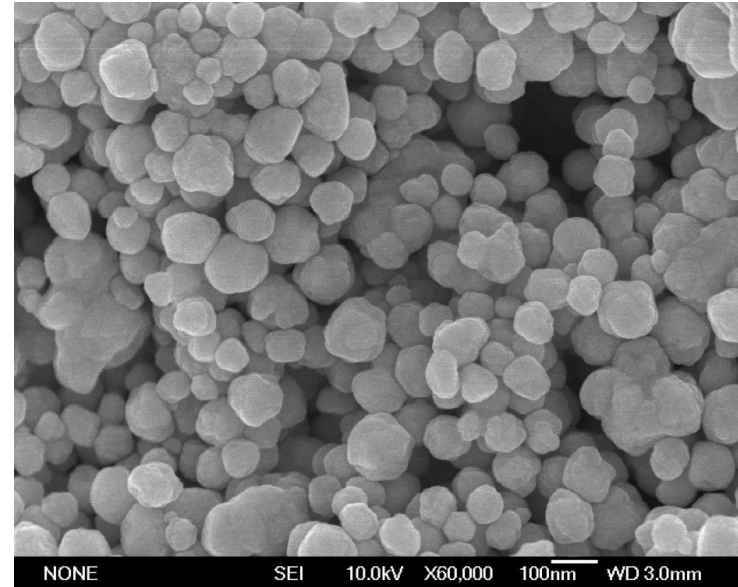
Au, Ag, Pt, Rh nanočástice – různé metody



Nature Materials 8, 683 - 689 (2009)

Nanostříbro

- antimikrobiální účinky stříbra jsou známy již po staletí
- denaturace disulfidových vazeb v buněčných membránách bakterií
- obdoba peroxidu vodíku
- lékařské přístroje, textil, klávesnice pro počítače, automobilový průmysl, sportovní předměty, kosmetika, hračky, nátěry podlah a zdi aj
- potravinářský průmysl- zásobníky potravin, nádobky na potraviny, chladničky, mrazničky.



-Kontejner na potraviny, který má zabudovaný prášek nanostříbra, vyvinula korejská firma A-Do Global Co. Ltd.

- *Fresh-Box*[®] : antimikrobiální účinky vůči *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* , bez negativního vlivu na barvu konečného výrobku (99,9% snížení bakterií po 24 hodinách)

0D- Nanočástice

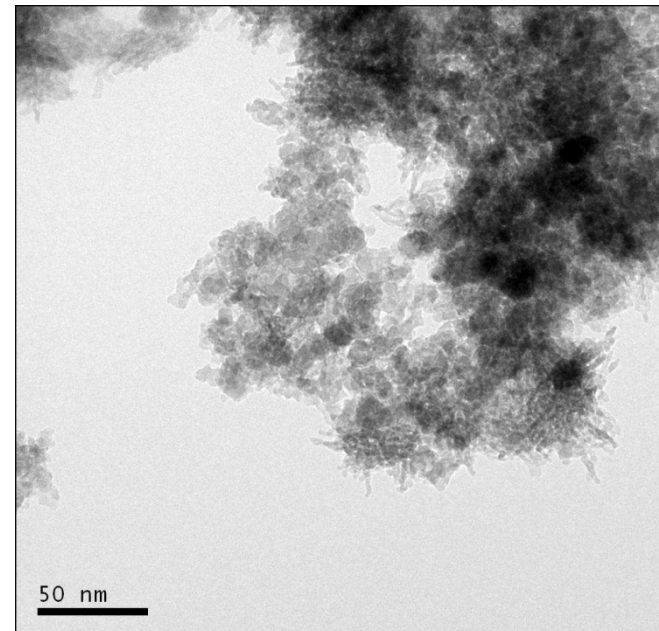
Nano ZnO

- vynikající antibakteriální účinky, fyzikální stabilita
- neobarvuje, nevyžaduje k aktivaci UV světlo
- medicína, kosmetika, výroba živočišných krmiv a veterinárních léčiv
- Průmysl: pryž, keramika, textilní barvy aj
- chrání před UV zářením (UVA a UVB).

Plastový obal se zabudovanými nanočásticemi ZnO vyvinula firma SongSing Nano Technology

Nano TiO₂

- mechanický filtr v opalovacích krémech
- fotokatalytické účinky - čištění organicky kontaminovaných roztoků
- UV aktivace








0D- Nanočástice

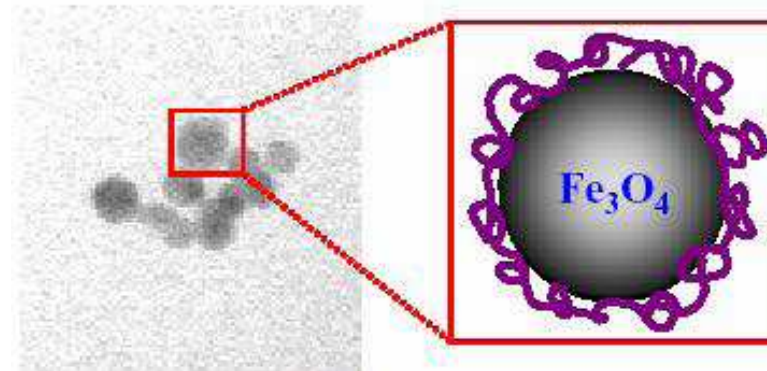
Oxidy železa

Superparamagnetické nosiče



Katalyzátory (TiO_2 , ZnO_2)
Kontrastní látky (MRI, RTG...)
Transport léčiv

$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	<i>hematit</i>	
$\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$	<i>'beta'</i>	
$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	<i>maghemit</i>	
$\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$	<i>'epsilon'</i>	
Fe_3O_4	<i>magnetit</i>	

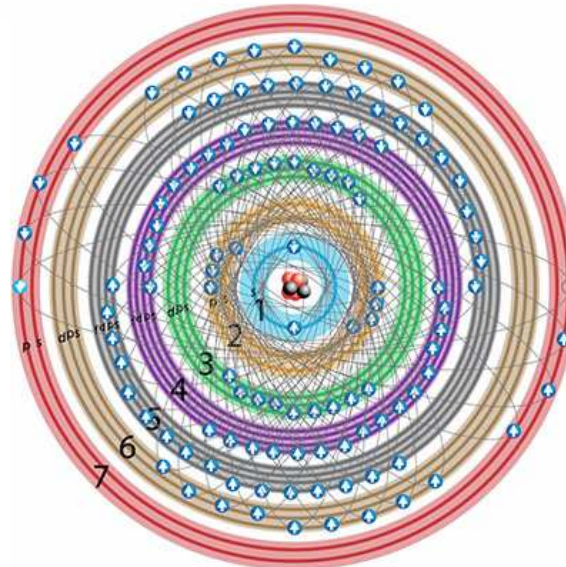
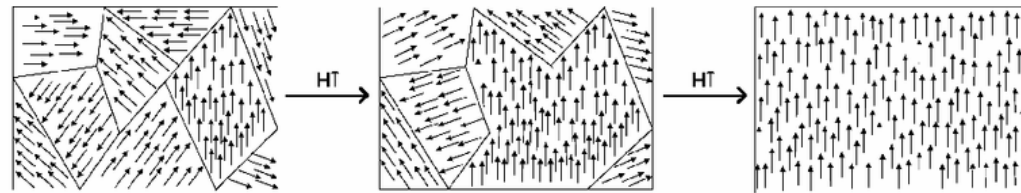
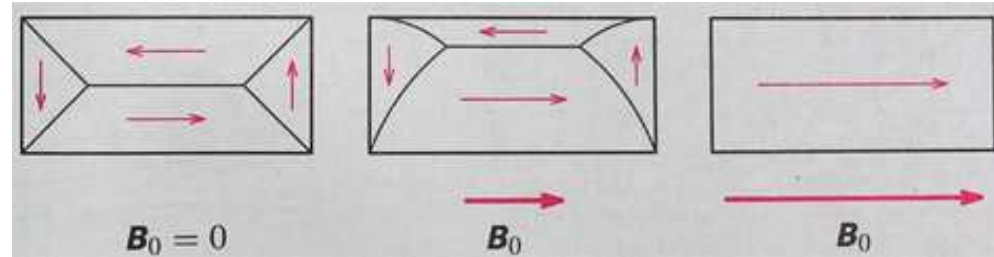
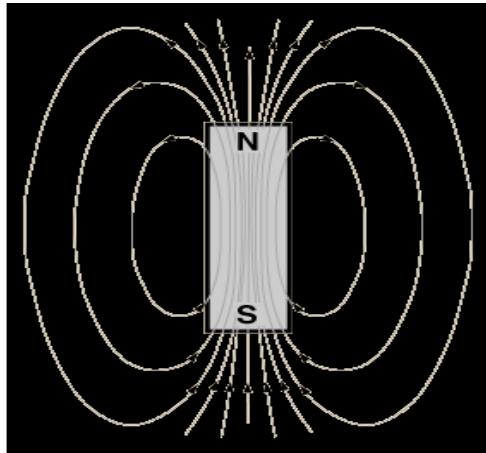


Po splnění úkolu se dají za pomoci magnetického pole odstranit

Jak to funguje?

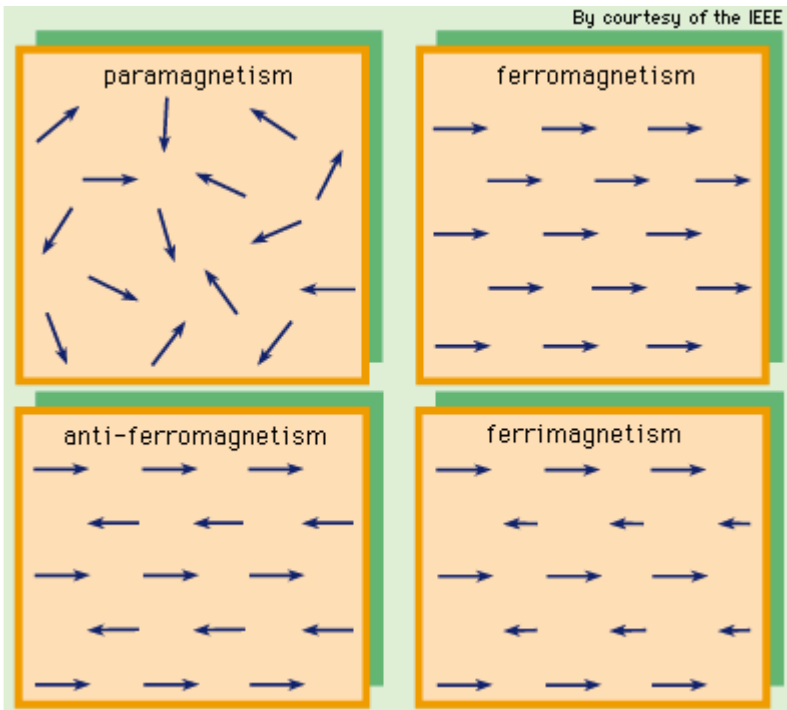
0D- Nanočástice

Úvod do úvodu k magnetismu



$$\mu_B = 9,27 \times 10^{-27} [\text{Am}^2]$$

0D- Nanočástice



paramagnet

- náhodná orientace spinů (domén) bez přítomnosti B
- slabě zesilují B

ferromagnet

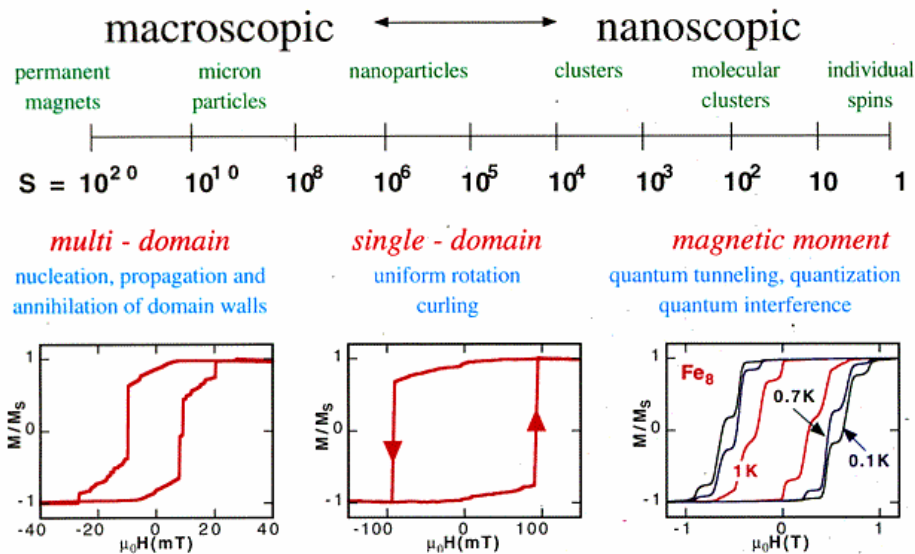
- uspořádání magnetických domén (spinů)
- hystereze
- přechod ferromagnet- paramagnet , T_c

diamagnet

- zeslabení pole
- žádné domény, spiny

superparamagnet

- jednodoménové nanočástice
- pod T_B , blokováné, reagují na B
- nad T_B , superparamagnetické, nereagují na B



1D- Nanotuby, nanovlákna

Nanotuby

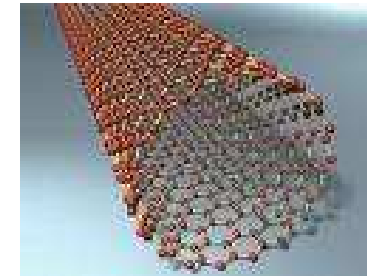
-10 krát pevnější než ocel, 10 krát lehčí než ocel

-vodiče, polovodiče

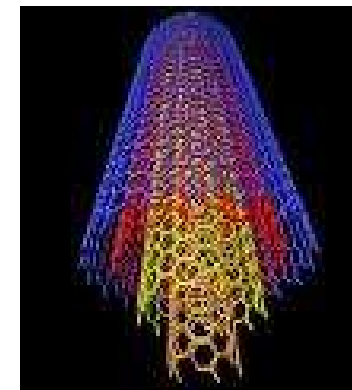
-základ pro ultra-hustý záznamový systém

-velký poměr mezi průměrem tuby a délkou (nm až mm)

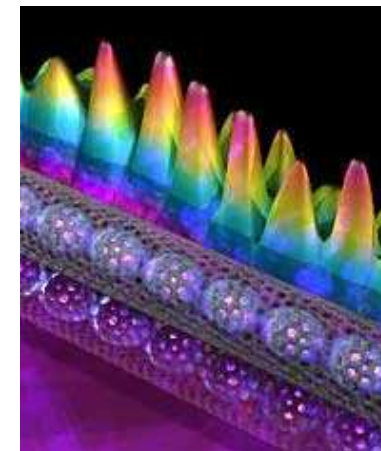
Material	Yangův modulus (TPa)	Napětí v tahu (GPa)	Prodloužení při protržení(%)
SWNT	~1 (od1 do 5)	13–53 ^E	16
MWNT	0.8–0.9 ^E	150	
Nerez ocel	~0.2	~0.65–3	15–50
Kevlar	~0.15	~3.5	~2



SWNT



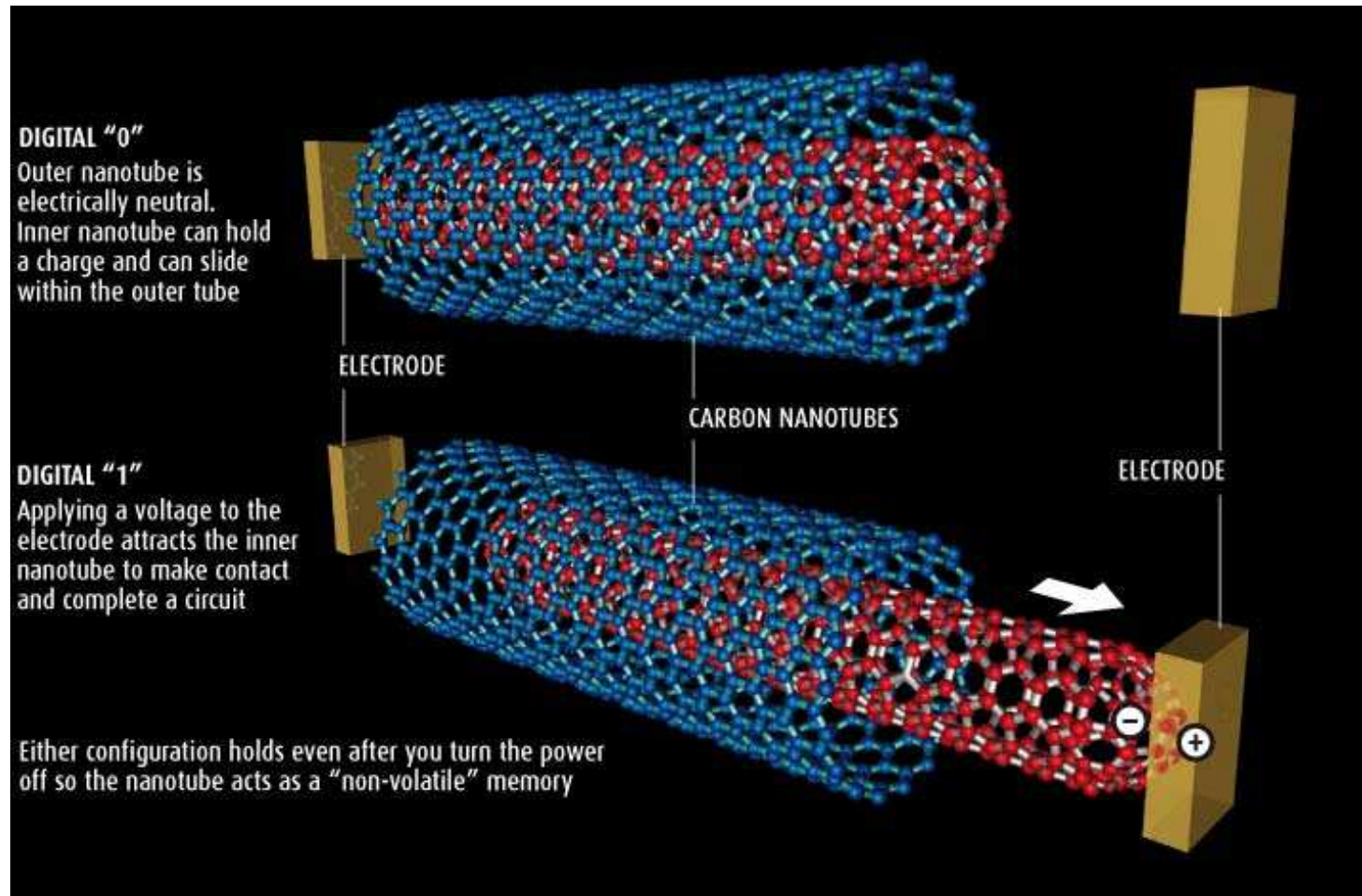
MWNT



53 GPa- 5300 kg zavěšených na laně o průměru 1mm²

1D- Nanotuby, nanovlákná

Paměťová média



1D- Nanotuby, nanovlákna

Hnojiva

Mariya Khodakovskaya , Alexandru Biris, University of Arkansas



Experiment

- 270 sterilních tomatových semen (nanotuby 10-40 mg/ml)
- kontrolní skupina 90 semen

3 dny

kontrolní skupina neklíčí, 30% přihnojených semen naklíčilo

12 dní

32% kontrolní skupiny naklíčilo, 70% přihnojených naklíčilo

4 týdny

přihnojené rostliny 2-krát delší než kontrolní skupina, 2-krát více biomasy

Jak to funguje?

- Nanotuby propíchnou obal semen- větší absorpce vody než u normálních semen

1D- Nanotuby, nanovlákna

Nanovlákna

Vodič

- proud teče pouze podél vlákna-snadno kontrolovatelné
- chování podobné vodní hadici-přišlápnutím zastavíte tok

Senzory

- detekce chemických látek-pár částic na bilion vzduchových, navázání molekuly změní elektrický tok
- přeměna ztrátového tepla na elektřinu

Fullereny

Fotovoltaické články z organických polymerů (levnější než Si)

- foton vyrazí elektron-ten se s velkou pravděpodobností rekombinuje
- přidání fullerenu-pochytání volných elektronů, konverze na elektrický proud
- Alan Heeger et. al: University of California, Santa Barbara-
-6,5 % sluneční energie konvergováno na elektřinu

Budoucnost:

- Spojování molekul do žádaných tvarů

2D- Tenké filmy

Tenké filmy- paměťová média

- snaha o vytvoření co nejmenšího bitu – zvětšení kapacity se zmenšením rozměru
- superparamagnetické nanočástice – vysoká H_C , nedojde k náhodnému přepsání v přítomnosti magnetického pole
- využití přechodu u pevných látek – krystalické vs. amorfní, odlišné fyzikální vlastnosti

Litografie

- Technika přípravy čipů za pomoci světla
- Si destička pokryta lakem, vypálení stopy
- leptán, implantace cizích atomů, nanášení vrstvy- odlišné elektrické vlastnosti
- Hustota tranzistorů dnes: víc než půl milionu na špičce tužky

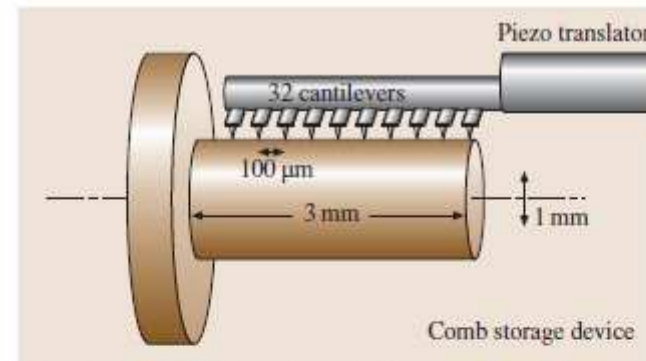


Fig. 47.12 A schematic diagram of a comb storage device

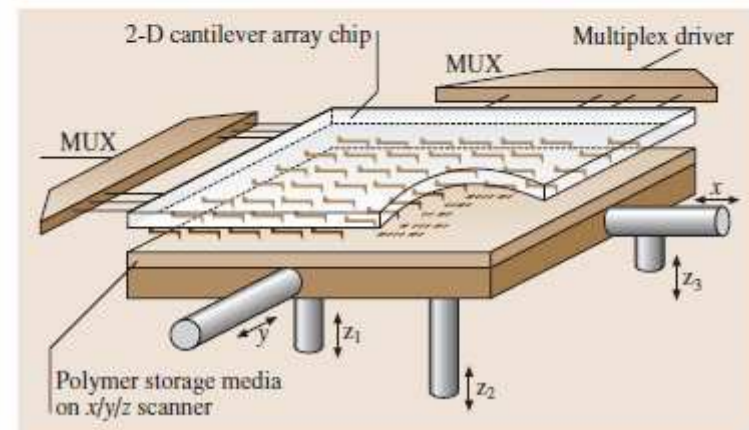


Fig. 47.13 A schematic diagram of a MEMS storage device

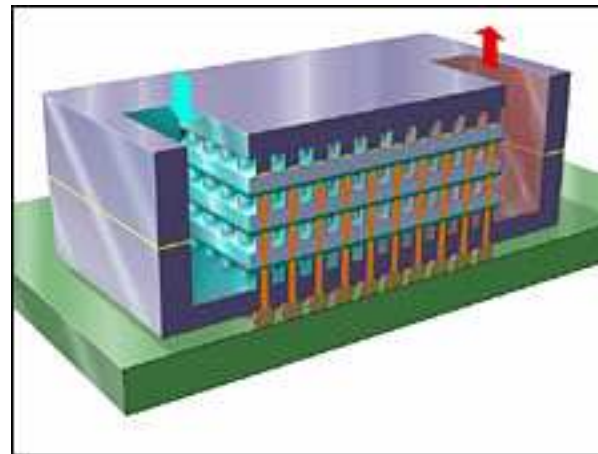
- Stopa vytvořena tepelnou aktivací filmu
- Změna magnetického stavu v bodě dotyku
- Chemická reakce (oxidace)

Firma Infineon, Mnichov

- Růst uhlíkových nanotrubic na leštěném křemíku
- Uspořádané 3D struktury
- Dobrá vodivost, zanedbatelné tepelné ztráty, pevnost – mechanicky zatížitelné spoje
- tranzistory- hranice 90 nm



4 vrstvy tranzistorů



IBM – chlazení vodou

Nanobiosensory (založeno na principu MEMS)

-biologický prvek-specifikuje přítomnost dané látky

-převodník- přeměňuje biochemický signál na elektrický, optický, úměrné koncentraci

3 typy senzorů:

1)Senzory s nosníkovým uspořádáním
(MEMS, NEMS)

2)Nanotrubicové senzory

3)Nanodráťové senzory

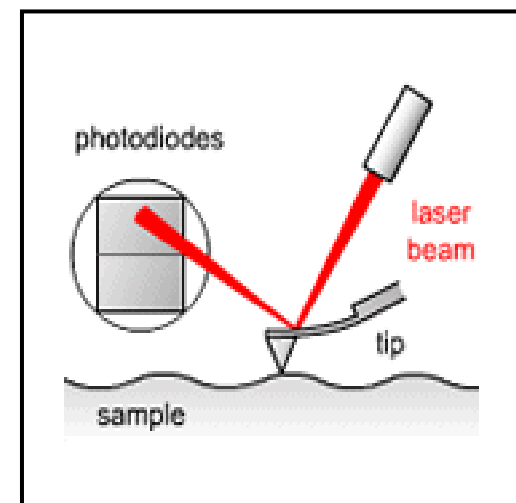
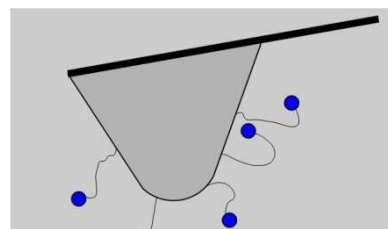
1) Senzory s nosníkovým uspořádáním

Ohyb vlivem molekulární absorpce, změna povrchového napětí-indukují ohyb

Detekce bakterií, plísní, virů

-interakce mezi specifickými protilátkami na povrchu nosníku a antigeny na povrchu buněčných membrán

-citlivost 1 bakterie, spóru plísně, 1 částice viru kravských neštovic (1 pg)



NOSE (M.K. Baller, 2000)-
nanotechnologický čichový senzor

-Těkavé páry a prach

-Si nosník, pokryto Ti a Au, polymer

-Detekce plynu-difuze molekul plynu do polymeru-bobtnání a statický ohyb nosníku

2) Senzory na bázi uhlíkových nanotrubic

Detekce karcinogenních látek

-nanotrubic ovínuté molekulou DNA, fluorescence v blízké infračervené oblasti

-poškození DNA – změna fluorescenčního spektra

Monitorování glukózy v moči a krvi

-enzym gluko-oxidáza na povrchu CNT

-katalýza glukózy, vznik peroxidu vodíku, změna fluorescenčního spektra

3) Senzory na bázi uhlíkových nanodrátů

- funkcionalizované specifickými povrchovými receptory, používané v roztocích

-změna vodivosti

-detekce virů, bakterií

Industriální sektor

1) Automobilový průmysl

- snížení znečištění vzduchu
- snížení hmotnosti
- recyklovatelnost
- bezpečnost
- větší efektivita (menší spotřeba paliva)
- dlouhá životnost

2) Letectví

- snižování nákladů na provoz, paliva o 20-30 %
- snížení emisí CO₂ o 50%
- snížení emisí Nox o 80%
- hluk v kabině snížen na polovinu

3) Zdraví a zdravotnický systém

- výroba léčiv
- cílený transport léčiv
- molekulární diagnostika, zobrazování
- implantáty (aktivní)
- orgánové inženýrství
- chirurgie
- kosmetika
- chytré potraviny

4) Energetika

- produkce, uchovávání a šetření energie
- fotovoltaika (solární články)
- využití vodíku (palivové články)
- termoelektronická zařízení

Automobilový průmysl

Nanomateriály dnes

- polypropylenové krytí karoserie
- jílové nanokompozity- mazadla
- nahrazení kovových částí lehkými a pevnými nanokompozity (nanokeramické materiály s minerály jílu)-nižší spotřeba
- pokrytí opotřebovávajících se rotujících částí uhlíkem, diamantem
- ochranné laky – antikorozní (uhlíkové nanotuby), blokáce UV, precizní leštění povrchu, pigmenty
- nanočástice- abraziva, pigmenty, elektrochromové krytí skel
- maziva (ferrofluidy)
- tlumiče – Fe nanočástice v tlumičové kapalině- změna viskozity za působení magnetického pole (kapalina-pevná látka), přizpůsobení tlumičů prostředí

Budoucnost

- palivové články (zachytávání a uchovávání vodíku)



Letecký průmysl

Současné využití

- nanoprášky
- nanokompozity- uhlíkové nanotuby, keramické nanomateriály (ZrO_2 -krytí turbín)
- elektronika- Cu mikrovlákna vlákna, izolanty (TEFLON...), kontakty, konektory

Průmyslová výroba nanoprášků-
pouze oxidy, laserová pyrolýza

Plánované materiály:

- kompozitní materiály pro zacelení poškození materiálu
- skelná vlákna, uhlíková vlákna v polymerní matrici- způsobí poškození matrice při vibraci, nárazu, uvolnění matrice v kapslích-zacelení trhliny
- snižování hmotnosti
- antikoroziční nátěry (Al_2O_3 , ZrO_2 , WCCo)

Zdraví a zdravotnický systém

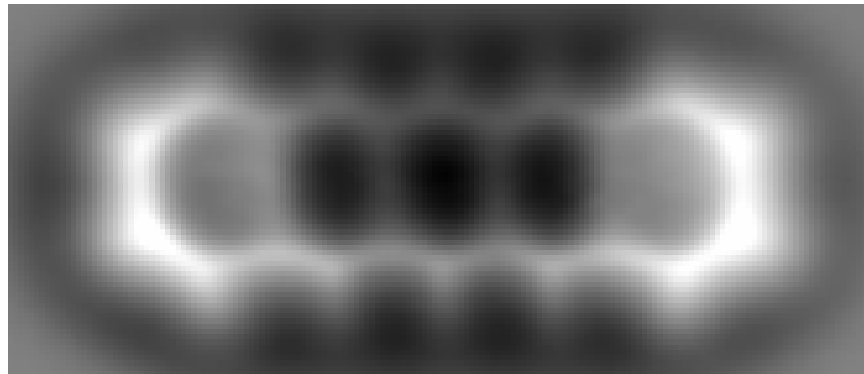
Klinické- preklinické využití nanomateriálů v transportu léčiv

- nanočástice, nanokapsule (liposomy), fullereny, nanotuby, nanoporózní materiály, kvantové tečky, micely, tekuté krystaly, hydrogely...
- kombinace velkého povrchu s malým rozměrem- snadné pronikání tkání
- studie hovoří o toxicitě ve velkém množství použitého materiálu (kumulace uhlíkových nanotub v mozku, silikóza plic u myši)
- injekce do krevního řečiště, inhalace, orální aplikace, intramuskulární....

Kontrastní látky

- RTG, CT, MRI, ultrazvuk, NM – zvýšení signálu
- nukleární medicína- fluoruhlíkové nanočástice v emulzi s Techneciem-99m, značkováno specifickým ligandem
- MRI- cheláty gadolinia v perflourkarbonové emulzi nanočástic, modifikované fullereny, oxidy železa
- optické zobrazování- kvantové tečky
- RTG- fullereny, uvnitř molekuly holmia

Děkuji za pozornost.



Zdraví a zdravotnický systém

LEVEL OF DEVELOPMENT

Legend : Technology Invention Laboratory Prototype Industrial Demonstrator Industrialisation Market Entry

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
core shell nanoparticle	I									ME					
Fullerenes								ME							
Gold (Au) - Nanoparticles								ME							
gold shell nanoparticle		I							ME						
Polyacrylonitrile (PAN) nanostructures		I							ME						
Poly-ethylene glycol (PEG) nanostructures		I							ME						
POSS Nanostructured Catalysts	ID		I							ME					
quantum dot (nanoparticle)		I								ME					
Silver (Ag) - Nanoparticles								ME							

APPLICATIONS

List of specific applications corresponding to search criteria

	Unspecified	0 - 2 years	3 - 5 years	6 - 10 years
core shell nanoparticle				- imaging
Fullerenes			- Tracer	- Agents for cancer therapy and aides
Gold (Au) - Nanoparticles		- Catalysts		- Therapeutic treatments
gold shell nanoparticle				- imaging contrast agent
Polyacrylonitrile (PAN) nanostructures	- Field emission arrays			
Poly-ethylene glycol (PEG) nanostructures			- Ultrasensitive bioassays and multicolor fluorescent labels	
POSS Nanostructured Catalysts			- contrast agents	
quantum dot (nanoparticle)		- imaging contrast agent		62
Silver (Ag) - Nanoparticles			- optical applications	

COSTS COMPARISON

Show color legend

Legend :



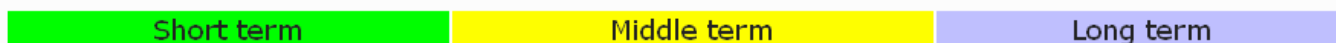
The brighter the color, the lower the cost

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1 - Costs and market									
Estimated market size									
core shell nanoparticle			~15 million \$			~25 million \$			
Fullerenes			~300 tons			~3,6 billion \$ in 2020			
Gold (Au) - Nanoparticles			~5 million euro			~10 million euro			
gold shell nanoparticle			~5 million euro			~10 million euro			
Polyacrylonitrile (PAN) nanostructures	~500 tons/year		~2500 tons/year			~5000 tons/year			
Poly-ethylene glycol (PEG) nanostructures	~250 tons/year		~500 tons/year			~2500 tons/year			
POSS Nanostructured Catalysts	~3,5 Million Euro		~10 million euro			~25 million euro			
quantum dot (nanoparticle)	~10 million \$		~500 million \$			~1000 million \$			
Silver (Ag) - Nanoparticles									

COSTS COMPARISON

Show color legend

Legend :



The brighter the color, the lower the cost

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Estimated material costs									
core shell nanoparticle			~400 € /vial			~400 € /vial			
Fullerenes	~100 € gram					~1 € gram			
Gold (Au) - Nanoparticles	~200 € per gr								
gold shell nanoparticle			~400 € /vial			~400 € /vial			
Polyacrylonitrile (PAN) nanostructures	~47000 € per Kg		~39000 € per kg			~29000 € per kg			
Poly-ethylene glycol (PEG) nanostructures	~27000 € per kg		~23000 € per kg			~17000 € per kg			
POSS Nanostructured Catalysts	~1000 € 750-5000 euro/kg		~100 € 100-500 euro/kg			~50 € 20-100 euro/kg			
quantum dot (nanoparticle)	~400 € per vial		~400 € per vial			~400 € per vial			
Silver (Ag) - Nanoparticles	~940 € per kg,								

Kosmetika



LEVEL OF DEVELOPMENT

Legend : Technology Invention (Red) Laboratory Prototype (Orange) Industrial Demonstrator (Yellow) Industrialisation (Green) Market Entry (Blue)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
biological composite materials		LP		ID						I					ME
Hydrophobic fumed silica nanoparticles			I								ME				
Lipid nanocontainers			TI							LP					ID
polymer matrix filled with activated silver (Ag-Ag ₃ PO ₄) ...								ME							
Polymethacrylic acid / polyethylene oxide (PMAA / PEO) ...		I							ME						
Polypyrrole (PPY) nanotubes		I							ME						
POSS Nanostructured Catalysts		ID								ME					
Self-assembling protein			TI				LP					ID			I
Silica (SiO ₂) - nanoparticles, coatings								ME							
Silver (Ag) - Nanoparticles								ME							

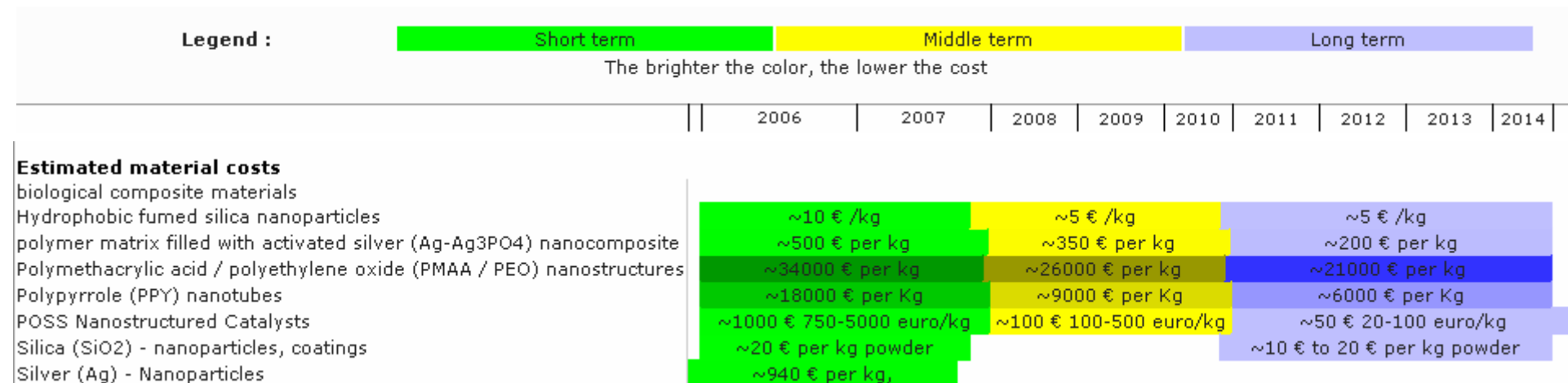
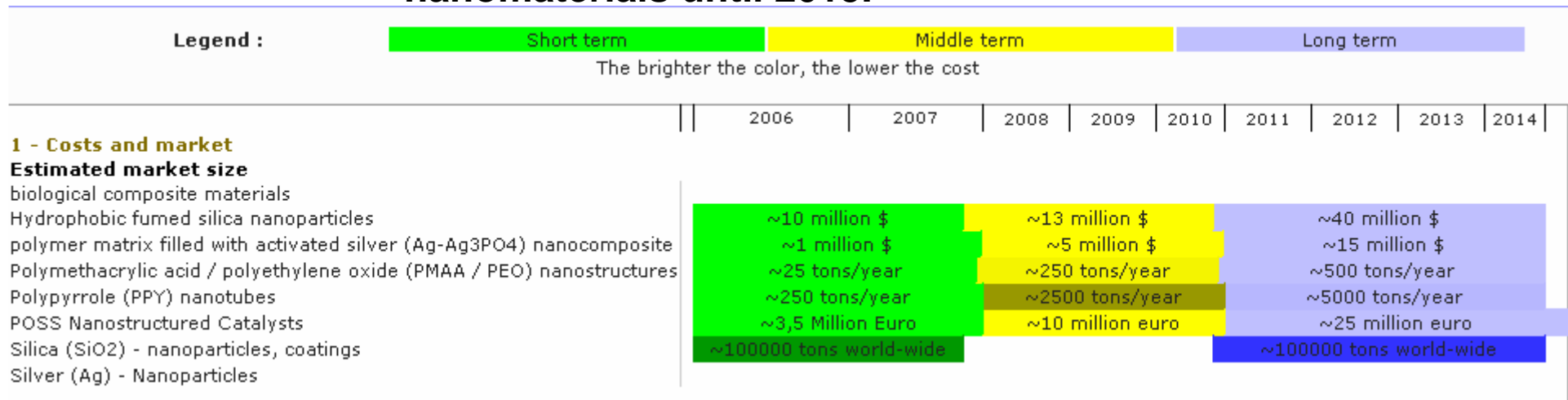


APPLICATIONS

List of specific applications corresponding to search criteria

	Unspecified	0 - 2 years	3 - 5 years	6 - 10 years
biological composite materials	- calcite nanocomposites			
Hydrophobic fumed silica nanoparticles			- cosmetics	
Lipid nanocontainers		- drug delivery		
polymer matrix filled with activated silver (Ag-Ag ₃ PO ₄) nanocomposite		- antimicrobial, antibacterial and antifungal materials - cosmetics - toothpaste		
Polymethacrylic acid / polyethylene oxide (PMAA / PEO) nanostructures			- Carrier degradable capsules	
Polypyrrole (PPY) nanotubes		- Controlled release of drugs and pigment		
POSS Nanostructured Catalysts			- cosmetics	
Self-assembling protein			- hydrophobin	
Silica (SiO ₂) - nanoparticles, coatings		- High gloss printing		
Silver (Ag) - Nanoparticles		- Antimicrobial, antibacterial and antifungal materials		

Estimated market size of the nanomaterials until 2015.



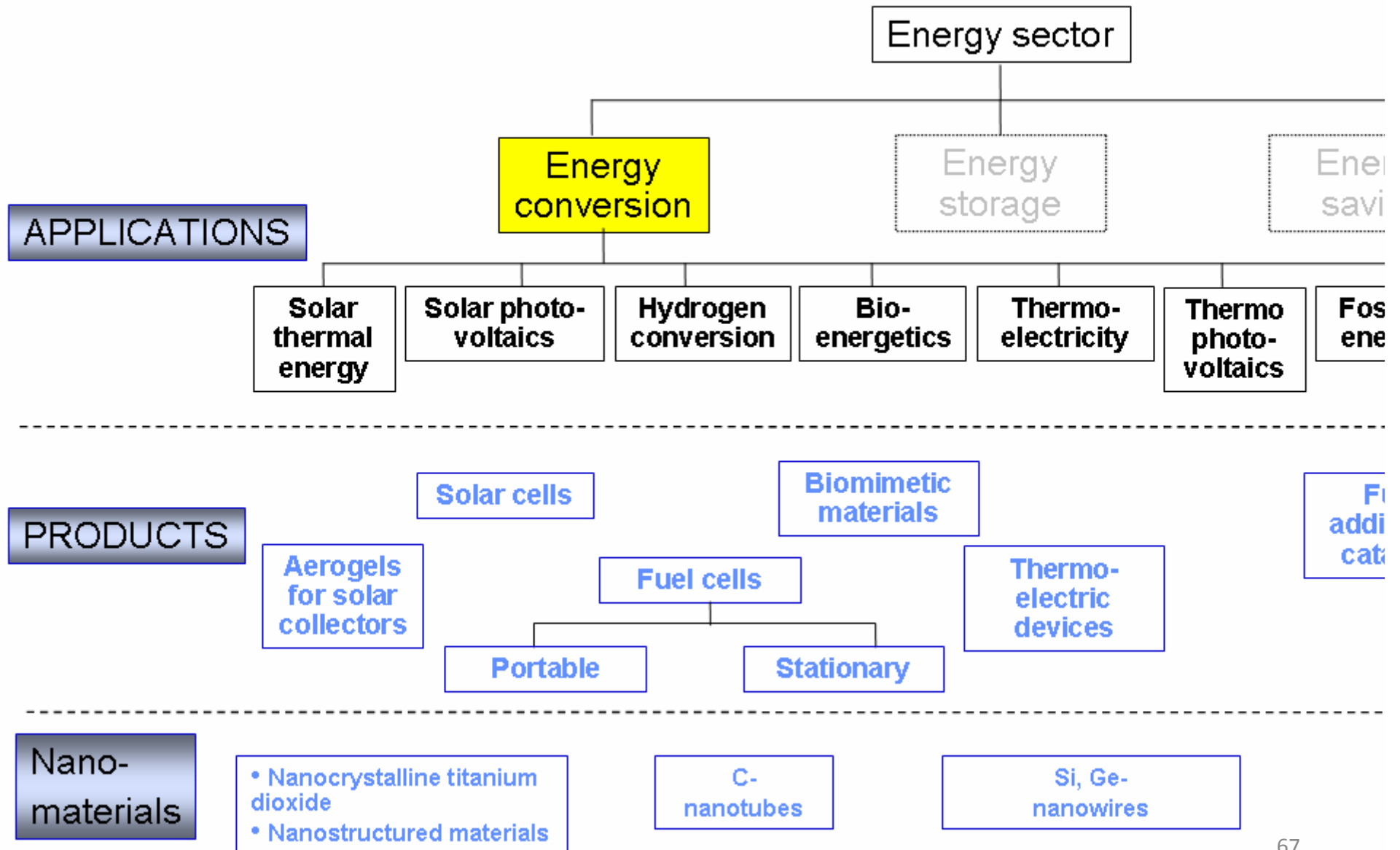
Energetika

APPLICATIONS

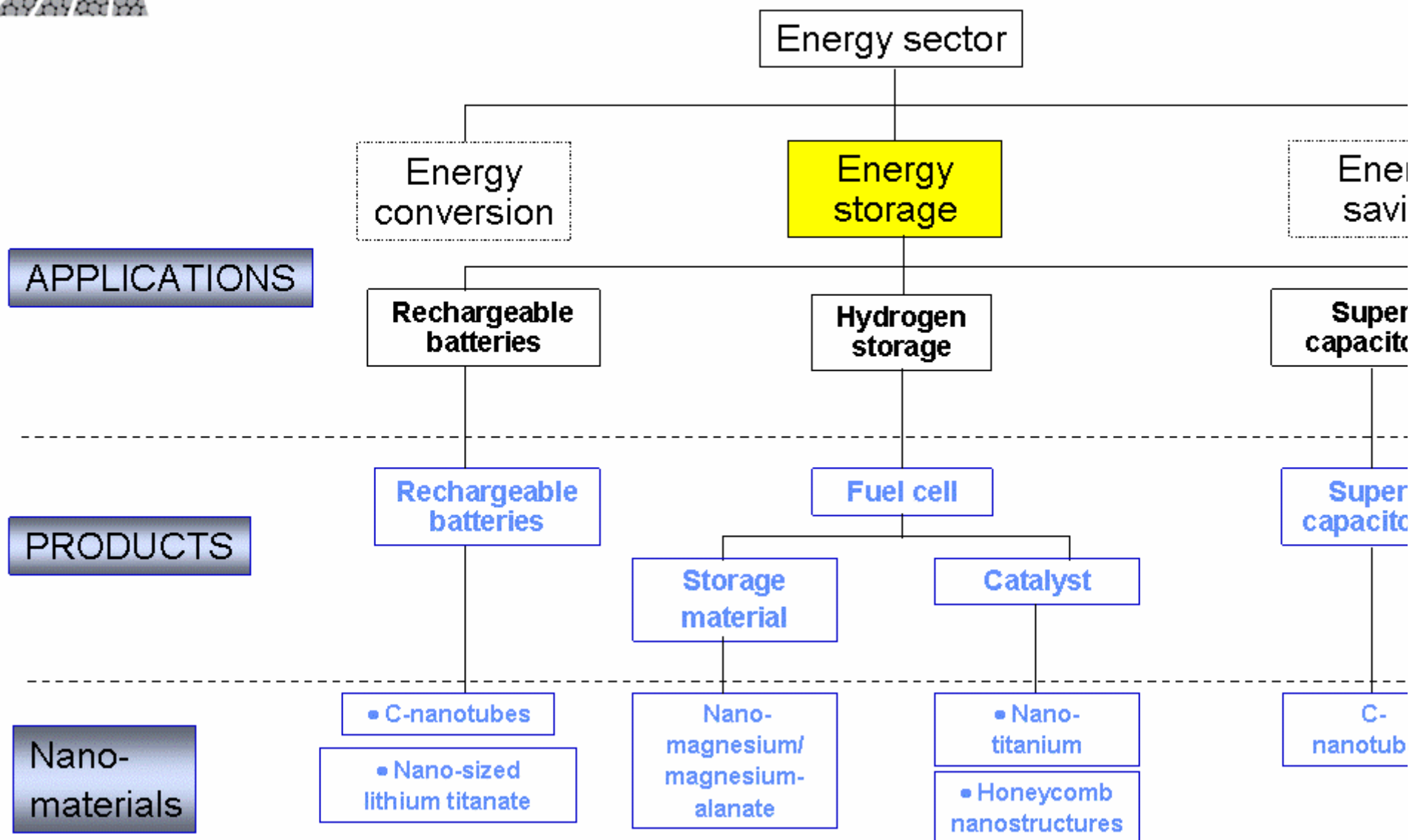
List of specific applications corresponding to search criteria

	Unspecified	0 - 2 years	3 - 5 years	6 - 10 years
Aluminium (Al) - transition metal alloys (Fe, Ni, Ti, Zr) - Nanocrystalline powders			- starting material to sinter near net shapes of light, structural materials	
Aluminium (Al), Magnesium (Mg) and Al-Mg alloys - Bulk materials with nano-grains			- Structural material	
Carbon Black		- Additive for rubber		
Carbon Nanofoam				- Strong lightweight material
Carbon Nanotubes				- Formation of foams with carbon nanotubes
ceramic matrix nanocarbon (bulk)			- stronger, lighter materials	
Hydrophobic fumed silica nanoparticles		- greases		
metal ceramic nano nanocomposite (coating)			- thermal insulation	
Metal Matrix Composites (MMC)			- light and strong material	
Montmorillonite nanoclays (platelet)			- high performance composites	
Polyhedral oligomeric silsesquioxanes (POSS) in polymers (bulk)			- stronger lighter materials	
Polymer with carbon nanoparticles/fillers (bulk)				- aircraft components and frames - EMI/FRI shielding
Polystyrene-polyethylene oxide (PS-PEO) nanostructured films			- Coatings	
Silicon Carbide [SiC] nanofibers			- Metal reinforcer	
Stainless Steel - Bulk material with nano-grains			- automotive/aeronautics body parts	
Titanium (Ti) - Bulk material with nano-grains	- aeronautic/automotive structure elements			
Titanium [Ti] nanoparticles		- Aerospace application		
Titanium-Aluminium (Ti-Al) alloys - Bulk materials with nano-grains			- automotive/aeronautic body parts	

SWOT Energy sector – Energy conversion



SWOT Energy sector – Energy storage



SWOT Energy sector – Energy saving

