

Moderní technologie ve studiu aplikované fyziky
(CZ.1.07/2.2.00/07.0018)

Nanotechnologie a jejich aplikace

doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Co je to "NANO"?

Předpona pochází z řeckého

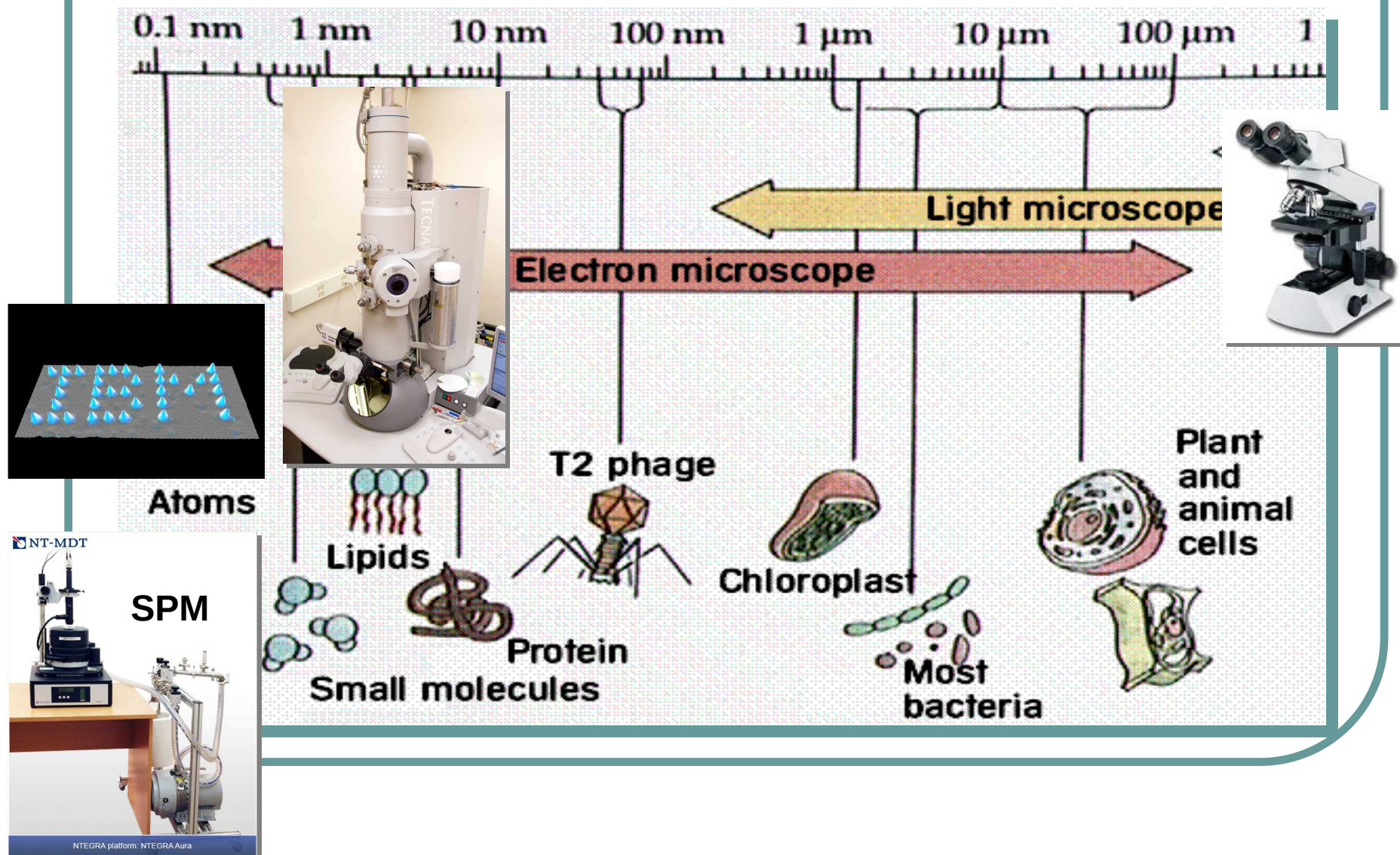
„νανος“

což znamená trpaslík

10^{-9} m

380-780 nm rozsah λ viditelného světla

Srovnání známých „malých“ útvarů



Vyjasnění pojmů

Nanostruktury

jsou 1-, 2-, 3 dimenzionálně vymezené prostorové útvary (nanorozměry), vyplněné nebo obklopené hmotou, které mají unikátní vlastnosti, takové které se u makroskopické látky nevyskytují.

Nanotechnologie

jsou způsoby přípravy a konstrukce těchto útvarů a manipulace s nimi, vedoucí k vytváření nanomateriálů cílených vlastností pro praktické aplikace.

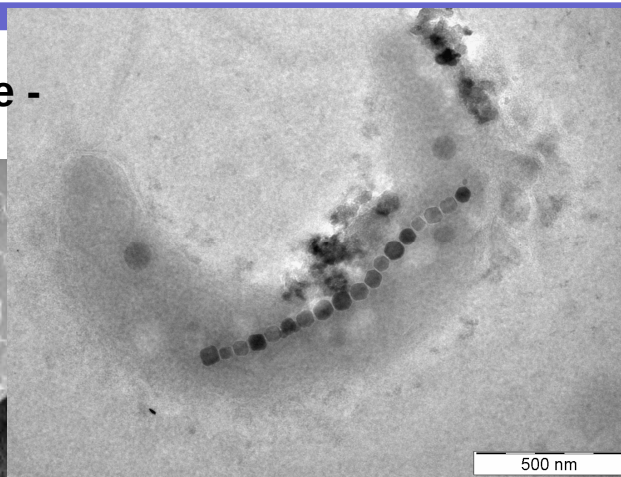
Nanomateriály

jsou výsledkem cílené manipulace s nanostrukturami

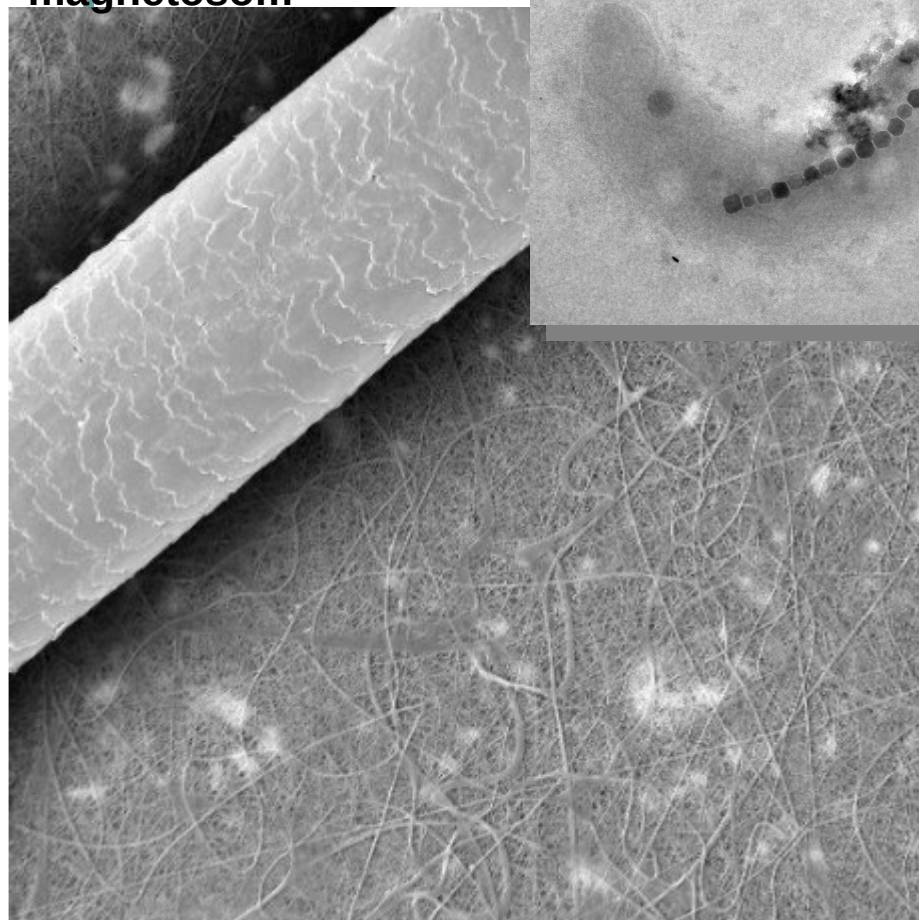
Nanotechnologie – záležitost lidí i přírody



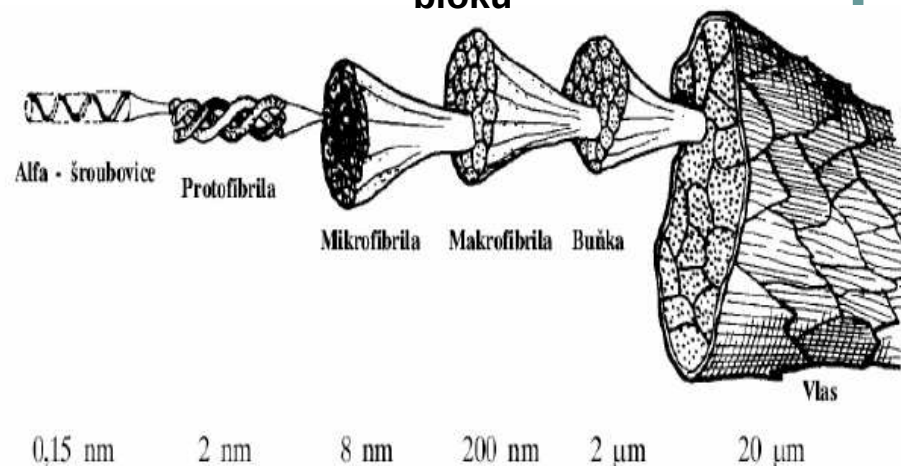
Magnetotaktická bakterie - magnetosom



Ušň mořská - pevná skořápka, vzniklá uspořádáním CaO (křída) do nanostrukturních bloků



Lidský vlas na nanovláknu



Nanotechnologie – záležitost lidí i přírody

Lykurgovy poháry (4 stol. n.l.)

je – li zdroj umístěn dovnitř poháru, jeví se červený, zatímco při osvětlení z vnějšku má barvu zelenou.



jako dnešní skla obsahují 73 % oxid křemičitý, 14 % oxidu sodného a 7 % oxidu vápenatého. Navíc však v sobě mají i malé množství zlata a stříbra ve formě nanokrystalů o rozměrech cca 70 nm, které způsobují onu zvláštní barevnost.

Co jsou nanotechnologie ?

Nanotechnologie

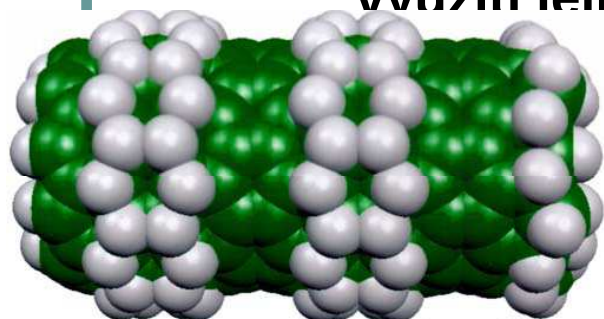
je interdisciplinární vědecká oblast, která se zabývá stavbou a inženýrstvím molekulárních objektů hmoty (nanomateriálů) pro využití jejich unikátních vlastností ve výzkumu a praxi.

V současné době hovoříme o **nanotechnologické revoluci**

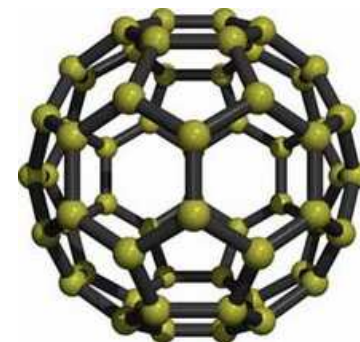
Nanočásticea nanostruktury

mají společný fenomén:

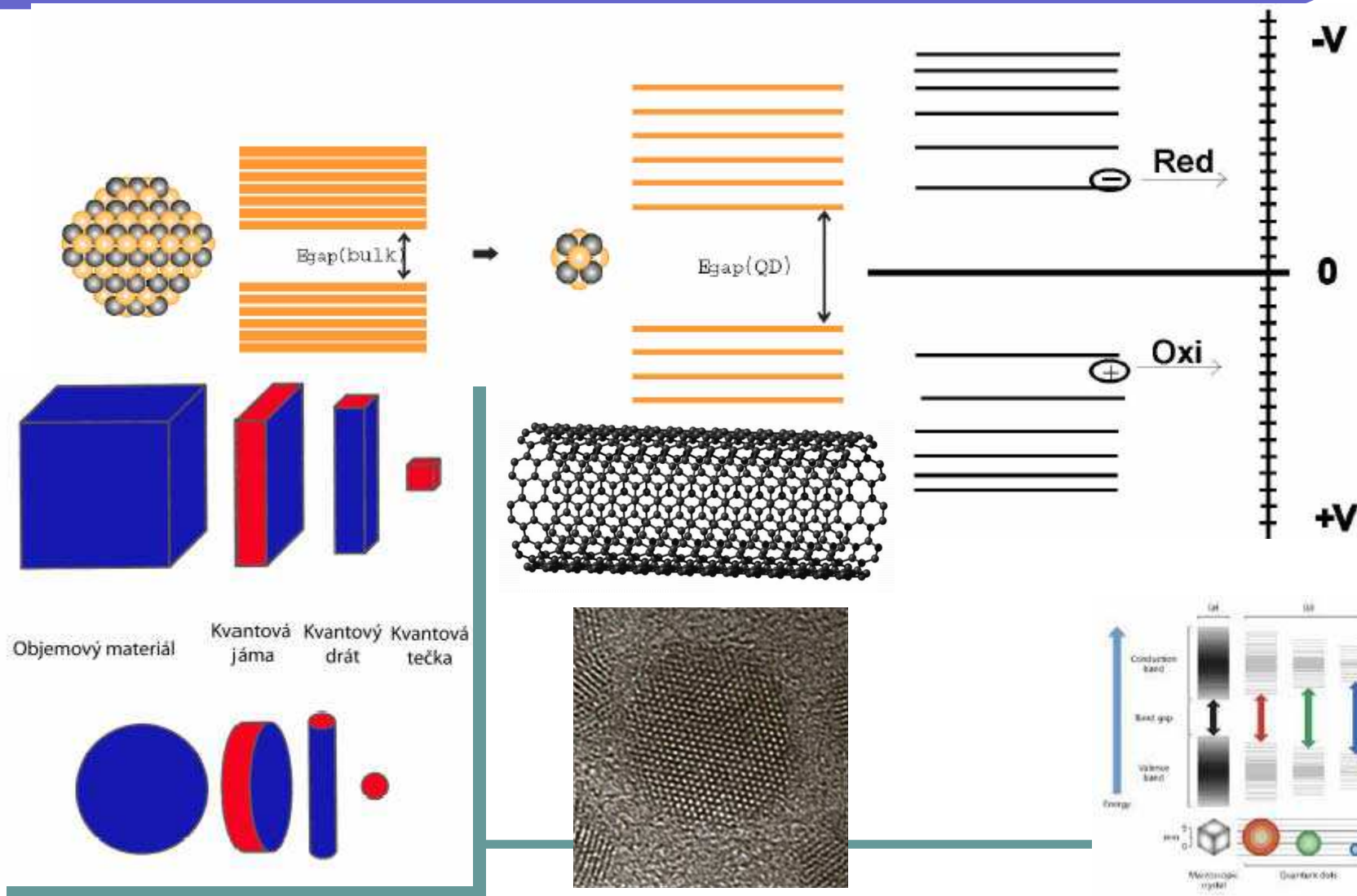
jejich fyzikální a chemické vlastnosti jsou rozdílné od makrolátky a navíc jsou takové, které se v makrosvětě nevyskytují. Unikátní vlastnosti vyplývají z jejich fyzikální podstaty, která je dána jejich rozměrovým vymezením, tj. prostorem, ve kterém vznikají



Charles Bauschlicher



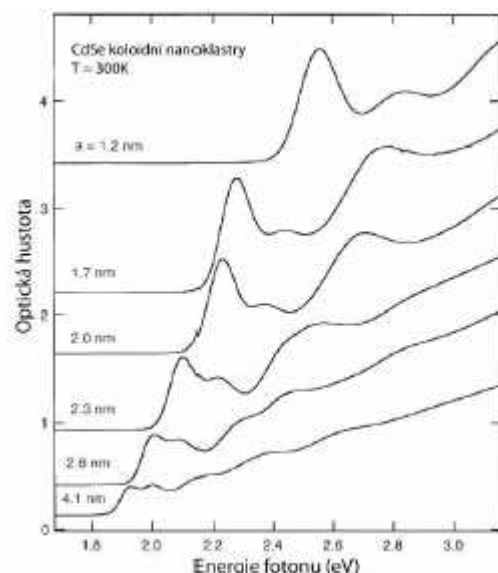
Fyzikální podstata vlastností nanostruktur



Projevy vlastností nanostruktur

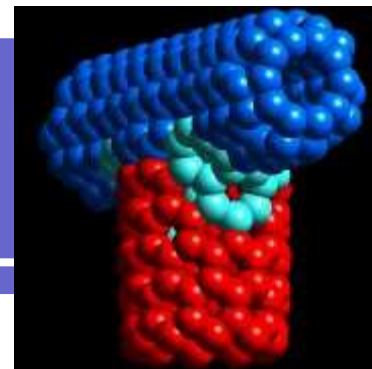
Závislost změny vlnové délky emitovaného světla na velikosti nanočástic (nanokrystalů)

Částice rozptýlené v roztoku jsou excitovány ultrafialovým světlem - čím je rozměr nanokrystalů CdSe menší, tím více se fluorescence posouvá do modré části spektra.



Fluorescence nanočástic CdSe - vlevo je rozměr částic 2 nm a vpravo 6 nm.

Výsledky nanotechnologií



- **Elektronika** – záznamová media, displeje z OLED, elektromagnetické stínění
- **Chemie** - katalyzátory, nesmáčivé a samočistící povrchy
- **Medicína** - kontrastní látky, transport léčiv, hypertermie, antibakteriální účinky
- **Nové materiály** - keramika, plasty, plniva, barvy, polymerní a transportní kompozity
- **Doprava** – supertvrdé laky, palivo pro airbagy, aditiva do paliv
- **Životní prostředí** – čištění odpadních, povrchových i podzemních vod
- **Stavebnictví** – nové izolační materiály, samočistící fasádní nátěry
- **Energetika** - přeměna světelného záření v elektrický proud, palivové články
- **Senzorika** – tlakové a teplotní senzory ve stavebních materiálech

Nanotechnologie v elektronice a výpočetní technice

- **Procesory** s nižší energetickou spotřebou a nižší cenou na jedno hradlo, dosažení až milionkrát vyšší efektivity počítačů
- **Paměťová média** s ultra vysokou hustotou zápisu
- **Integrované nanosenzory**: snímání, zpracování a přenos vysokého množství dat, minimální rozměry, váha, potřeba energie
- **Vyšší přenosové frekvence** a efektivnější využití optického spektra při přenosu, zvětšení přenosového pásma desetkrát
- **Nové technologie** využívané v displejích
- **Kvantové počítače**, kvantová kryptografie

Nanotechnologie v elektronice a výpočetní technice

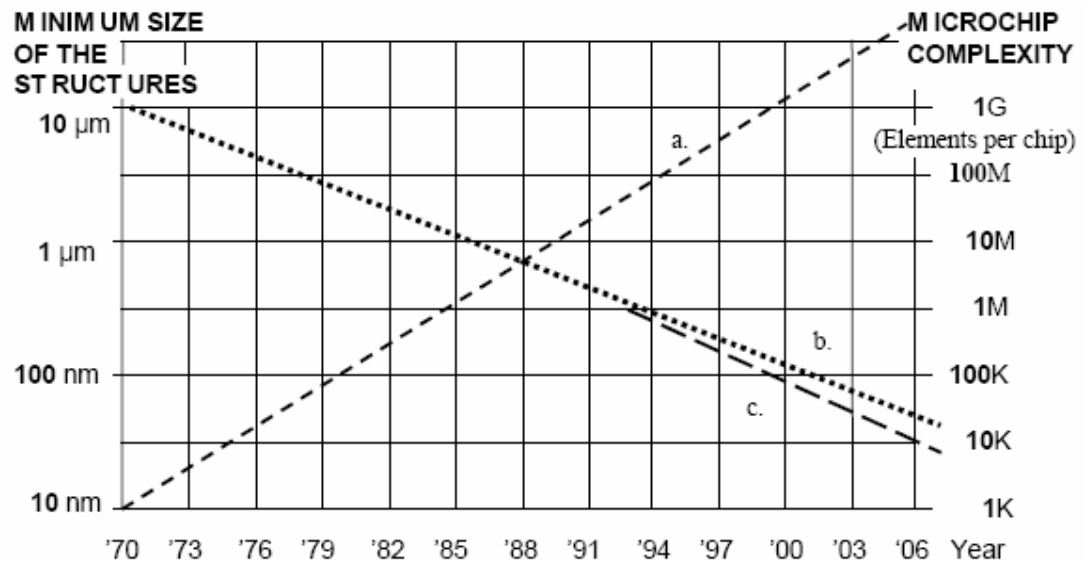
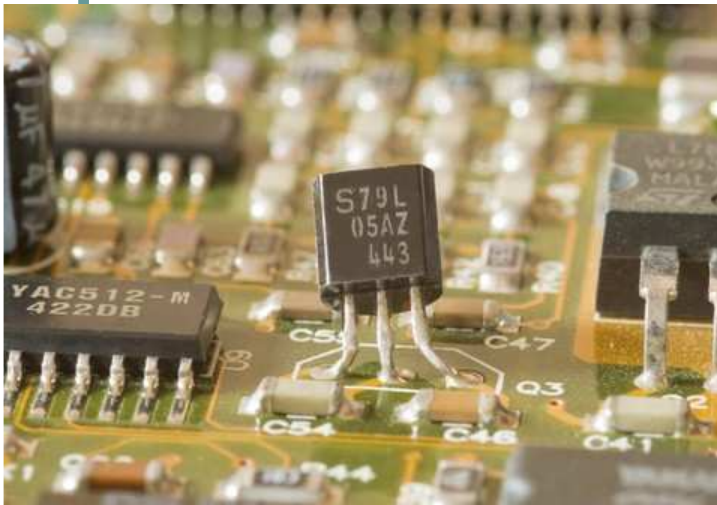


Fig.3. Základní charakteristiky vývoje technologie integrovaných obvodů a mikrosystémů:
a) složitost integrovaných obvodů, b) velikost struktury na masce, c) délka kanálu

Moorův zákon

Limity integrace fyzikální, materiálové, chemické, obvodové, systémové, praktické a limity struktur.

Limity struktur (určují minimální rozměry struktur)

Limit délky spojů – určuje hranici pracovní rychlosti obvodu.

Limit délky hradla tranzistoru (pro polem řízený tranzistor na křemíku, s rovnoměrnou koncentrací příměsí v kanále a napájecím napětím 1 V, je minimální délka hradla 100 nm).

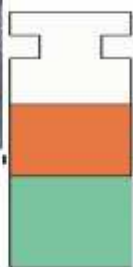
Nanotechnologie v elektronice a výpočetní technice

Možné řešení křemíková nanotechnologie??

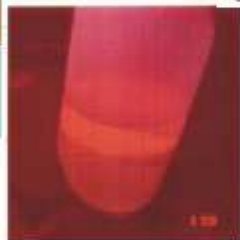
Náhrada elektrických spojů optickými spoji koherentního světla
Implementovat do struktury IO laser



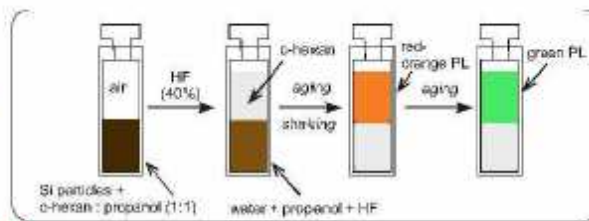
~ 10 nm
výchozí
velikost



Chemické
leptání

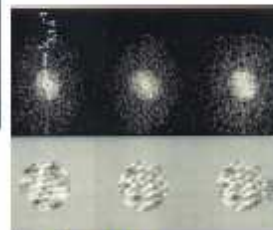


Fotoluminiscence nanočástic Si
v roztoku cyklohexanu

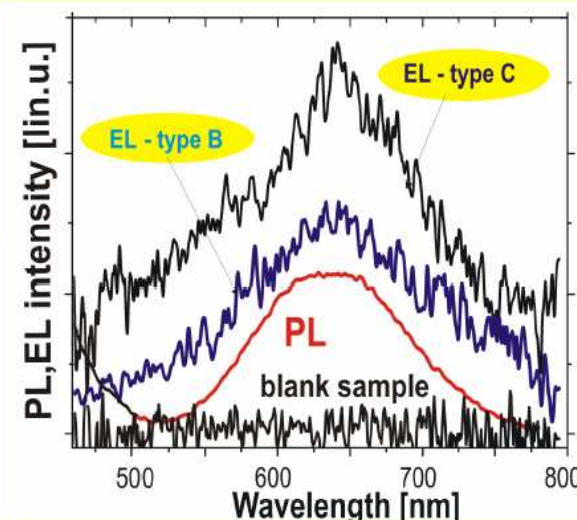


~3 nm

Velikosti
nanočástic



~1 nm

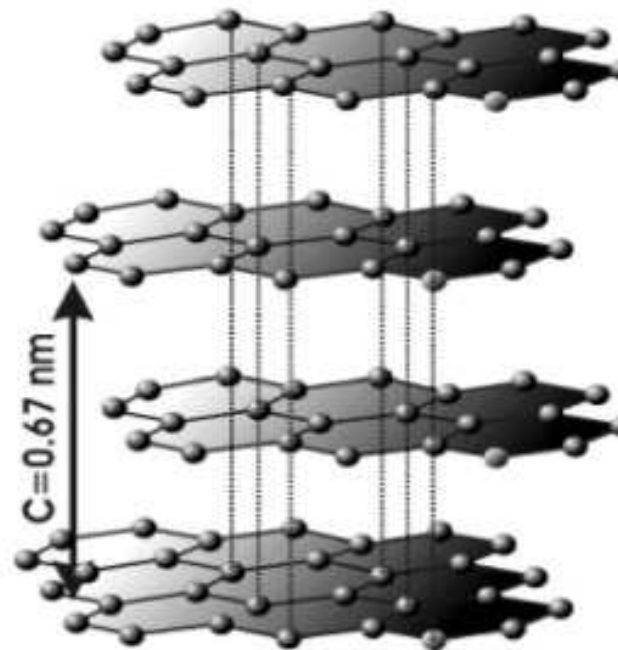


Uhlíkové struktury - grafit

- Elektricky vodivý polokov
- použití např. na výrobu elektrod pro výrobu Al, do obloukových lamp, řízení reakcí v jaderných reaktorech

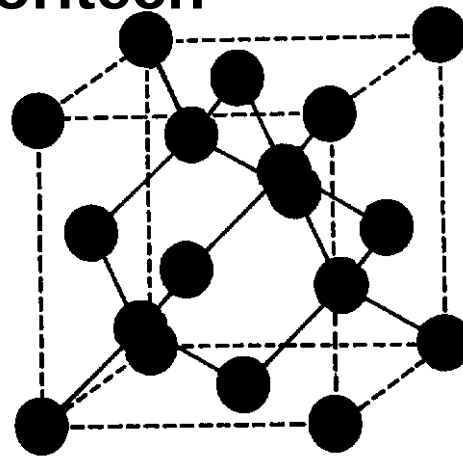


Krystalický grafit

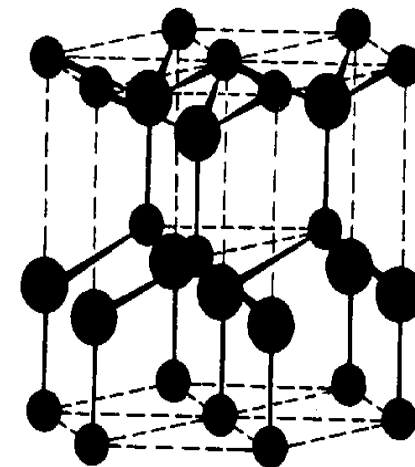


Uhlíkové struktury - diamant

- nejtvrdší známý přírodní minerál
- Diamant se skládá ze sítě uhlíkových atomů se čtyřmi kovalentními vazbami mezi uhlíky.
- Existují dva druhy diamantu: kubický, který je častější a hexagonální, který se nachází velmi zřídka a byl objeven v meteoritech

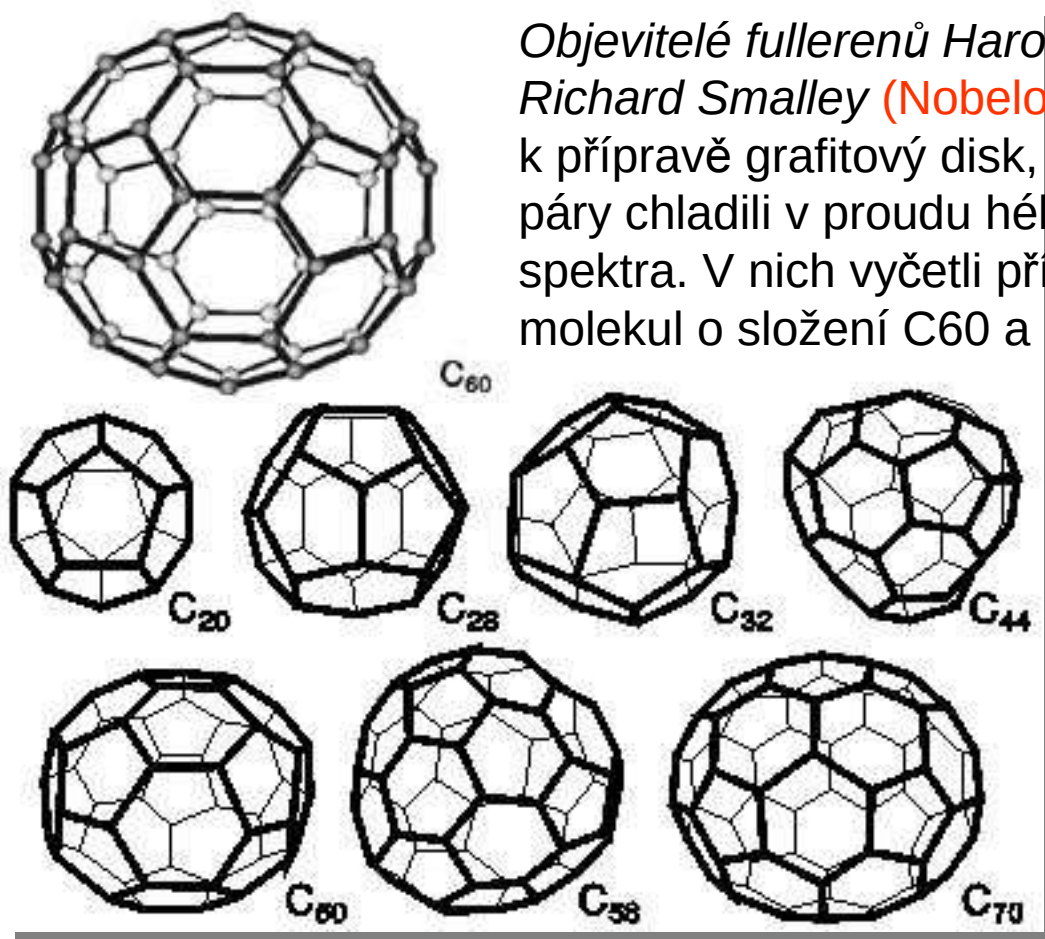


kubický diamant



hexagonální diamant

Uhlíkové nanostruktury - fullereny



Objevitelé fullerenů Harold Kroto, Robert Curl a Richard Smalley (Nobelova cena 1996) použili k přípravě grafitový disk, který odpařovali laserem, páry chladili v proudu hélia, a pak měřili jejich spektra. V nich vyčetli přítomnost stabilních velkých molekul o složení C₆₀ a C₇₀.

UHLÍKOVÉ NANOTRUBIČKY

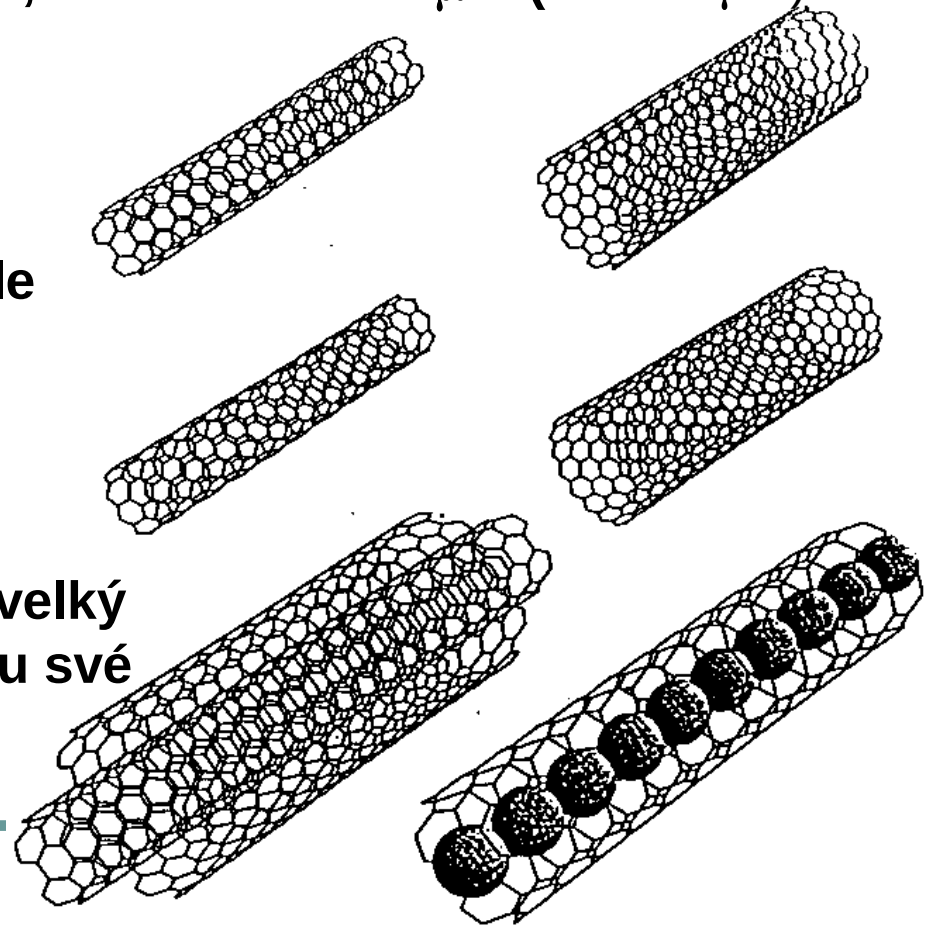
Vlastnosti a využití

Nanotrubky jsou v současné době nejpevnějším materiálem

Průměr CNT je od 1 nm do 50 nm, délka řádově v μm (až 300 μm)

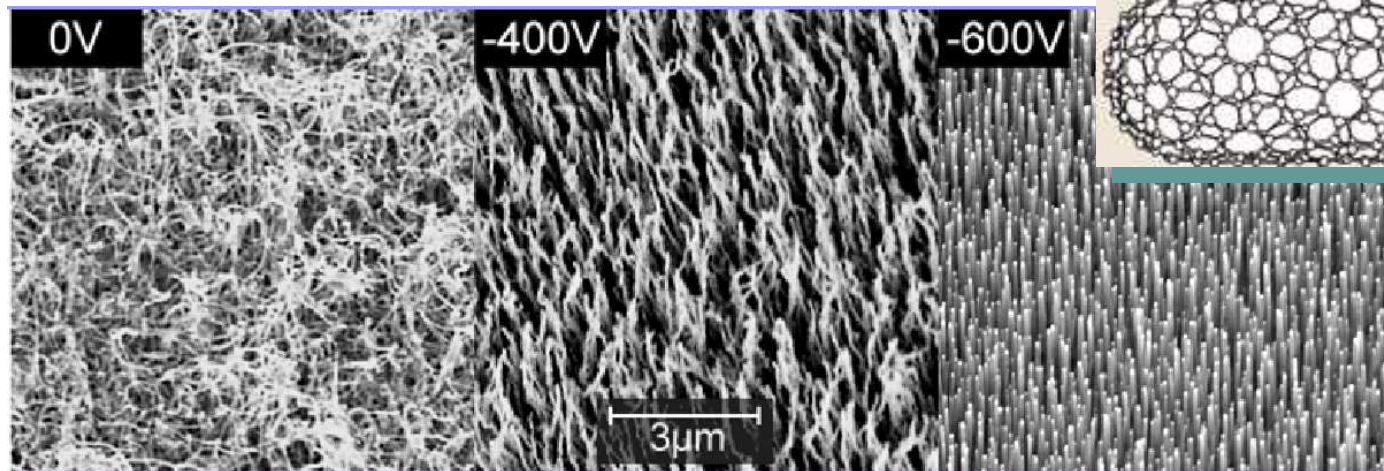
Elektrické vlastnosti se liší podle uspořádání atomů C v trubce (podle molekulární struktury je ovlivněna orientace vazeb).

Mechanické vlastnosti – CNT mají velký Youngův modul pružnosti ve směru své osy (až 0,9 TPa)



Uhlíkové nanostruktury - nanotrubičky

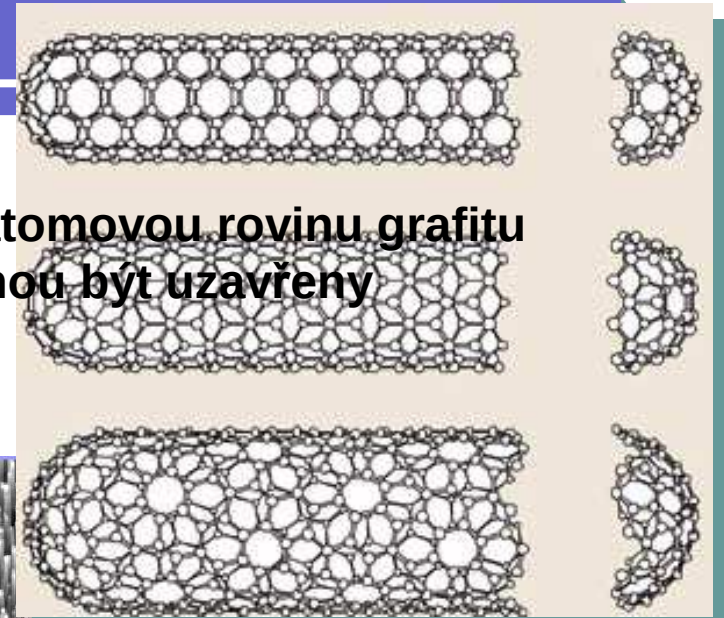
- Uhlíkové nanotrubičky (CNT) lze chápat jako atomovou rovinu grafitu (grafen) sbalenou do ruličky. Konce trubky mohou být uzavřeny polovinou fullerenu



$E = 0 \text{ V}/\mu\text{m}$

$E = 0.1 \text{ V}/\mu\text{m}$

$E = 0.35 \text{ V}/\mu\text{m}$



UHLÍKOVÉ NANOTRUBIČKY

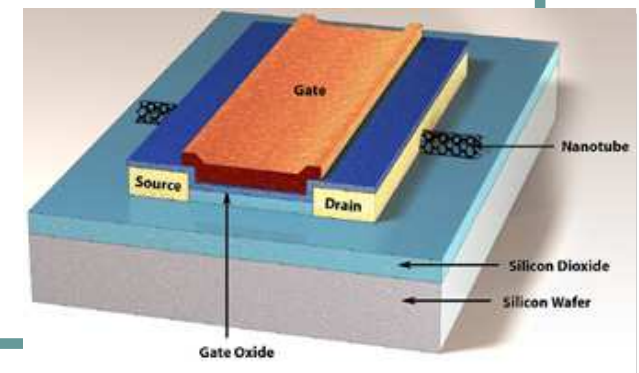
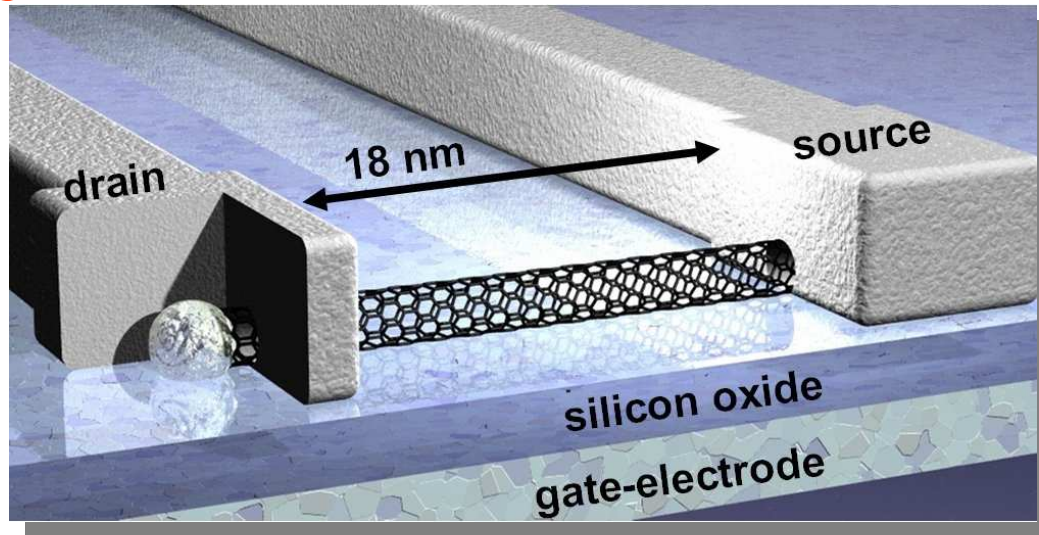
Vlastnosti a využití

Využití v elektronice

- vodiče
- PN přechody
- tranzistory
- paměťové prvky

Další aplikace

- pevná vlákna při vysokém poměru pevnosti ke hmotnosti
- přepínače v optických počítačích
- účinné tepelné vodiče ve výpočetní technice
- výztuže v kompozitních materiálech
- superpevné fólie v ohebných displejích

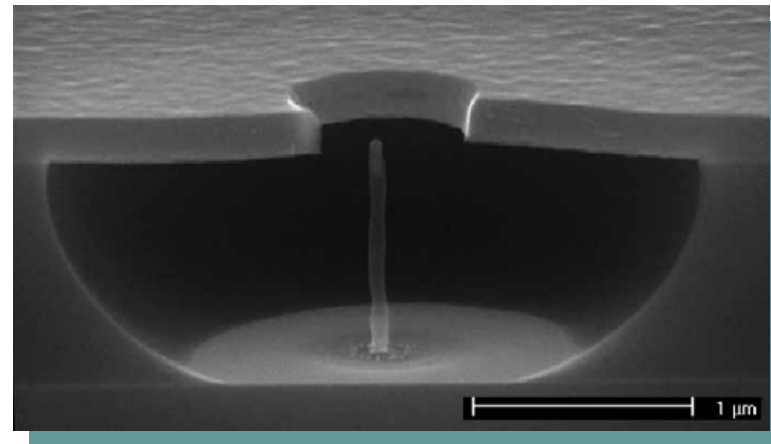
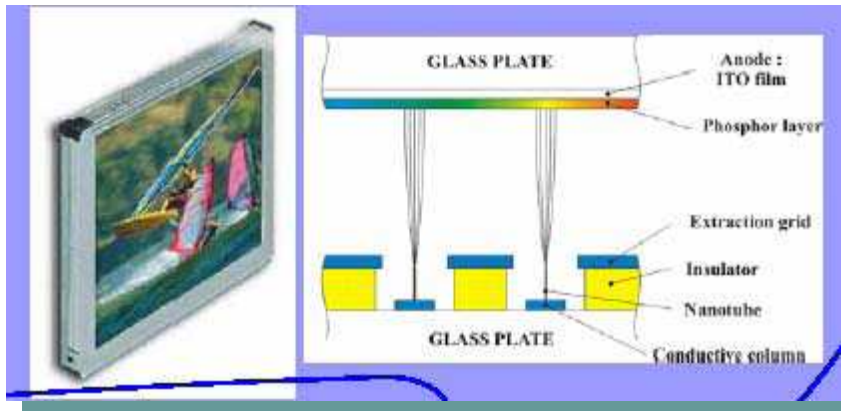


UHLÍKOVÉ NANOTRUBÍČKY

Vlastnosti a využití

Emitory elektronů SEM,

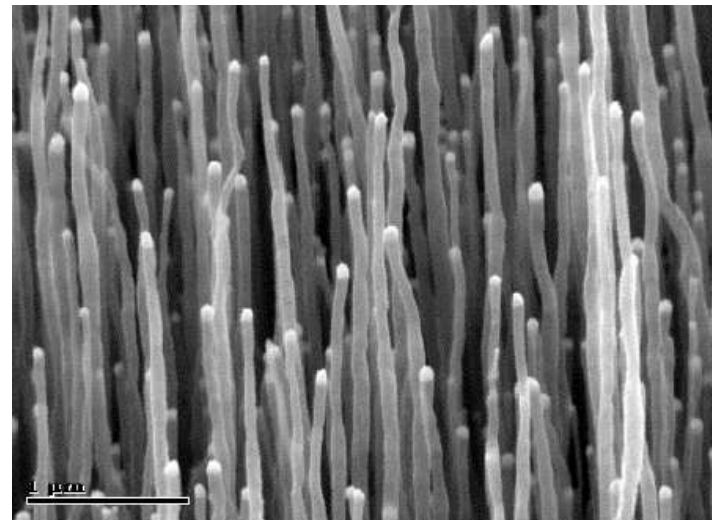
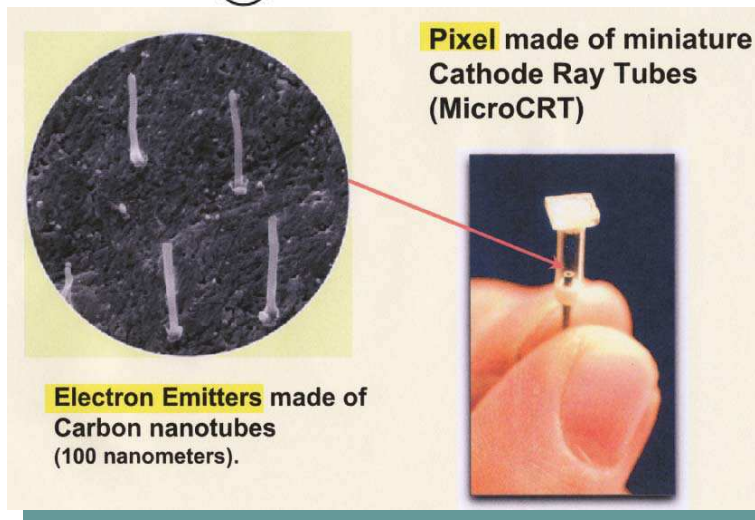
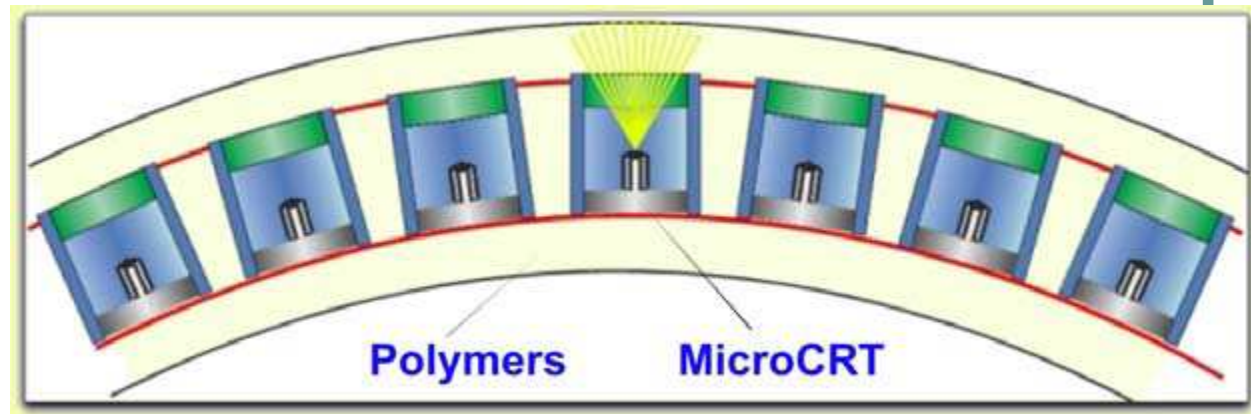
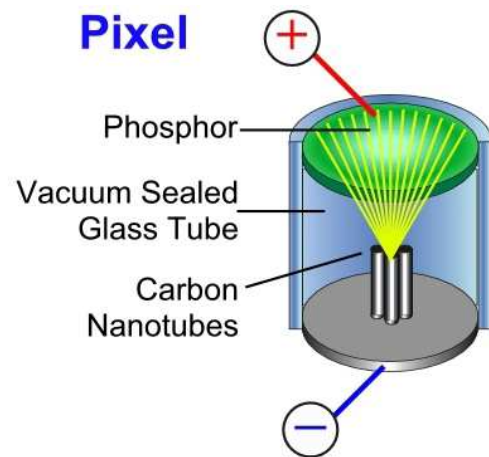
Obrazovky



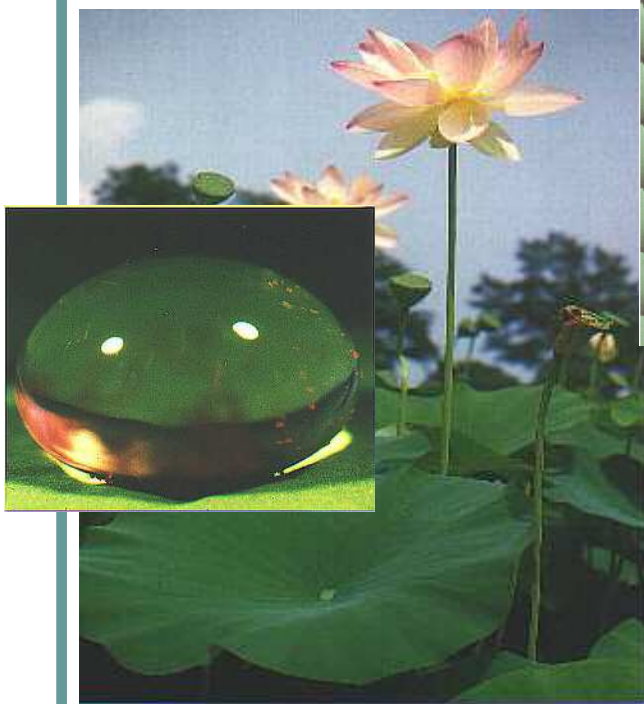
Hydrofobní povrchy



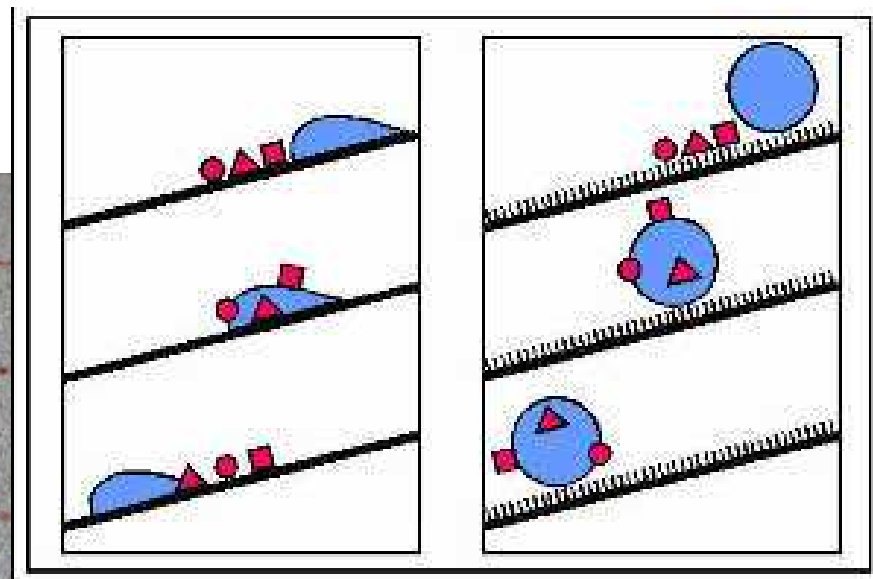
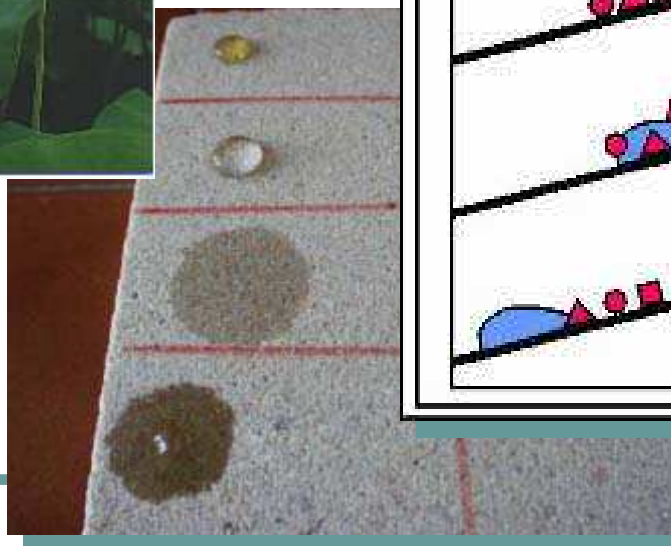
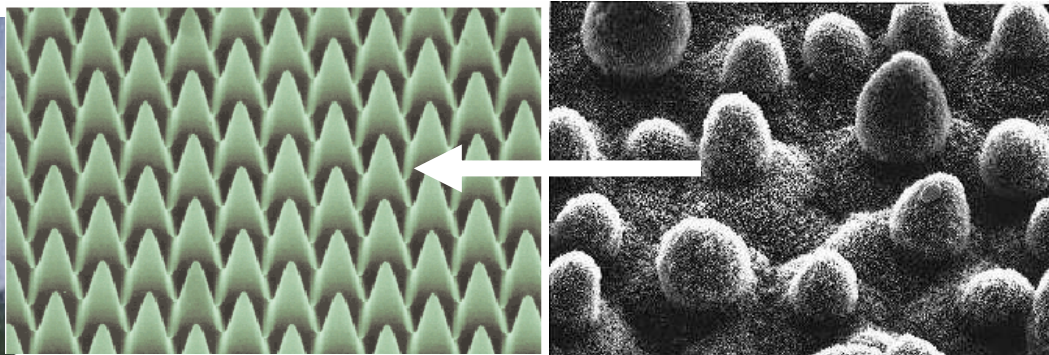
Pružné velkoplošné obrazovky



Samočistící povrchy



Lotosový
efekt

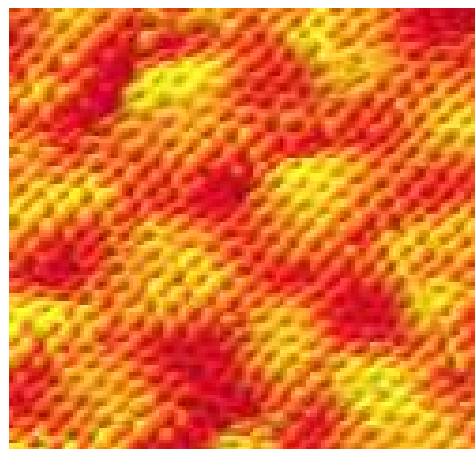
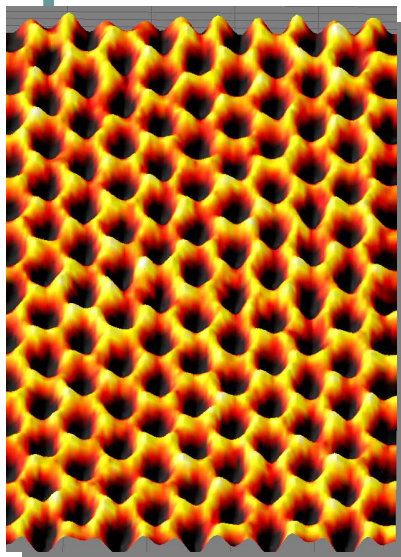
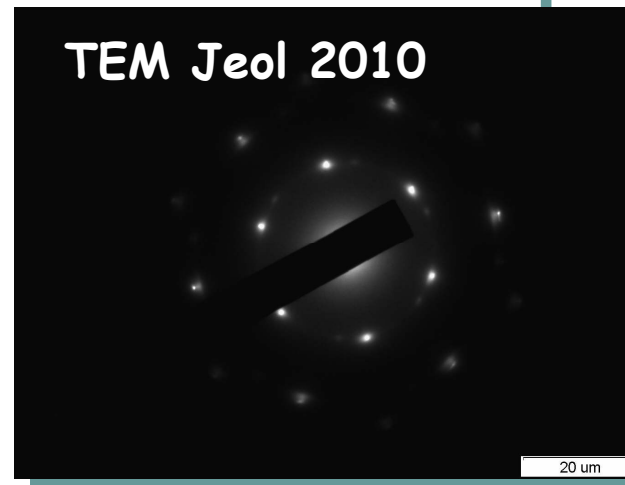
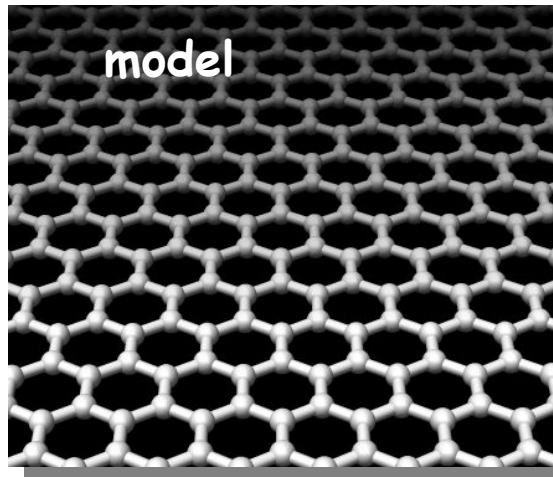


Uhlíkové nanostruktury – GRAFEN

Nobelova cena za fyziku 2010

Vazba mezi atomy uhlíku cca 0,142 nm. Atomová struktura izolovaného jednovrstvého grafenu byla studována v TEM.

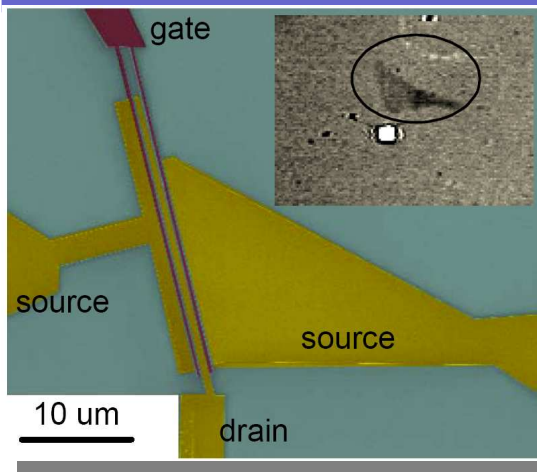
Elektronová difrakce prokázala hexagonální symetrii grafenového listu



Izolovaný grafen vykazuje rovněž zvlnění s amplitudou přibližně 1 nm (nestabilita 2D krystalů, vnější artefakty v TEM).

Atomární rozlišení je zřejmé v STM. Zvlnění je způsobené podkladovým materiálem SiC

Potenciální aplikace grafenu



**Vysoká pohyblivost nosičů v grafenu - důležitá pro IO.
Použití jako nízkošumový “kanál” ve FET.
V prosinci 2008 byl zkonstruován a charakterizován
tranzistor pracující při GHz frekvencích.**

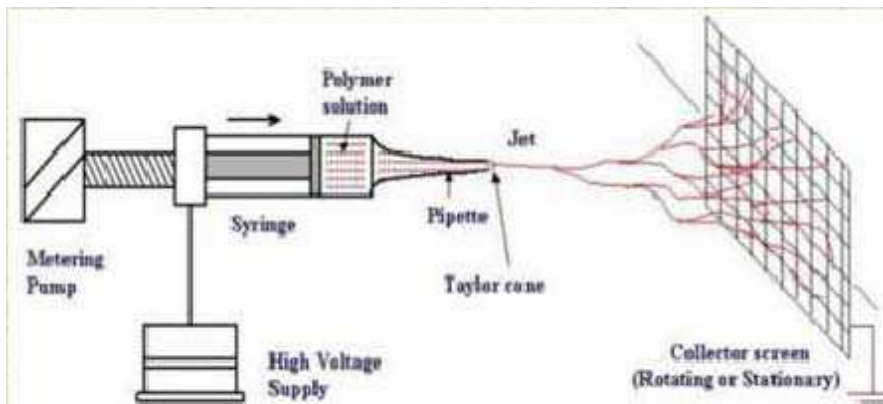
**Díky těmto vlastnostem může být grafen použit jako
dotykový displej, pružný LCD displej, nebo OLED**



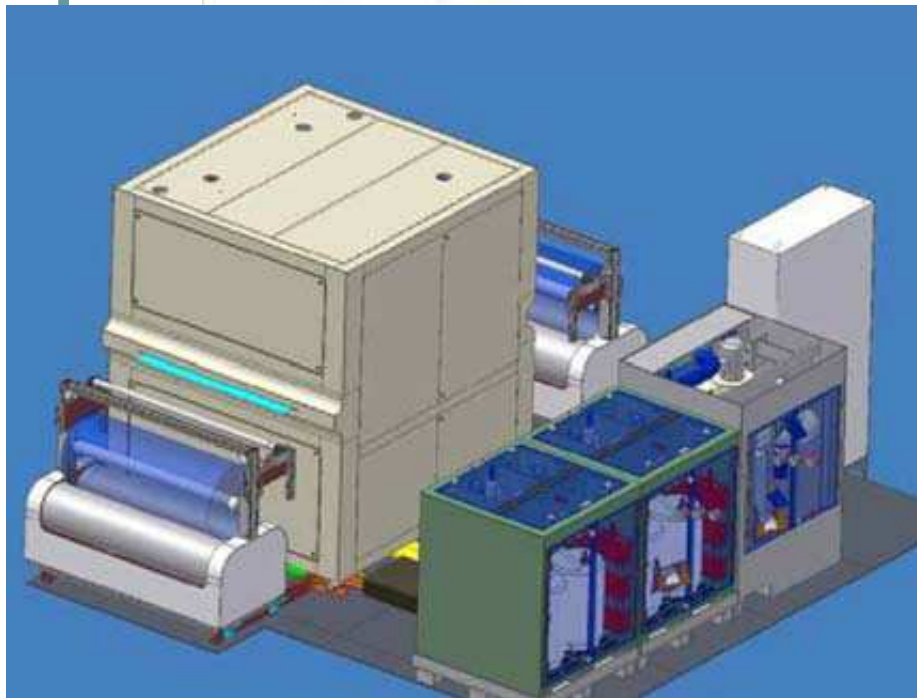
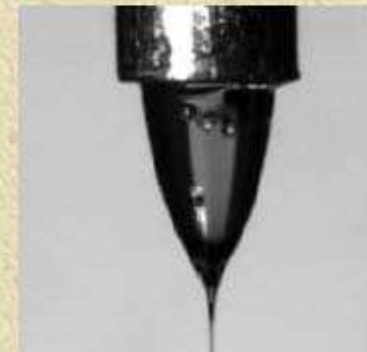
**Díky značné hodnotě specifického povrchu je grafen
ideální pro konstrukci kondenzátorů s vysokou
kapacitou překračující výrazně běžné hodnoty**

**V podobě grafenového funkcionalizovaného listu může
být grafen účinný pro mikrobiální detekci a diagnózu.**

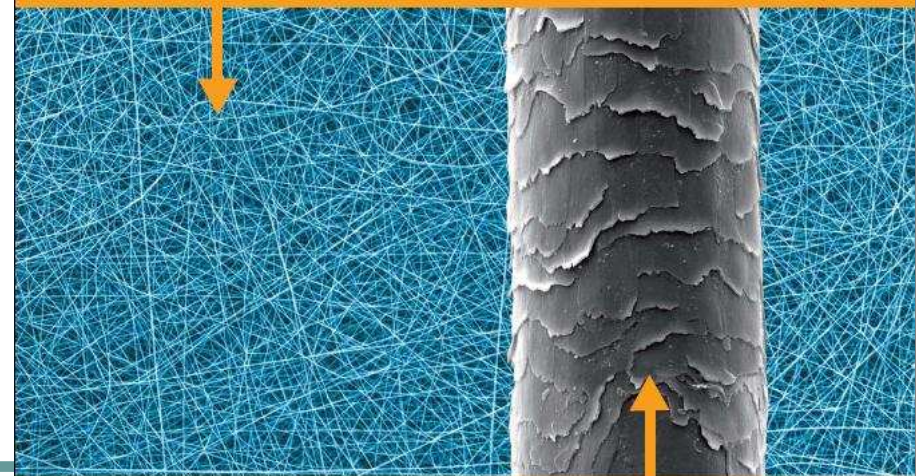
Nanovláčna - Nanospider®



0.1 - 1gramms per hour



nanofibers

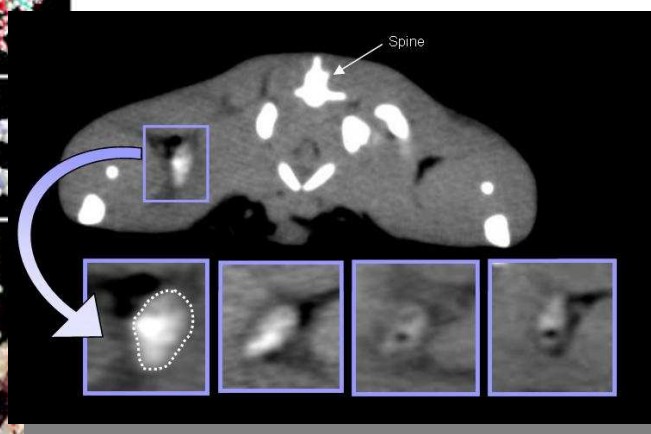
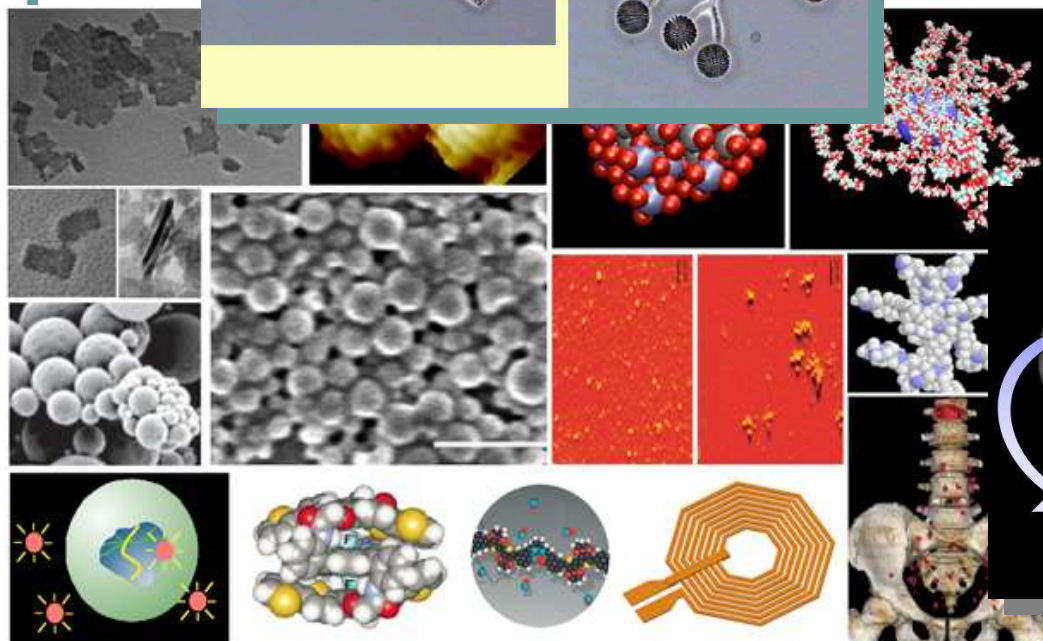
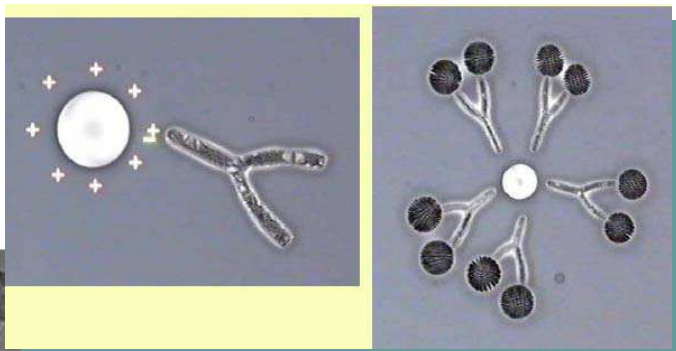
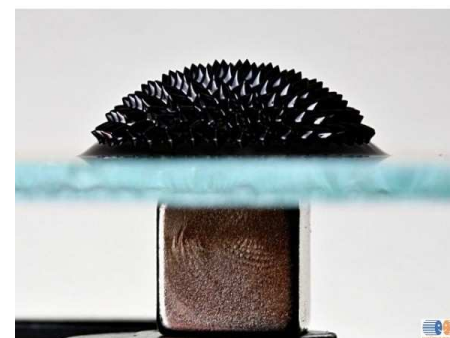


[1000 x ZOOM]

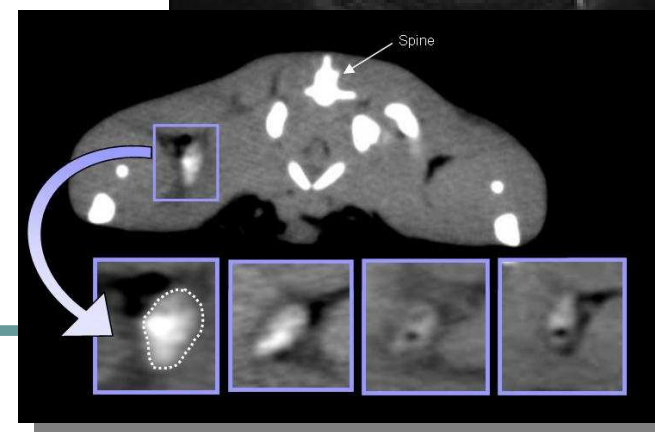
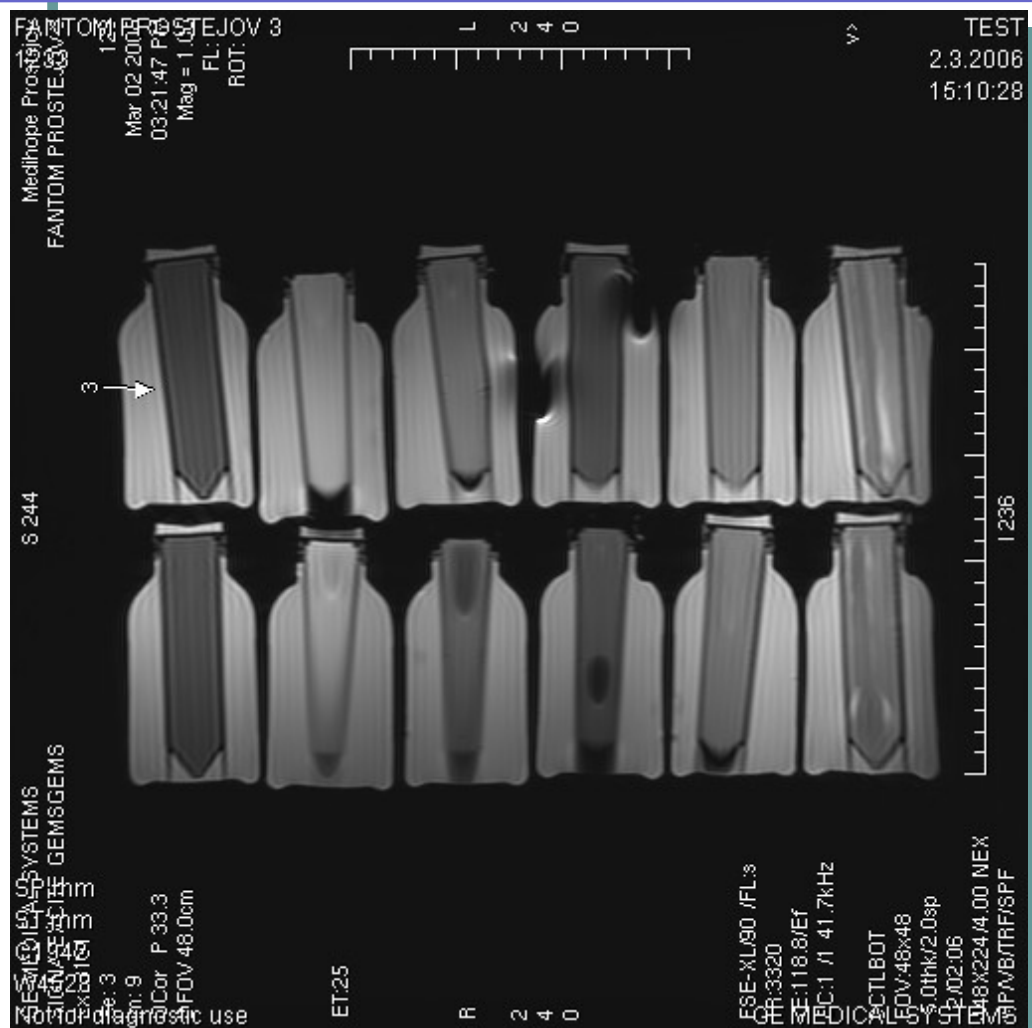
hair

Medicínské aplikace nanotechnologií

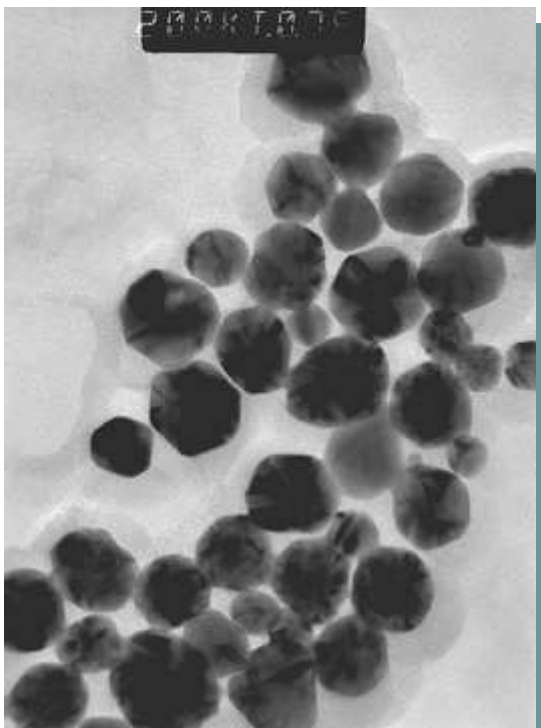
- Kontrastní látky pro zobrazování metodou MRI,
- Biomagnetické separace,
- Léčba nádorových onemocnění metodou hypertermie,
- Magnetické nosiče léčiv a cytotoxických látek.



Medicína – kontrastní látky



Antibakteriální úpravy



NanoTrade
s.r.o.

Částice Ag (Nanosilver®)



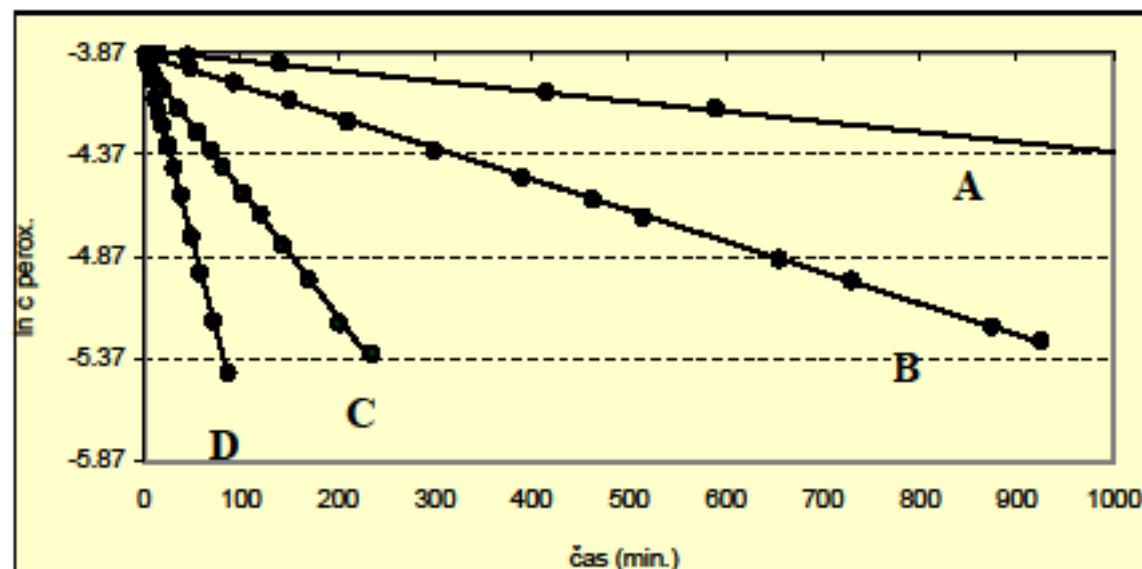
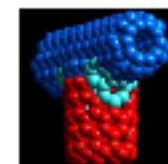
Aplikační využití:

- Ponožky
- Spodní prádlo
- Osobní hygiena
- Gely, masti
- Náplasti, roušky
- Zdravotní prostředky
- Prostředky proti pachům





Katalyzátory



Kinetické křivky rozkladu peroxidu vodíku s použitím oxidů železa jako katalyzátorů

A... α -Fe₂O₃ (30-40 nm)

B... γ -Fe₂O₃ (20-30 nm)

C... α -FeO(OH) (110 m²/g)

D... amorfní Fe₂O₃

Nanočástice amorfního Fe₂O₃
z teplotní konverze Fe₄[Fe(CN)₆]₃



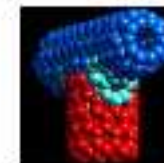
$k=1,8 \cdot 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ vs.

literární data ($k=0,9 \cdot 10^{-2} - 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ min}^{-1}$)

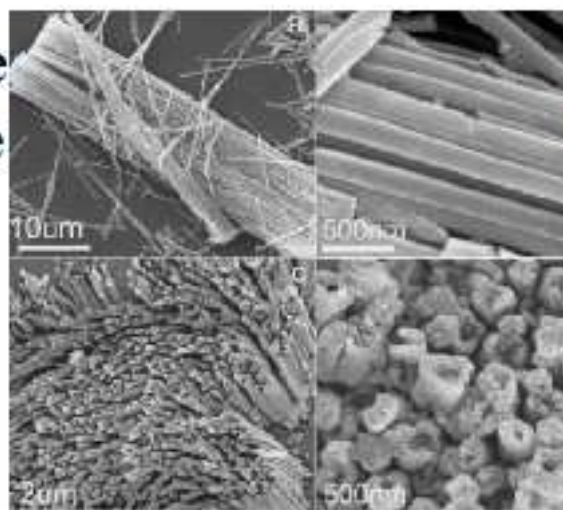
Huang *et al.*, *Wat. Res.* 35, 2291-2299, 2001



Energetika



Produkce energie
Uchování energie
Využití energie



$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Nanotubes

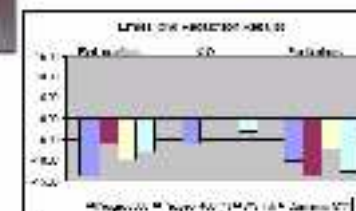
NanoTrade
s.r.o.



Aditiva PHM

Přínosy:

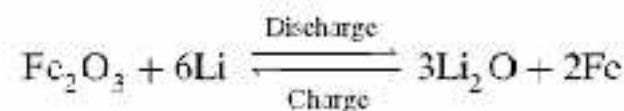
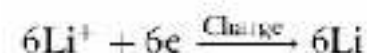
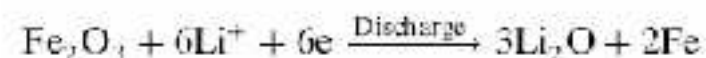
- Dekarbonizace
- Snížení emisí
- Snížení spotřeby



Uhlíkové nanotrubičky

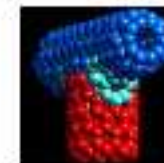


**Elektroluminiscence
nanostruktur**





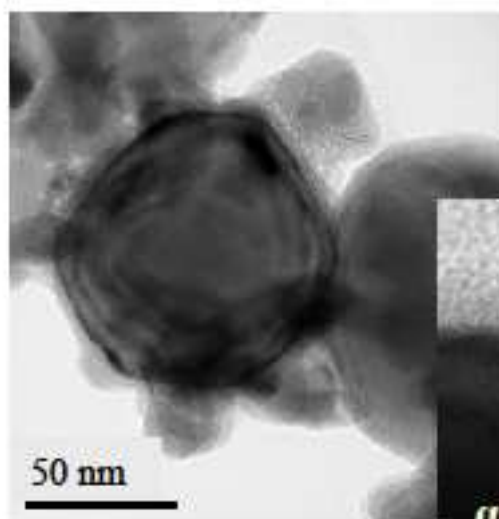
Čištění vod



**Použití nanočástic Fe:
reduktivní technologie sanace
podzemních vod**



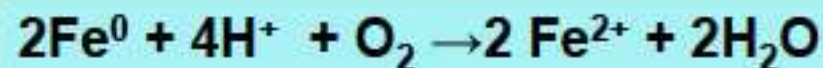
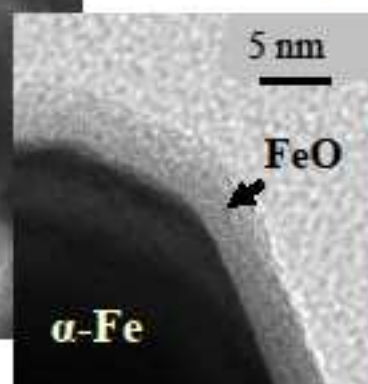
Zlaté Hory (ČR)



$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} / \alpha\text{-FeO(OH)}$

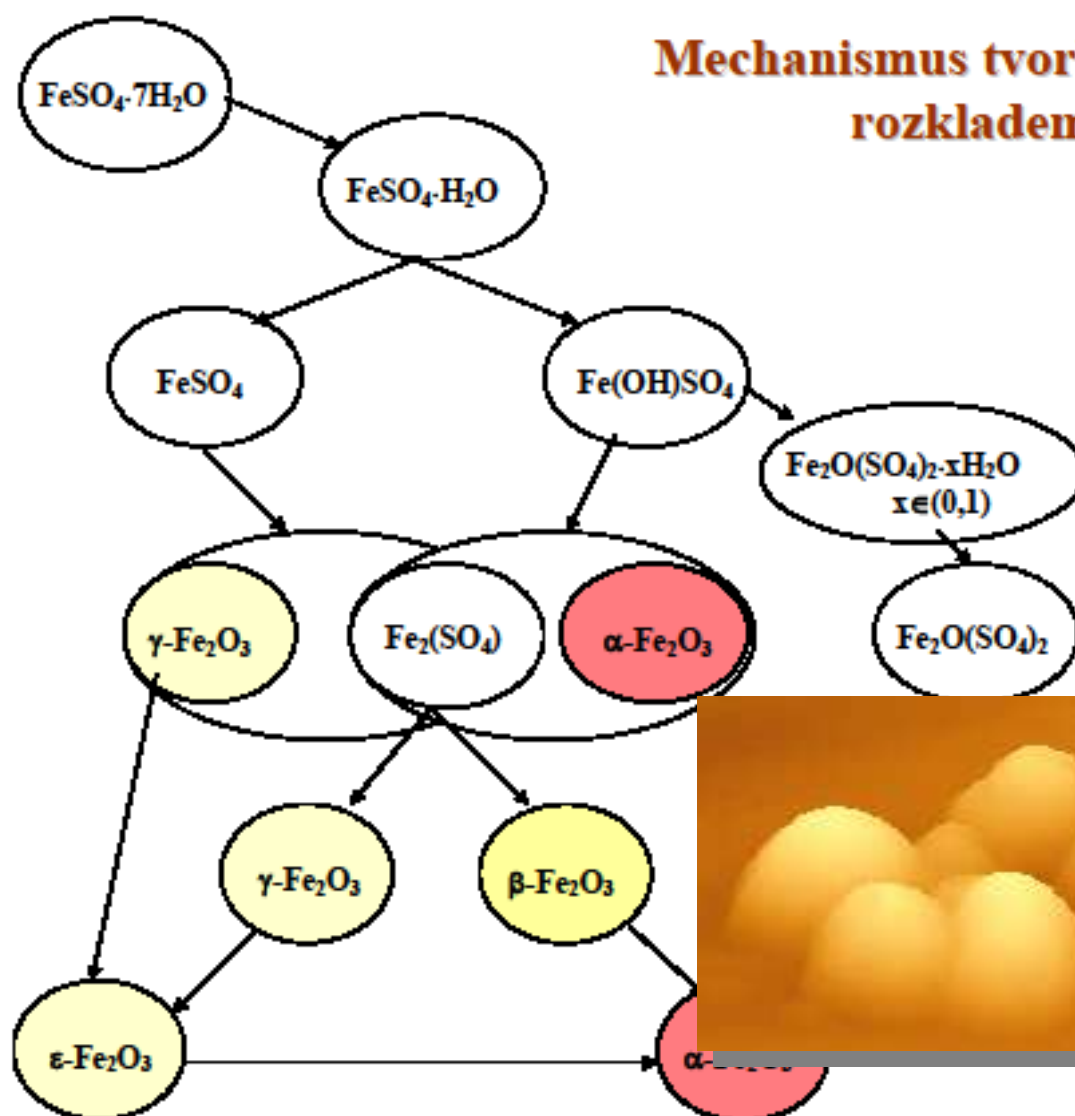
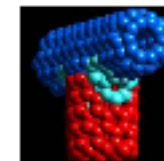
3-8 nm

geonanomateriály

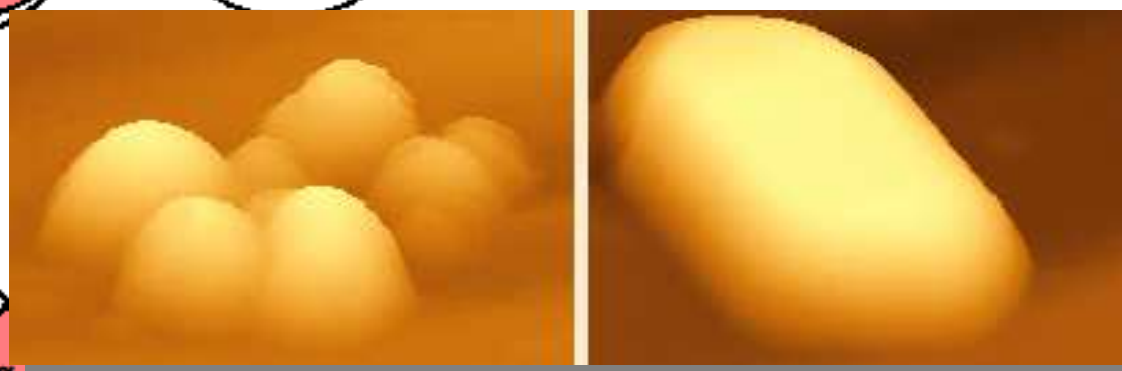




Pigmenty

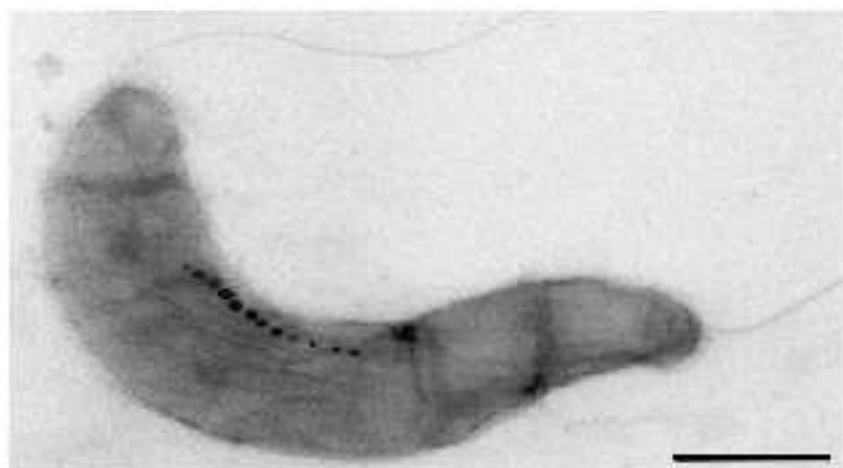
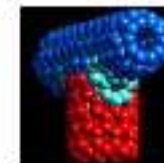


β - Fe_2O_3 - termicky stabilní nanokrystalická fáze s výrazně odlišnými barevnými vlastnostmi, její obsah závislý na rozměru částic síranového prekursoru!

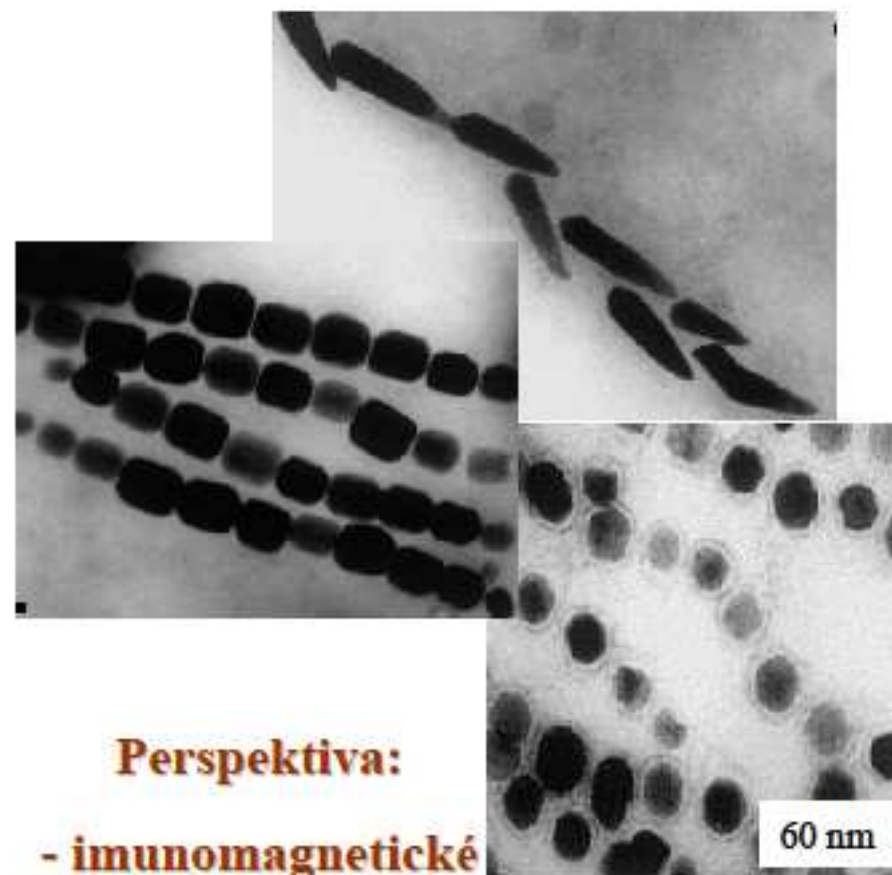
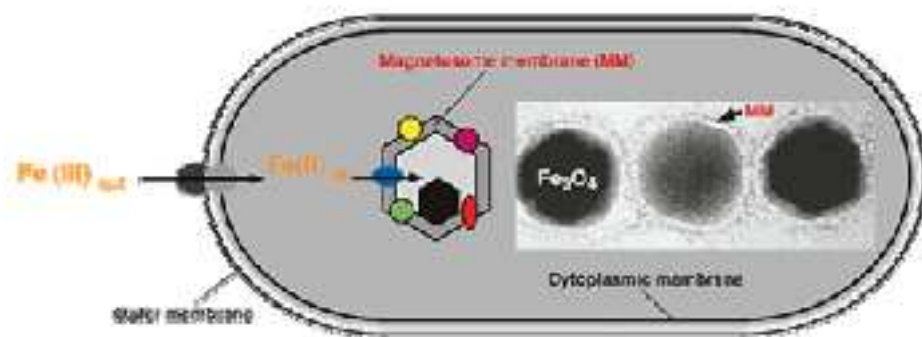




Nanomateriály v přírodě



Magnetotaktické bakterie



Perspektiva:

- imunomagnetické separace
- přenos DNA

Ekonomické aspekty nanotechnologií – vývoj světového trhu

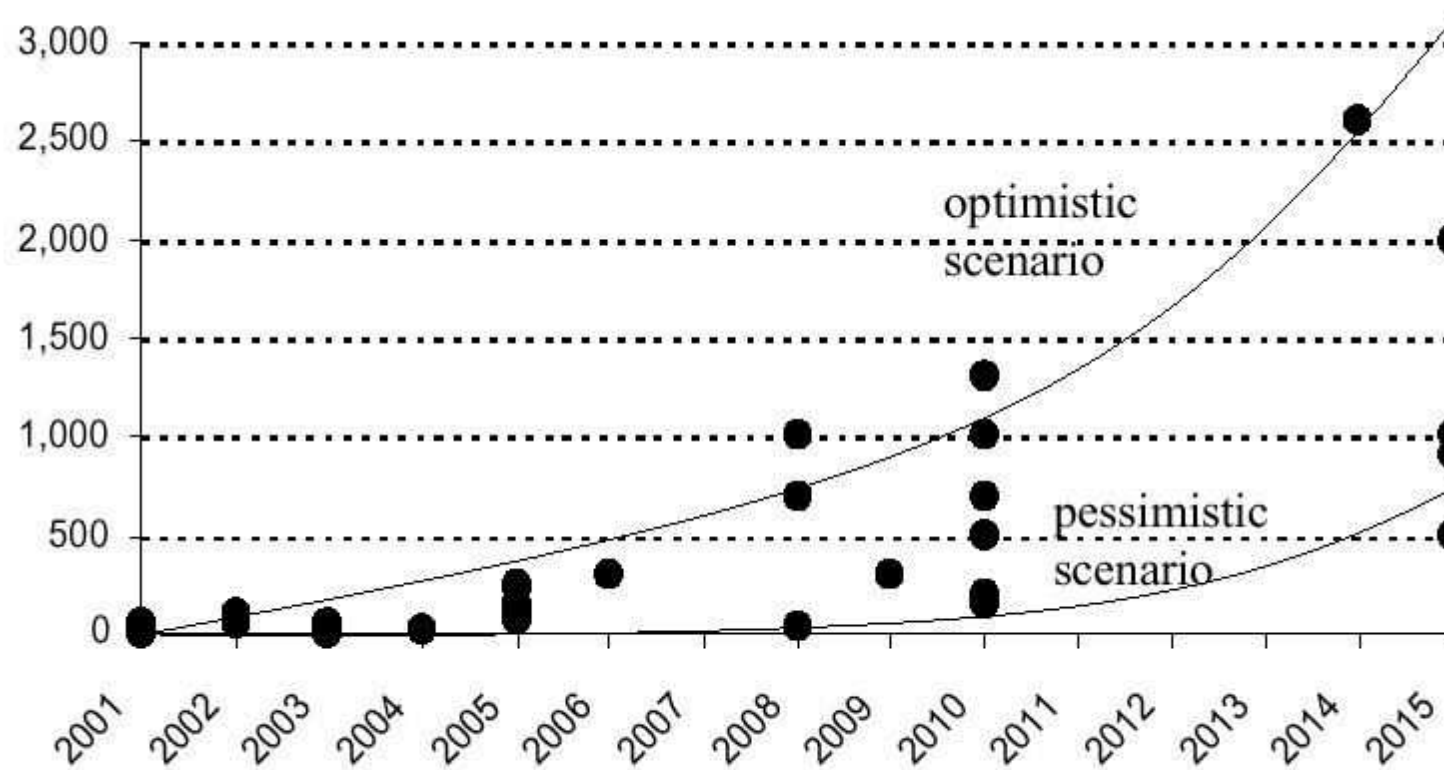
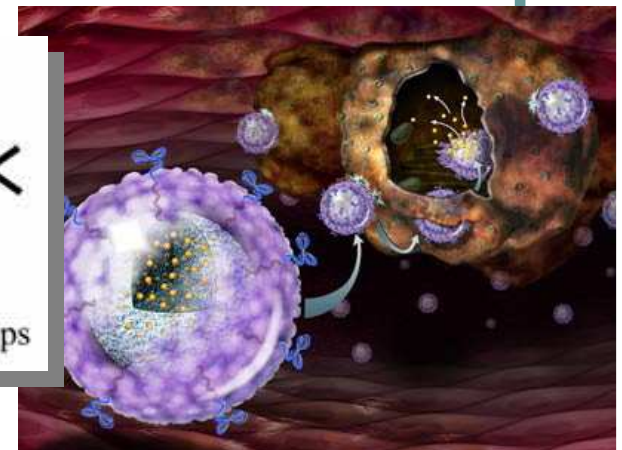
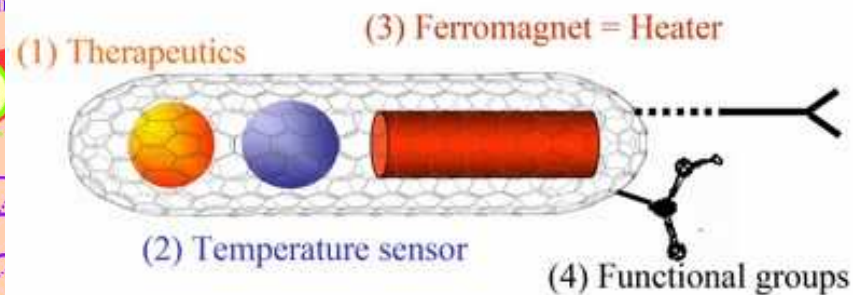
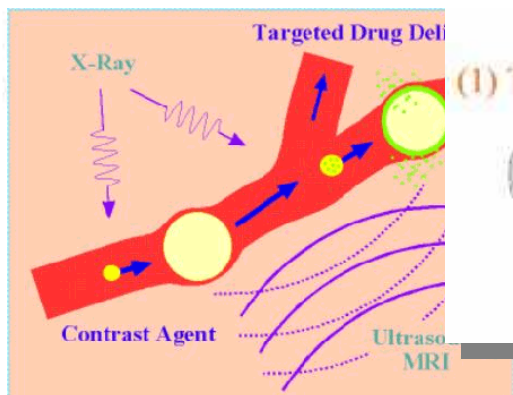
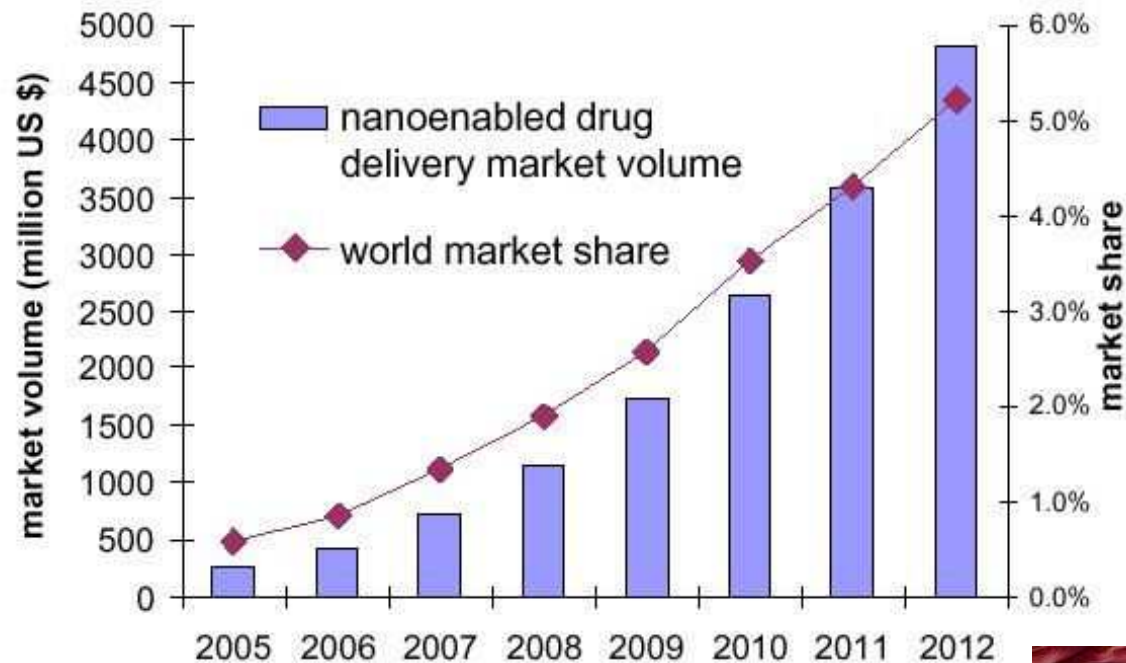
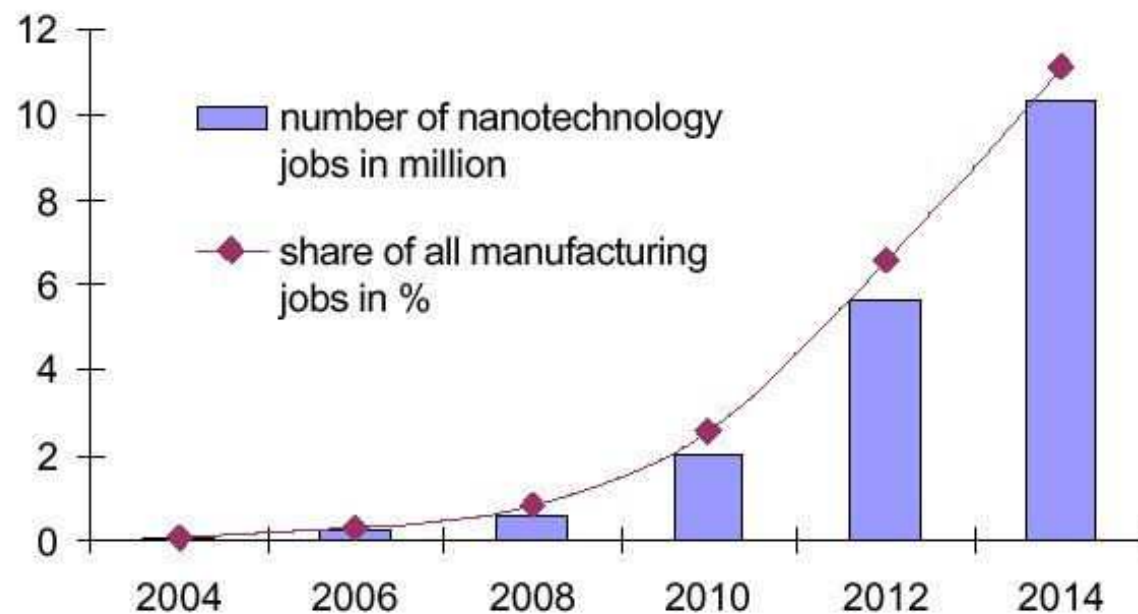


Figure 1: World market forecasts for nanotechnology in billion US Dollar. Diverse sources¹

Ekonomické aspekty nanotechnologií – objem světového trhu v nanomedicině



Ekonomické aspekty nanotechnologií – počet pracovních míst



Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů - VaVpl



Děkuji za pozornost