

Nanověda a nanotechnologie na molekulární úrovni

J. Čejka

NANOMATERIÁLY a NANOTECHNOLOGIE

"There is plenty room at the bottom"

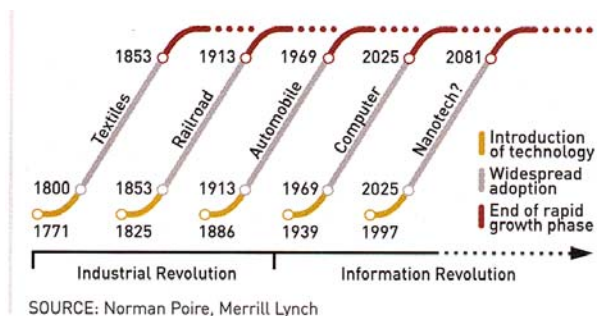
Richard Feynman (Caltech, 1962)

*"The novel features that appear at a higher level of complexity
do not and even cannot conceptually exist at the level below"*

Jean Marie Lehn

Vědecký a technologický rozvoj

Revoluční změny ve vědě a technologii nastávají asi 2 x během století - Vzniká nová kvalita života společnosti



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

Proč vůbec NANO ?

Nanomateriály co to vlastně je ?
proč jsou tak zajímavé ?

Nanomateriály a jak na ně !
Zkoumání jejich vlastností
Pozorování na atomární a molekulární úrovni
Jak je měřit a manipulovat s nimi
K čemu je lze využít ?

Co Vás čeká a co Vás nemine tento týden !!

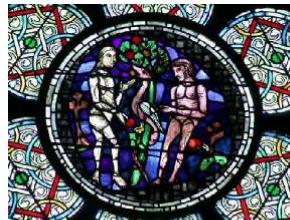
Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

Co jsou NANOMATERIÁLY a NANOTECHNOLOGIE ?

Pohybujeme se v rozměrech 1-100 nm - nové vlastnosti a funkce materiálů ($1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$)

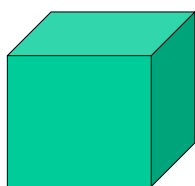
Pozorování hmoty na atomární a molekulární úrovni, schopnost měřit a manipulovat s nanomateriály, zkoumání jejich funkce a vlastností

Začlenění těchto vlastností a funkcí do systémů sahajících od nano až po makroskopické měřítko

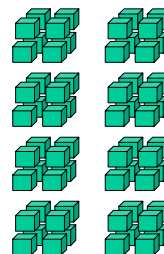
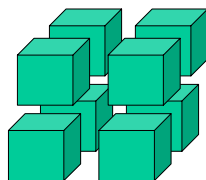


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a GEOMETRICKÝ MODEL



$L = 1 \text{ cm}$



$$S = 8^n \cdot 6 \cdot \left(\frac{L}{2^n}\right)^2$$

$S = 6 \text{ cm}^2 \rightarrow 12 \text{ cm}^2 \rightarrow 24 \text{ cm}^2 \rightarrow 48 \text{ cm}^2$

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a GEOMETRICKÝ MODEL

$n = 23 ; L_n = 1.2 \text{ nm}$



$n = 47$



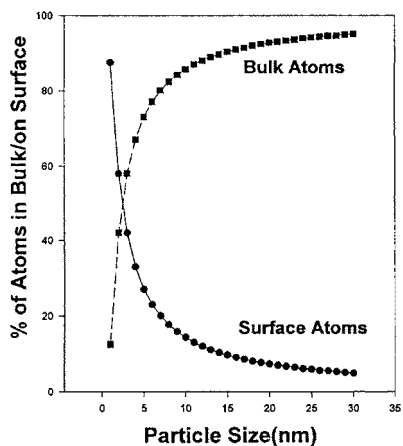
$n = 60$



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY – Velikost vs. vlastnosti

Full-shell Clusters	Total Number of Atoms	Surface Atoms (%)
1 Shell	13	92
2 Shells	55	76
3 Shells	147	63
4 Shells	309	52
5 Shells	561	45
7 Shells	1415	35

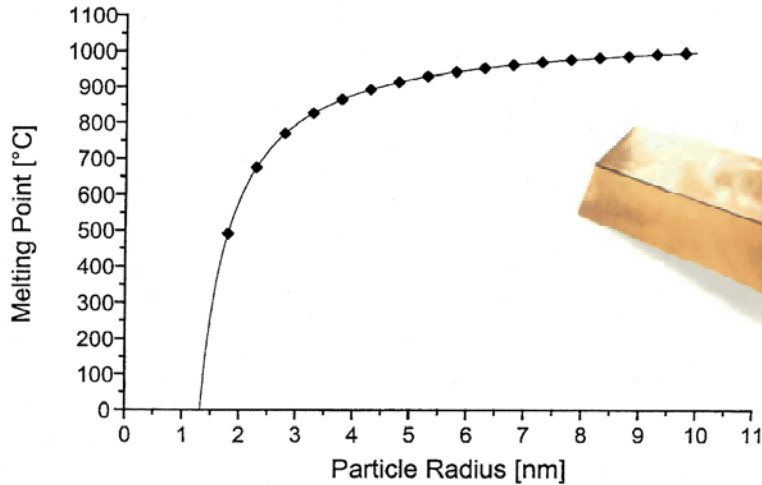


K.J. Klabunde (editor), Nanoscale Materials in Chemistry. John Wiley & Sons, Inc., 2001

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

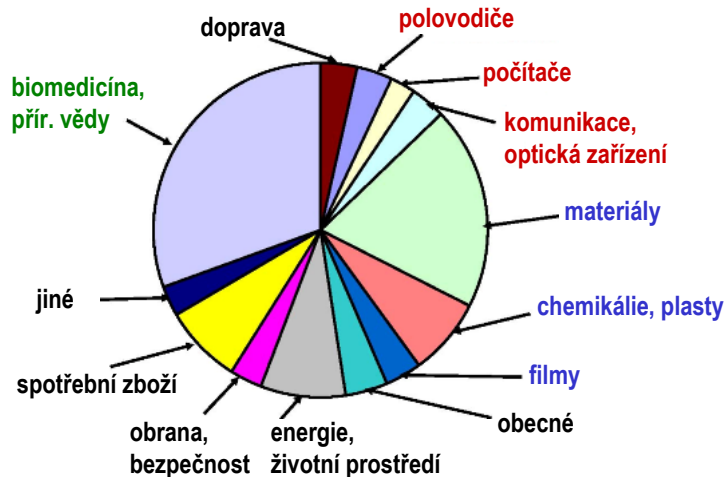
NANOMATERIÁLY – Velikost vs. vlastnosti

Teplota tání zlata: 1064 °C



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE - UPLATNĚNÍ



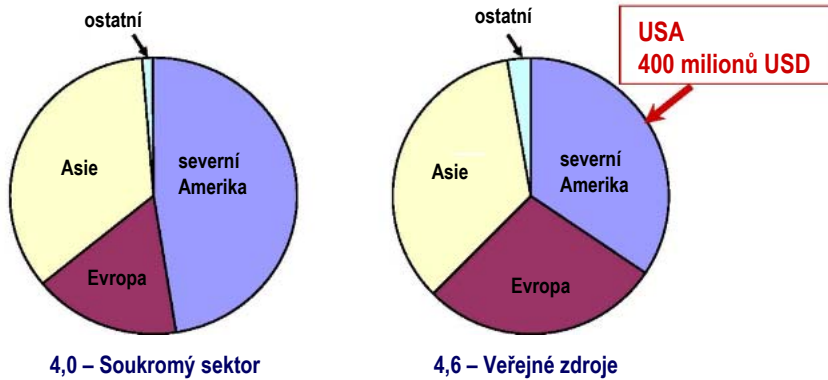
Zdroj: EmTech Research

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE

Celkové investice na rozvoj nanotechnologií = 2004

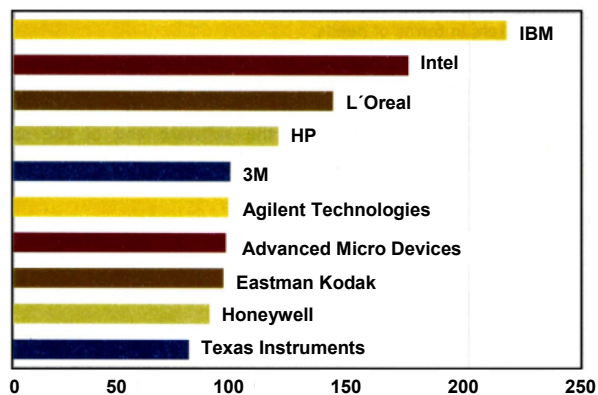
8,6 miliardy US dolarů



Zdroj: Lux Research

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

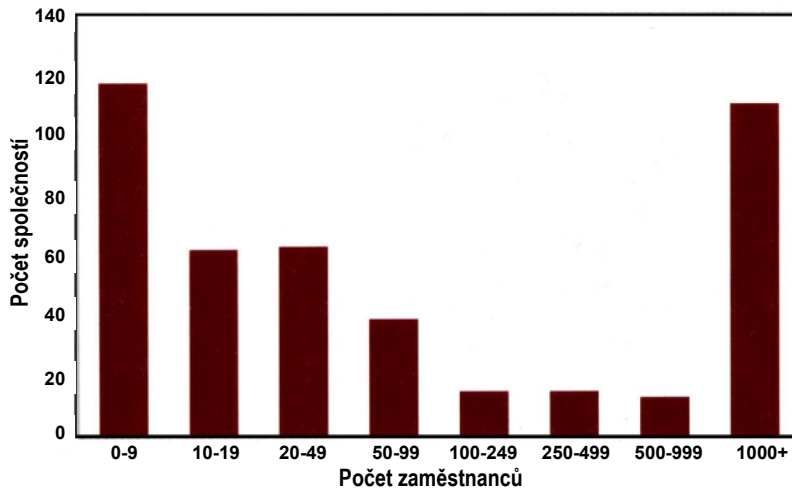
NANOTECHNOLOGIE - Patenty



Zdroj: EmTech Research

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

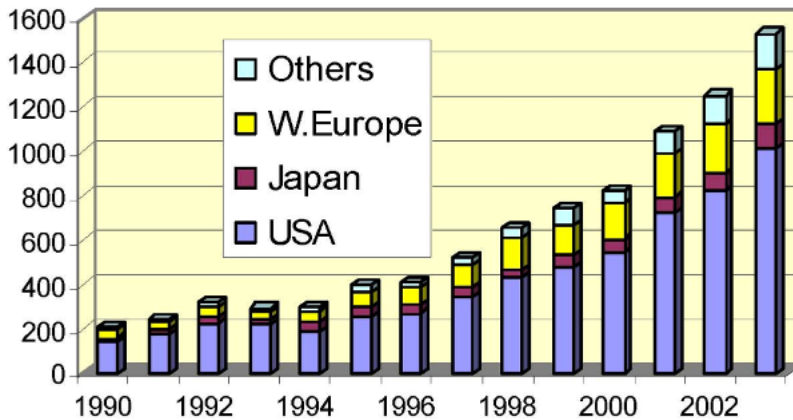
NANOTECHNOLOGIE - Firmy



Zdroj: EmTech Research

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

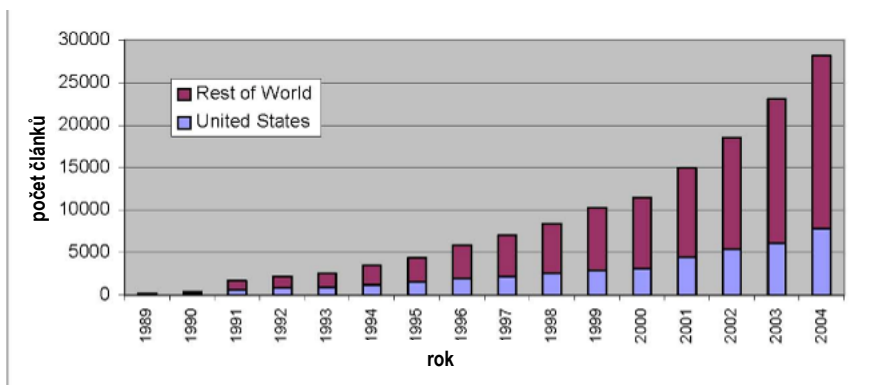
NANOTECHNOLOGIE - PATENTY



Zdroj: Huang et al., J. Nanoparticles Research

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

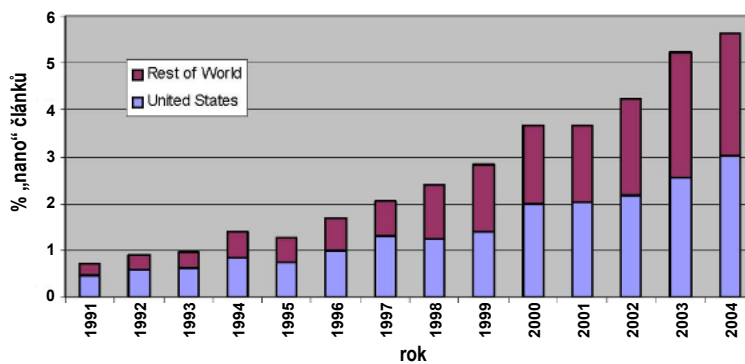
NANOTECHNOLOGIE - PUBLIKACE



Zdroj: J. Murday, U.S. Naval Research Laboratory

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE - PUBLIKACE



Zdroj: J. Murday, U.S. Naval Research Laboratory

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY - Je nutná regulace ?

Existující předpisy poskytují dostatečné pravomoci ??
Rozdíl – USA (EPA) vs. Evropa

Uplatnění nanomateriálů musí být dobře posouzeno

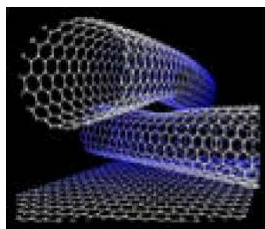
Je nutné vyhodnotit rizika nanomateriálů a jejich obecných vlastností vzhledem k životnímu prostředí a lidskému tělu

Nutná koordinace postupů regulačních a výzkumných institucí

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY - Toxikologické studie

- uhlíkové nanotrubičky a fulereny
- nanočástice krystalických kovových oxidů (např. TiO_2)
- zeolity (erionit)



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

2. Světová válka

Letecká bitva o Anglii

Eugene J. Houdry

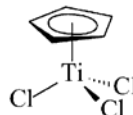


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

Polystyren

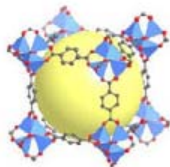
a

Polystyren

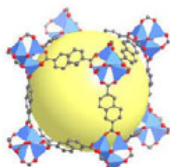


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

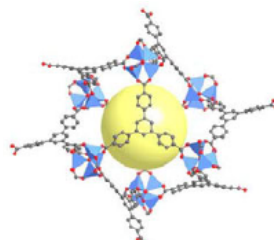
NANOTECHNOLOGIE A SPOLEČNOST



IRMOF-1



IRMOF-8



MOF-177

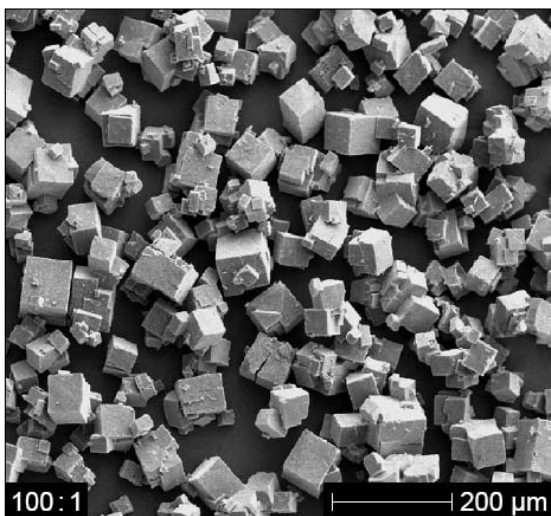
Organicko-anorganické mikroporézní materiály
(Metal-Organic-Frameworks; Periodic-Cationic-Polymers)

2000 struktur

Řízené uvolňování léků z porézní struktury

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE A SPOLEČNOST



11

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

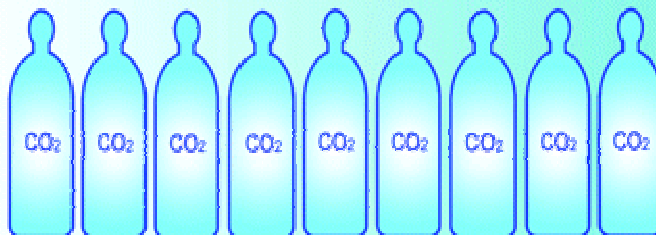
NANOTECHNOLOGIE A SPOLEČNOST

Vnitřní povrch - $3000 \text{ m}^2/\text{g} = 2 \text{ g}$ 

Obrovská sorpční kapacita – vodík, CO_2



MOF-177



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE - OXIDY KOVŮ

Nanočástice Ag, Ce, Fe, Ti

Hydrofobní nátěry a nástřiky

impregnace textilu, stavebních materiálů, karoserií, skel

Tvrdost a odolnost laků karoserií proti poškrábání

Aditiva do pohonných hmot - snížení spotřeby paliva,
snížení výfukových emisí

Stříbro - nanosilver (rozměry částic 1 - 100 nm)

ponožky a prádlo

širokospektrální antibakteriální účinky (nevzniká rezistence)

urychlují hojení ran a oděrek

antibakteriální ošetření nemocničních povrchů



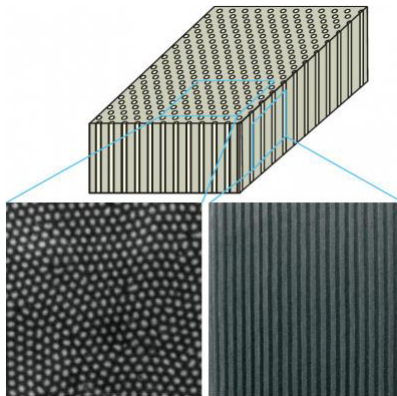
Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

Nanotechnologie přináší neviditelnost

Nature, 13. srpen 2008

Science, 15. srpen 2008

Shown is a schematic and two scanning electron microscope images with top and side views of a metamaterial developed by UC Berkeley researchers. The material is composed of parallel nanowires embedded inside porous aluminum oxide. As visible light passes through the material, it is bent backwards in a phenomenon known as negative refraction.



<http://www.physorg.com/news137649366.html>

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

Metody k popisu a pochopení vlastností a struktury

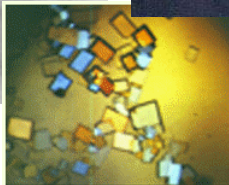
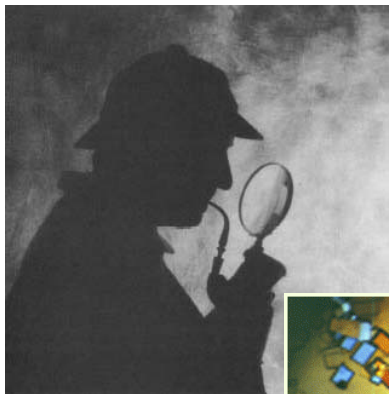
Jak manipulovat s nanočásticemi

Perspektivy využití nanočástic

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

Stanovení struktury pomocí rentgenové difrakce



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

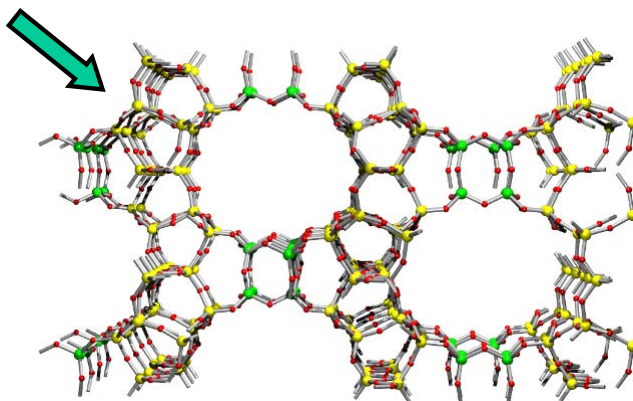
NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

Postup při určování struktury

výběr vhodného vzorku

sběr difrakčních dat

analýza dat



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

Rozdělení mikroskopických metod podle rozlišení

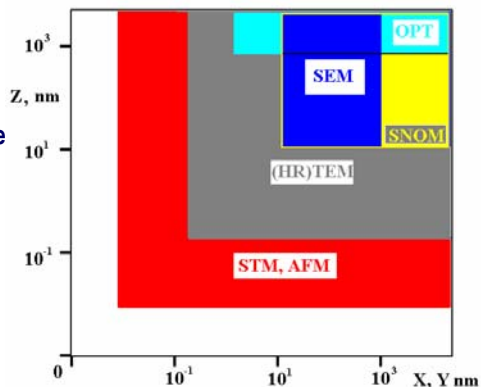
OPT: optická mikroskopie

SNOM: mikroskopie blízkého pole

SEM: elektronová řádkovací mikroskopie

HRTEM: transmisní el.mikroskopie

STM,AFM:
Tunelová mikroskopie,
mikroskopie atomárních sil



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy



AFM/STM Nanoscope IIIa Multimode
Pro práci v kapalinách a plynech
Rozlišení > 0,1 nm

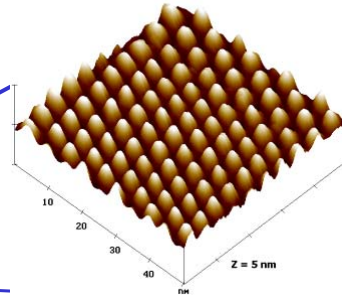
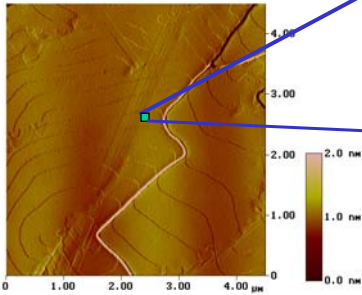
AFM/STM TopoMetrix TMX 2010
Pro práci v kapalinách a plynech
Rozlišení ~ 0,1 nm



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

Monokrystal Fulerenu C_{60}
zobrazení STM
zvětšení ~50 000x



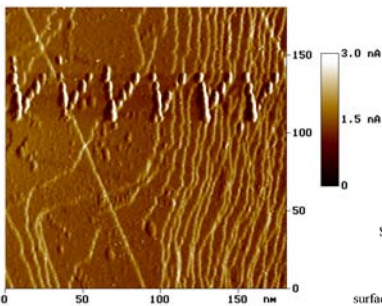
molekulární struktura monokrystalu
(zobrazení STM, zvětšení ~4 000 000x)

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

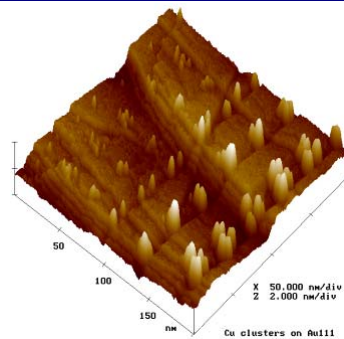
NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

Nanomanipulace mikroskopii rastrovací sondou:
Cu nanočástice na Au(111) deponované hrotem STM =>

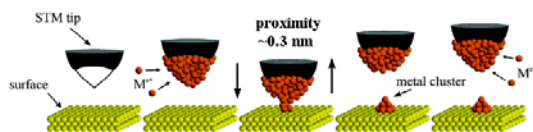
a do tvaru písmene „V“
průměr nanočástic ~8 nm, výška < 1 nm



Cu clusters on Au(111) electrodeposited by STM tip



STM tip-assisted metal deposition
(Jump-to-Contact)

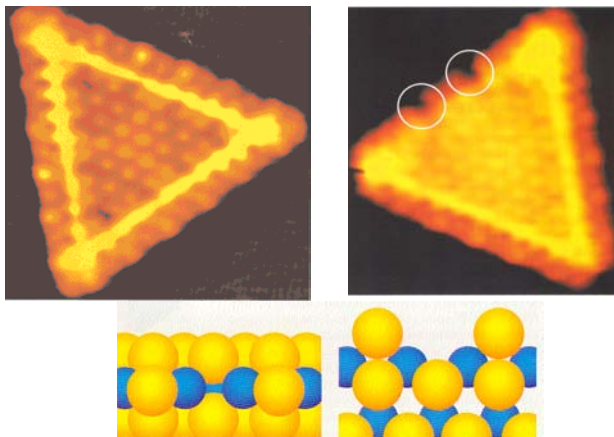


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE

Hydrodesulfurizační katalyzátor

klastry MoS_2 , Co-Mo-S – monovrstva
snímek z řádkovacího tunelového mikroskopu (STM)



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

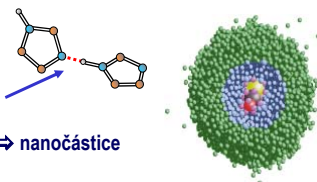
NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH: „létající nanolaboratoře“

Volné nanočástice ve vakuu (v molekulových paprscích)

Klastry = soubory molekul M_n , $n = 2, \dots, 10, \dots, 10^6 \dots$

mezimolekulové síly: van der Waalsovské interakce, vodíkové můstky, ...

rozměr molekuly $\sim 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow$ klastr 10-10 000 molekul $\sim 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm} \Rightarrow$ nanočástice

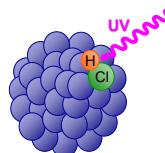


Příklad: Studium klastřů relevantních v atmosférické chemii



Ledové částice ve stratosféře
(polární stratosférické mraky)
 \Rightarrow vznik ozónové díry

\rightarrow v laboratoři \rightarrow

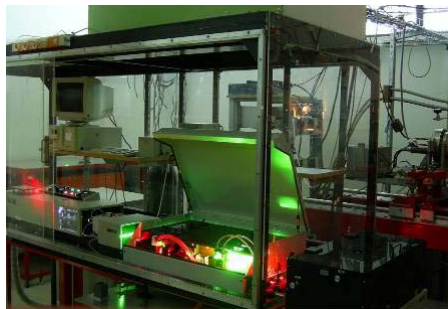
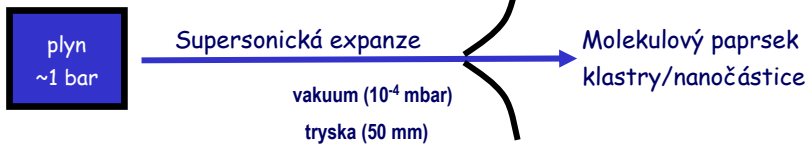


Studium heterogenní chemie a fotochemie molekul
polutantů (např. HCl) na povrchu ledových nanočástic

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH: molekulové paprsky ve vakuu

Experiment



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

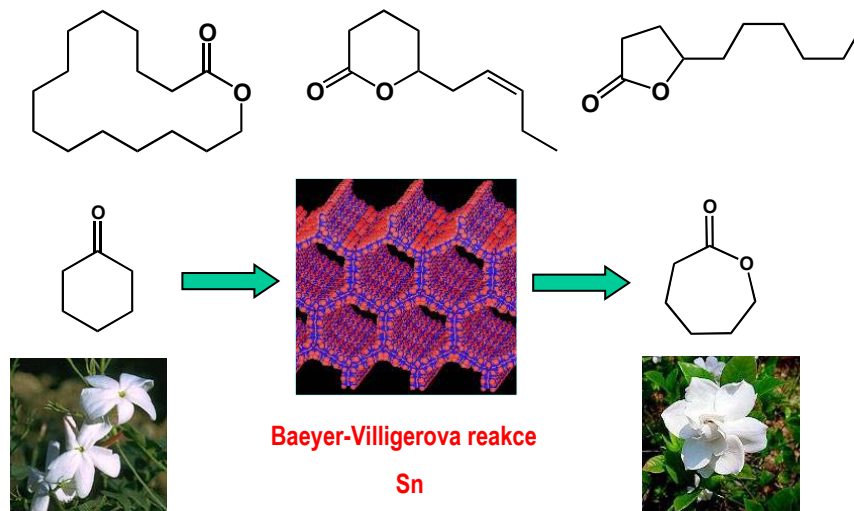
NANOMATERIÁLY a KATALÝZA



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

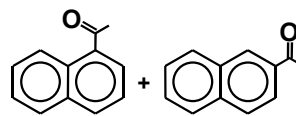
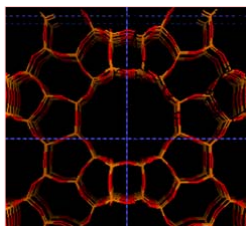
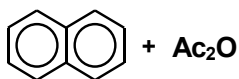
NANOMATERIÁLY a KATALÝZA

Laktony (cyklické estery)



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a KATALÝZA



Parfémy

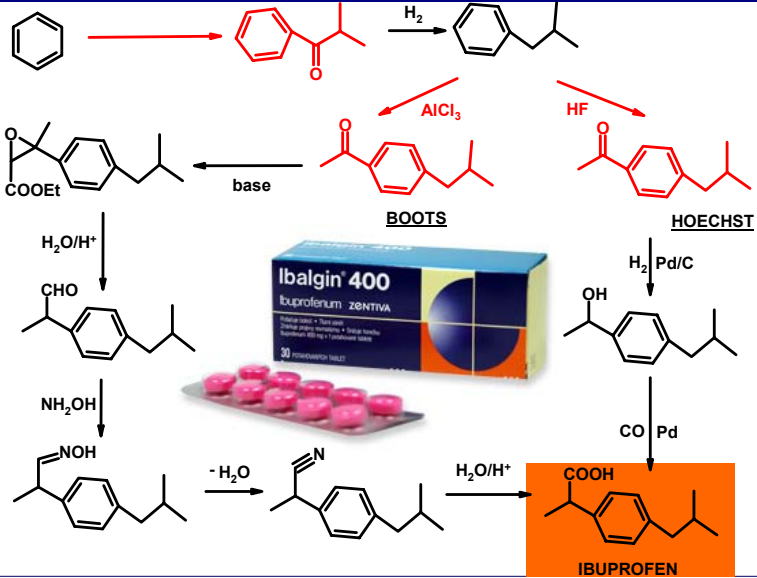
Jasmín
Zimolez
Magnolie

Vůně

Jahody
Citrus

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

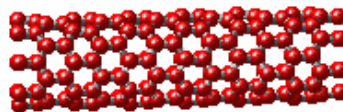
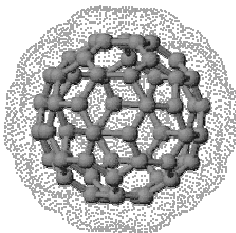
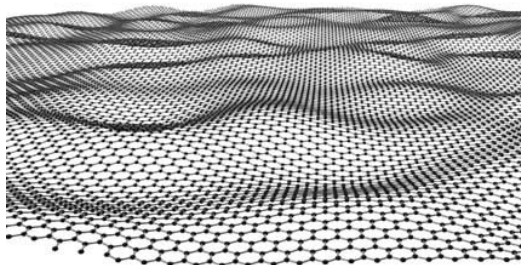
NANOMATERIÁLY a KATALÝZA



Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
 Oddělení Syntézy a Katalýzy

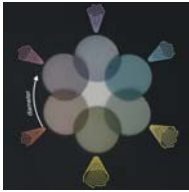
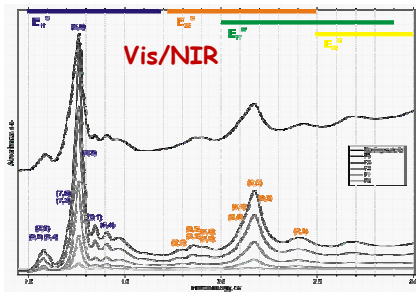
NANOMATERIÁLY a UHLÍK

nanodiamant
 grafen
 fullereny
 nanotuby
 a další...

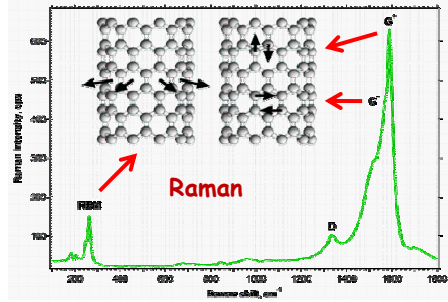
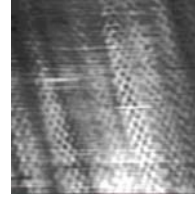


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
 Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a UHLÍK



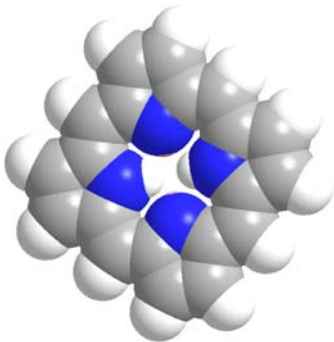
struktura
charakterizace
vlastnosti
využití



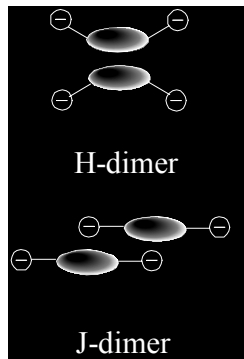
... a bude i rádio...z nanotuby !

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

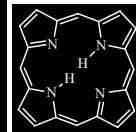
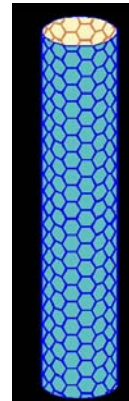
NANOMATERIÁLY a PORFYRINOVÉ STRUKTURY



Porfyrinový kruh
Velikost 1 nm



Různé typy
porfyrinových agregátů



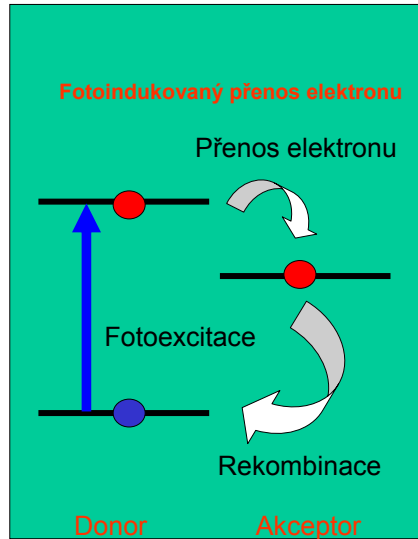
Samorganizované struktury
obsahující porfyriny

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a PORFYRINOVÉ STRUKTURY



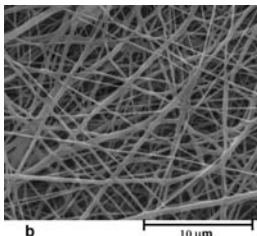
Fotodynamická terapie nádorů
= selektivní ničení karcinomů
účinkem světla



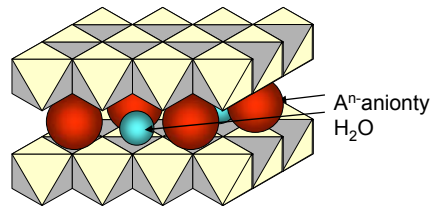
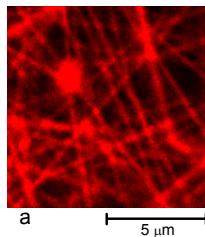
Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a PORFYRINOVÉ STRUKTURY

Porfyriny zabudové v polymerních nanovláčkách
a anorganických hybridních materiálech



Nanotextilie



Vrstevnaté materiály

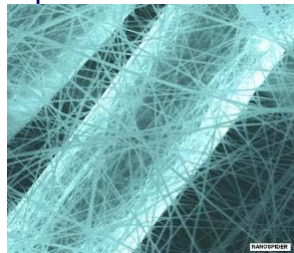
Perspektivní fotodesinfekční materiály

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

ELMARCO

Nanospider™ - technologie tkaní nanotextilií, Technická univerzita Liberec

- průměr vlákna 50 – 500 nm
- superfiltreační materiály (operační sály, atomové elektrárny)
- akustika – dokonalá zvuková izolace – zvuk se přemění v teplo
- obvazy – prodyšné, bariéra proti bakteriím a virům
- hygiena – pleny, utěrky
- kosmetika



<http://www.nanospider.cz/>

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

Nanomateriály a Nanotechnologie

Možnosti experimentálních technik

ZÁJEMCI JSOU VÍTÁNI !!

NANOMATERIÁLY a PŘÍŠTÍ PÁTEK !!!



Stacey I. Zones (Chevron)

**A Survey of the Chemistry of
Zeolites and their Uses**

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

- Uplynulo již 42 let od památné přednášky laureáta Nobelovy ceny fyzika Richarda Feynmana "There is plenty room at the bottom" (Tam dole je spousta místa), kterou přednesl na výročním zasedání American Physical Society v California Institute of Technology (Caltech), a ve které předpověděl možnost vytváření materiálů a mechanismů na úrovni atomů a molekul. Feynman tehdy naznačil, že to bude možné, až bude k dispozici experimentální technika, která umožní manipulovat s "nano"-strukturami a měřit jejich vlastnosti. V osmdesátých letech byly takové přístroje vynalezeny. Tyto přístroje, jako např. rastrovací tunelový mikroskop (STM), mikroskop využívající atomových sil (AFM), optický rastrovací sondový mikroskop blízkého pole (NSOM) apod., umožňují zkoumání nanostruktur.
- Souběžně probíhající expanze kapacity počítačů pak dovoluje sofistikované simulace materiálových vlastností v nanorozměrech (1-100 nm \rightarrow 0,000001-0,0001 mm). V současné době výzkum směřuje k aplikacím, které významně zlepšují stávající technologie. Výzkumy v oblasti ultrajemné mechaniky probíhají s cílem dosáhnout téměř dokonalého opracování součástí, magnetických hlav a optických prvků. Výroba prášků a krystalů v nanorozměrech může zabezpečit nová mazadla, otěruvzdorné povlaky strojních součástek a katalyzátory chemických reakcí. Vědci objevují možnosti samoorganizace základních kamenů hmoty (self-assembly) s cílem vytváření struktur chemickou syntézou, podle vzoru biologických procesů samouspořádávání. Rovněž lékařství může v blízké budoucnosti profitovat z nanotechnologií. Nanosenzory implantované do lidského těla mohou např. indikovat, kdy diabetik potřebuje svoji dávku inzulínu, nebo senzory zabudované do náramkových hodinek mohou detekovat nebezpečné množství škodlivých plynů v ovzduší a mohou tak upozornit na možný astmatický záchvat.

<http://www.nanosilver.cz/>

Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH: Mikroskopie rastrovací sondou

- nepoužívá optické členy
- rozlišení není limitováno vlnovou délkou a kvalitou optiky
- snímá parametry povrchu bod po bodu mechanickým skenováním

parametrický obraz povrchu tvoří:

- rozměrové kóty XYZ (3D zobrazení)
- lokální parametry
(teplota, vodivost, náboj, vazebná interakce, materiálová vlastnost...
=> parametrická mapa)
- pracuje v kapalinách, plynech, UHV

