

Nanověda a nanotechnologie na molekulární úrovni

Jiří Čejka

NANOMATERIÁLY a NANOTECHNOLOGIE

"There is plenty room at the bottom"

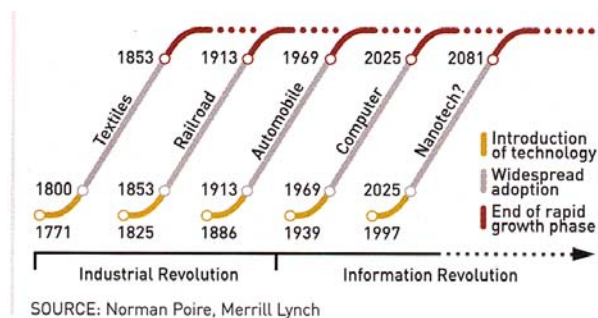
Richard Feynman (Caltech, 1962)

*"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 co o nich víme

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

Nanomateriály a Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského

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 ($1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$)

Velikost částic
Tloušťka vrstev
Velikost porů
Velikost domén (krystalických)

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

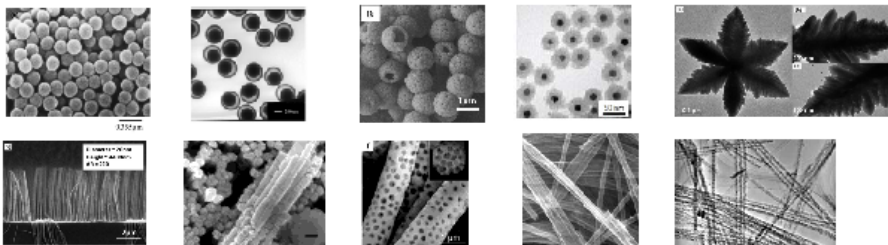
Začlenění těchto vlastností a funkcí do systémů sahajících od nano až po makroskopické měřítko



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

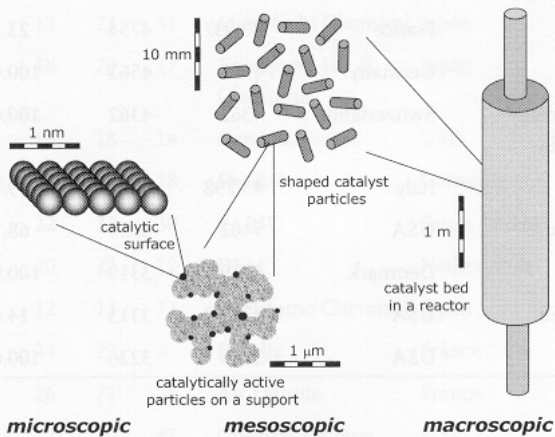
Co jsou NANOMATERIÁLY a NANOTECHNOLOGIE ?

Částice
Vrstvy
Pory
Domény



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

KATALYTICKÁ REAKCE



Od základního k průmyslovému výzkumu
Od nanočástic k makroskopickému reaktoru

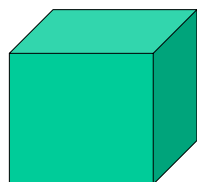
Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOPORÉZNÍ ZEOLITY

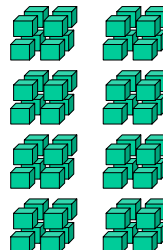
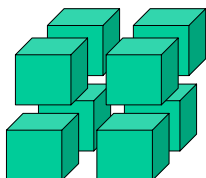


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a GEOMETRICKÝ MODEL



$L = 1 \text{ cm}$



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

$S = 6 \text{ cm}^2$



12 cm^2



24 cm^2



48 cm^2

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

NANOMATERIÁLY a GEOMETRICKÝ MODEL

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



$n = 47$









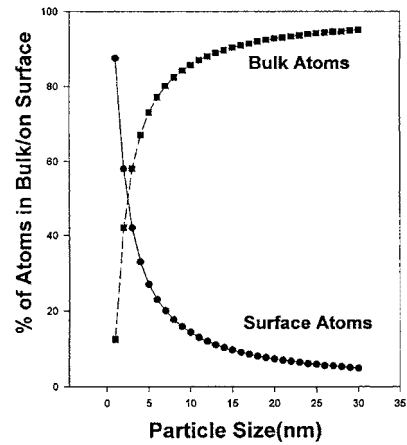
$n = 60$



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

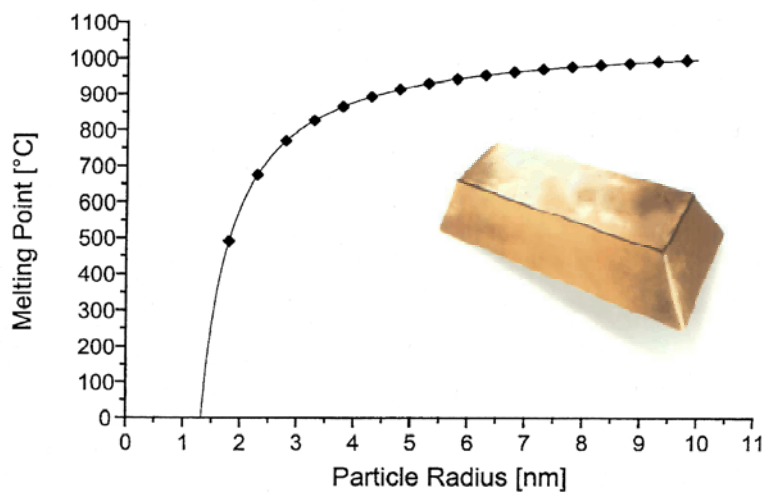


K.J. Klabunde (editor), Nanoscale Materials in Chemistry. John Wiley & Sons, Inc., 2001

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

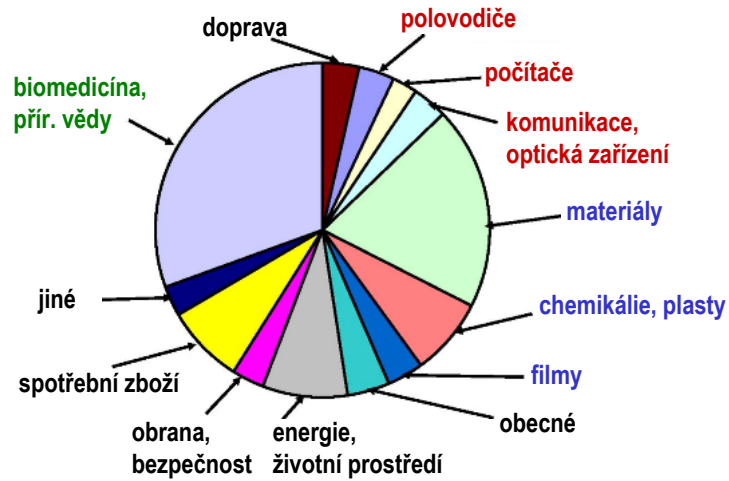
NANOMATERIÁLY – Velikost vs. vlastnosti

Teplota tání zlata: 1064 °C



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

NANOTECHNOLOGIE - UPLATNĚNÍ

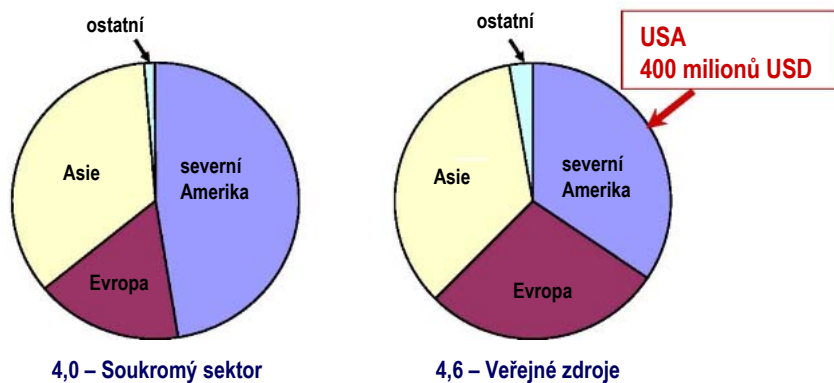


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOTECHNOLOGIE

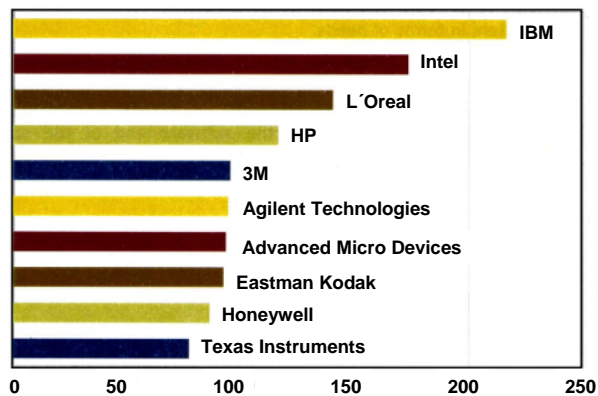
Celkové investice na rozvoj nanotechnologií = 2004

8,6 miliardy US dolarů



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

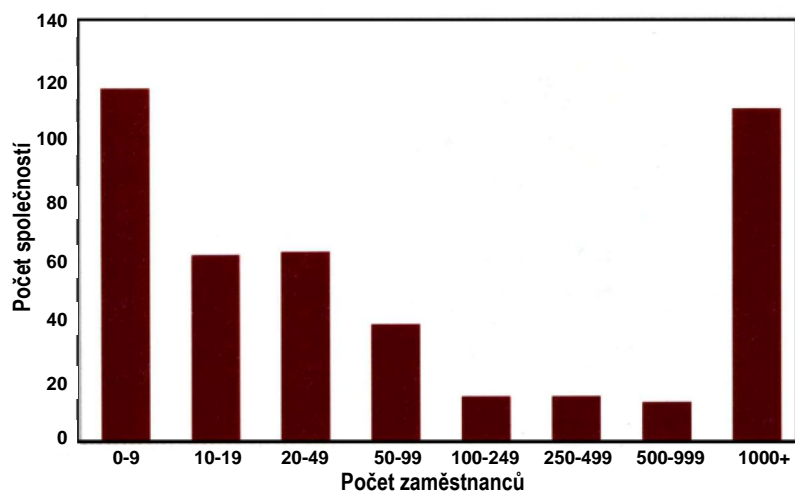
NANOTECHNOLOGIE - Patenty



Zdroj: EmTech Research

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

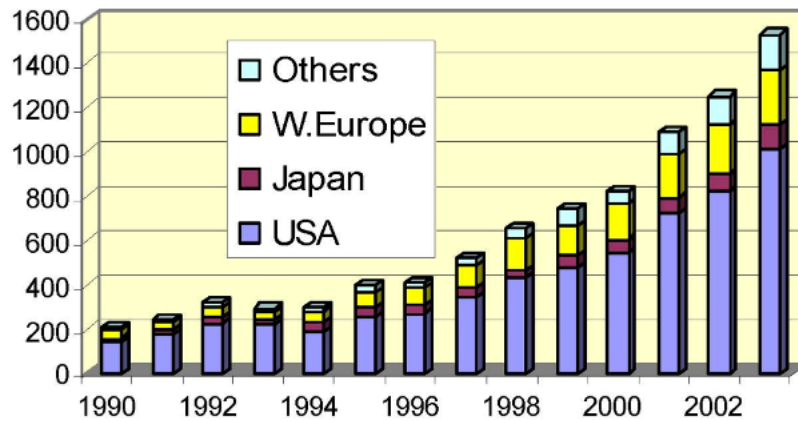
NANOTECHNOLOGIE - Firmy



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

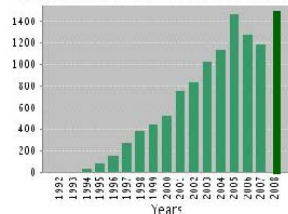
NANOTECHNOLOGIE - PUBLIKACE

Nanomaterials:

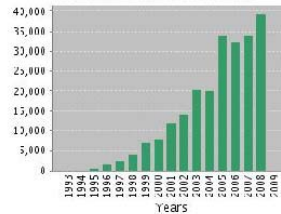
Ordered mesoporous materials –attractive research area

Number of articles found: 13,157
Sum of the Times Cited: 256,297
Average Citations per Item: ~20
Articles over 1000 citations: 10

Published Items in Each Year



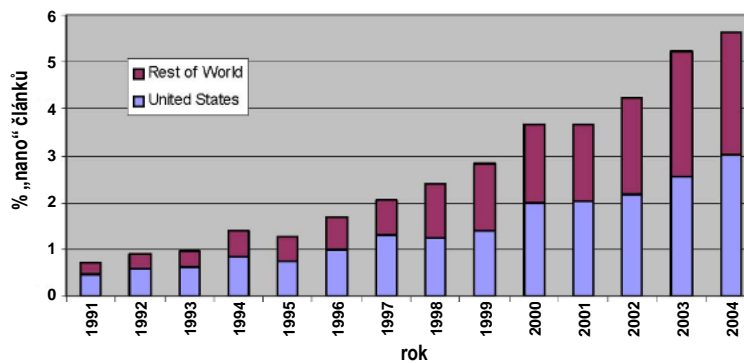
Citations in Each Year



ISI data on May 19, 2009

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

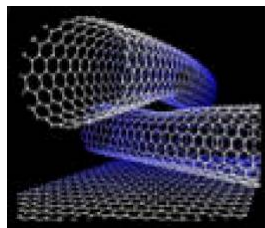
Je nutné vyhodnotit rizika nanomateriálů a jejich obecných vlastností
vzhledem k životnímu prostředí a lidskému tělu

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)
- azbest



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

NANOTECHNOLOGIE a HISTORIE

2. Světová válka

Letecká bitva o Anglii

Eugene J. Houdry

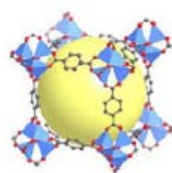
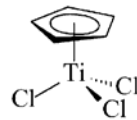


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

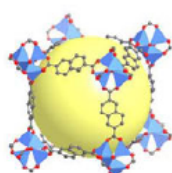
Polystyren

a

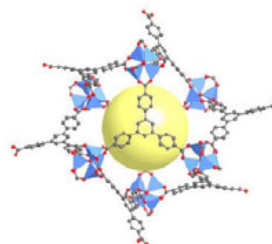
Polystyren



IRMOF-1



IRMOF-8



MOF-177

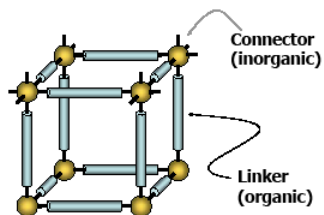
Organicko-anorganické mikroporézní materiály
(Metal-Organic-Frameworks; Periodic-Cationic-Polymers)

2000 struktur

Adsorpce – Separace – Katalýza (?)

Řízené uvolňování léků z porézní struktury

NANOTECHNOLOGIE A SPOLEČNOST



Téměř nekonečné množství možností

Organické spojení

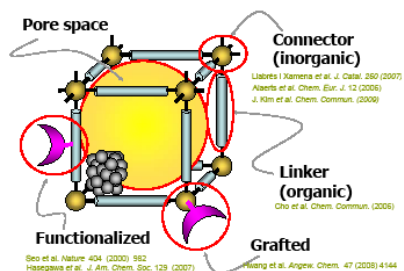
Anorganické částice

Předpokládané využití

Adsorpce

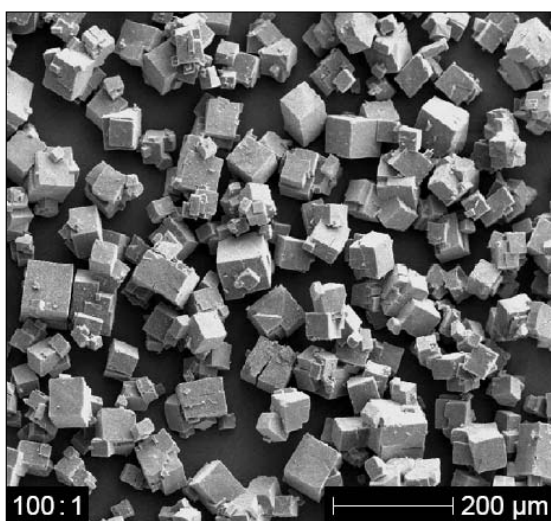
Separace

Katalýza



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


NANOTECHNOLOGIE A SPOLEČNOST



11

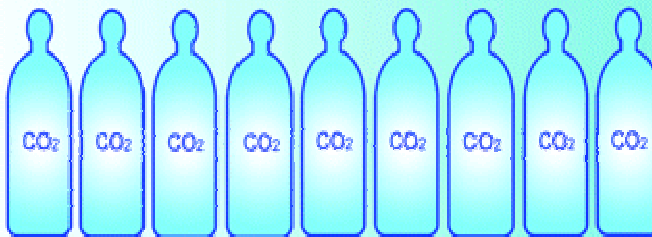
Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

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

Tvrdość 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

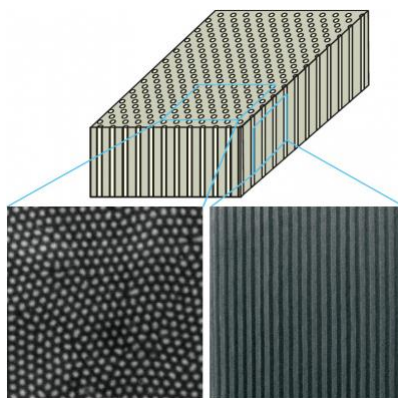


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

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

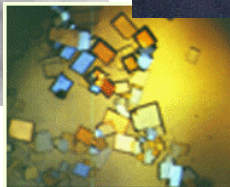
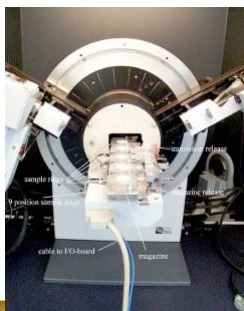
Metody

Difrakční

Spektroskopické

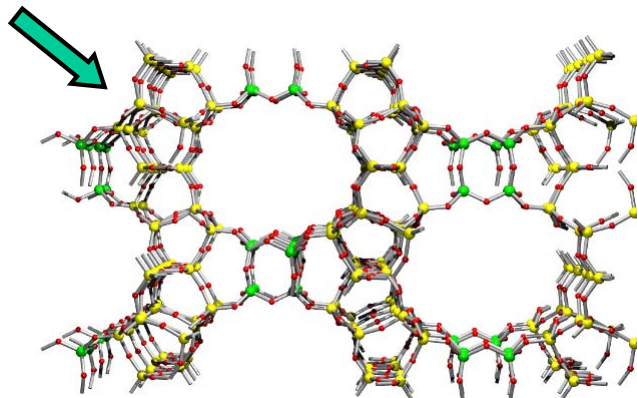
Mikroskopické

Stanovení struktury pomocí rentgenové difrakce



Postup při určování struktury

výběr vhodného vzorku
sběr difrakčních dat
analýza dat



Rozdělení mikroskopických metod podle rozlišení

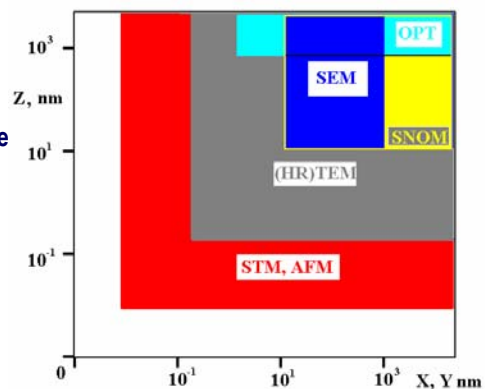
OPT: optická mikroskopie

SNOM: mikroskopie blízkého pole

SEM: elektronová řádkovací mikroskopie

HRTEM: transmisní el. mikroskopie

STM,AFM:
Tunelová mikroskopie,
mikroskopie atomárních sil



NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH



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

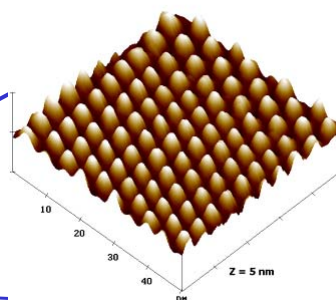
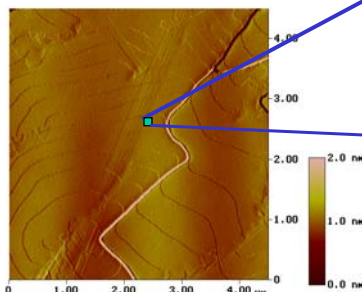
AFM/STM TopoMetrix TMX 2010
Pro práci v kapalinách a plynech
Rozlišení ~ 0,1 nm



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

NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

Monokrystal Fulerenu C₆₀
zobrazení STM
zvětšení ~50 000x



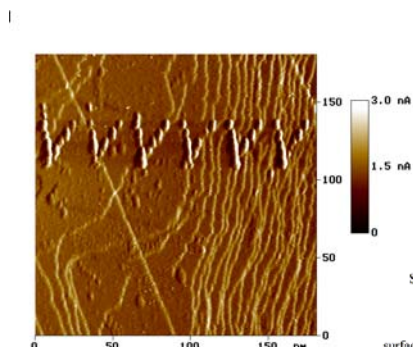
molekulární struktura monokrystalu
(zobrazení STM, zvětšení ~4 000 000x)

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

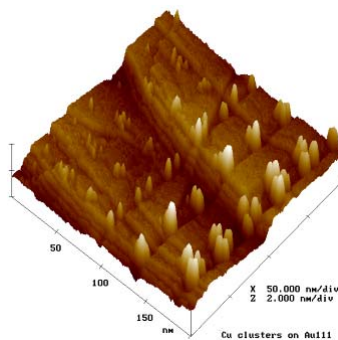
NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH

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

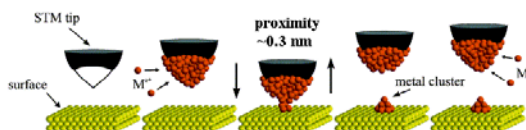
a do tvaru písmene „V“
průměr nanočástic ~8 nm, výška < 1 nm



Cu clusters on Au(111) electrodeposited by STM tip



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

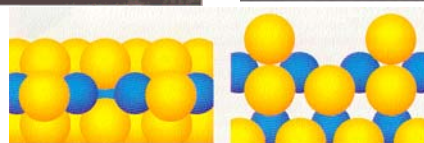
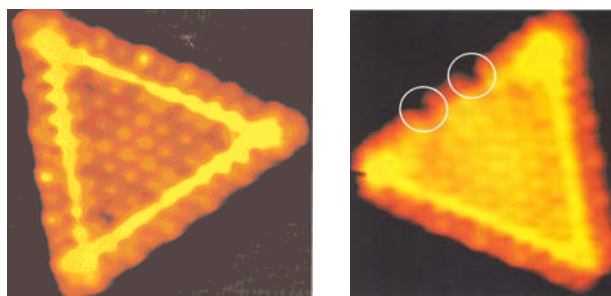


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

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

Použití

Studium reakční mechanismů – reakce v atmosféře

Katalýza – léčiva, vonné látky

Fotodesinfekční látky

Fotokatalýza – TiO_2

Porfyriny – léčení nádorů

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

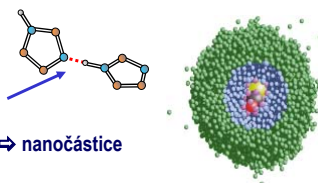
NANOTECHNOLOGIE a ÚFCH JH: „létající nanolaboratoře“

Volné nanočástice ve vakuu (v molekulových paprcích)

Klastry = soubory molekul M_n , $n = 2, \dots, 10^3, \dots, 10^6 \dots$

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

rozměr molekuly $\sim 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow$ klastr $10^3 - 10^6$ molekul $\sim 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm} \Rightarrow$ nanočástice

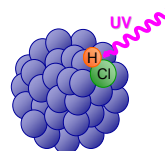


Příklad: Studium klastřů relevantních v atmosférické chemii



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

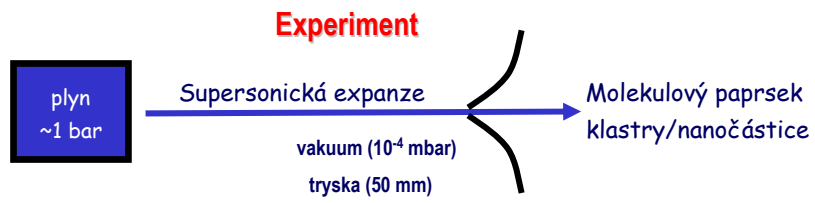
\rightarrow v laboratoři \rightarrow



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



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

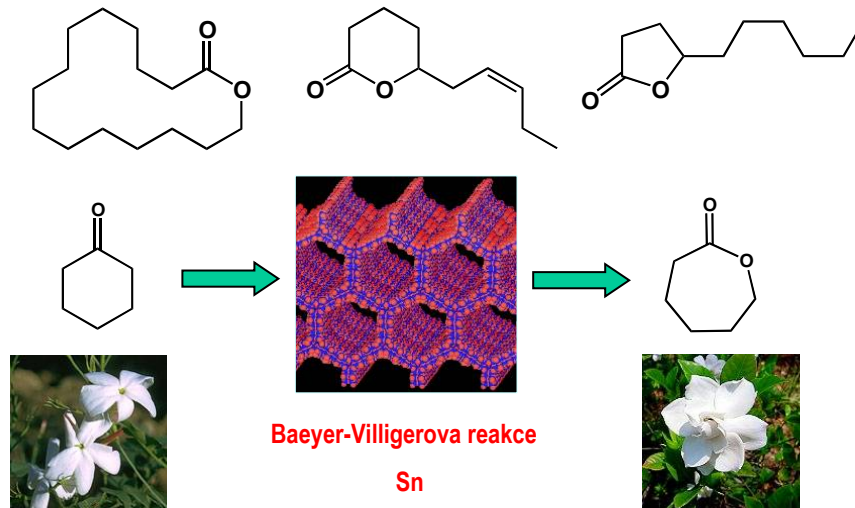
NANOMATERIÁLY a KATALÝZA



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

NANOMATERIÁLY a KATALÝZA

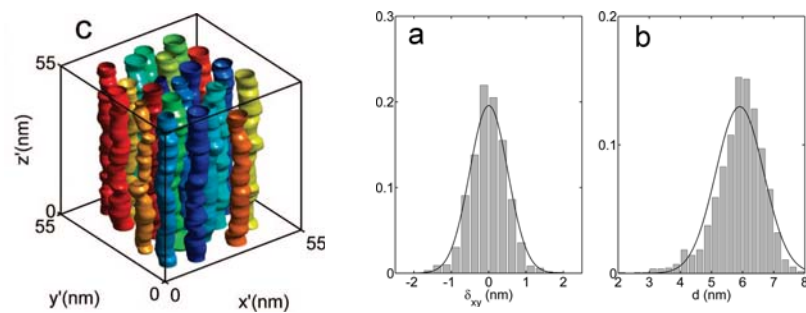
Laktony (cyklické estery)



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

NANOMATERIÁLY a KATALÝZA

3-D Tomografie Studium „drsnosti“ povrchu kanálů



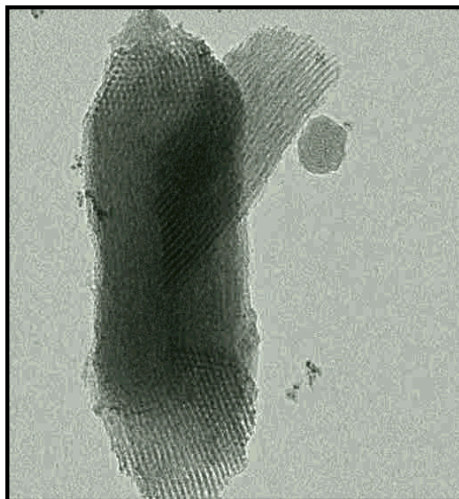
Podmínky syntézy

Kalcinace

K. De Jong et al. Chem. Mater. 21 (2009) 1315

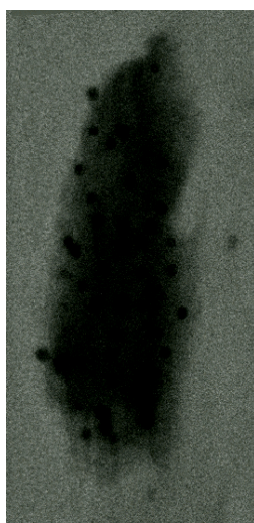
Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

SBA-15



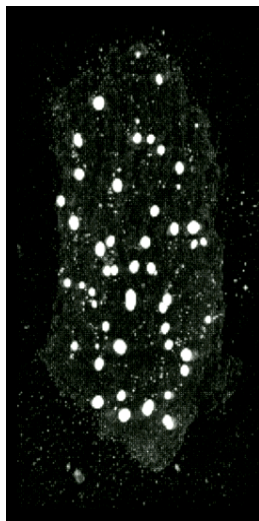
100 nm

Klastry Au v SBA-15



20 nm

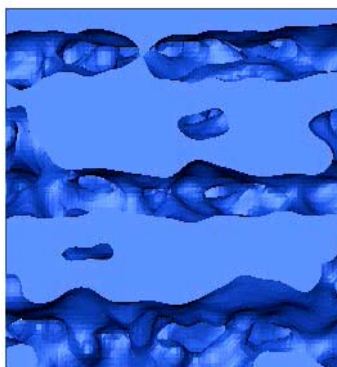
Klastry Au v SBA-15



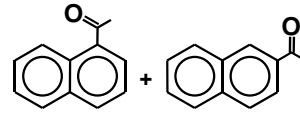
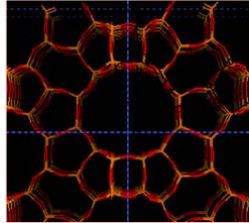
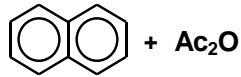
20 nm

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

Mesoporézní SBA-15



NANOMATERIÁLY a KATALÝZA



Parfémy

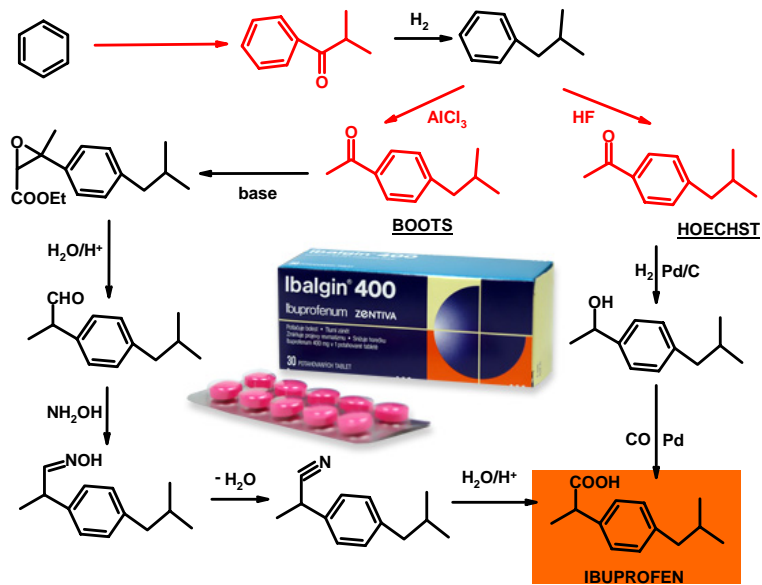
Jasmín
Zimolez
Magnolie

Vůně

Jahody
Citrus

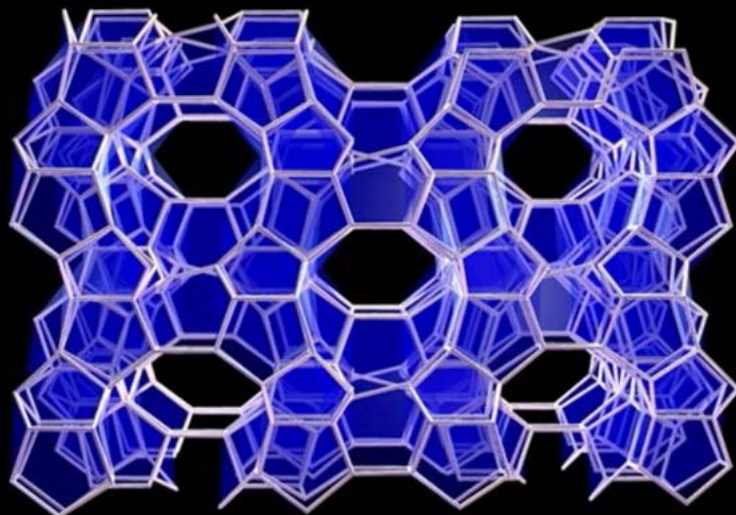
Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

NANOMATERIÁLY a KATALÝZA



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

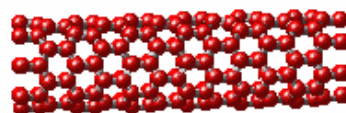
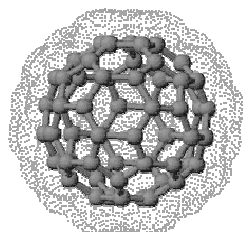
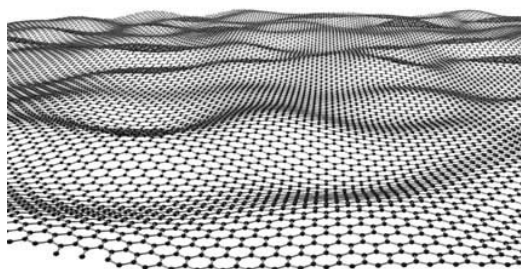
NANOMATERIÁLY a KATALÝZA



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

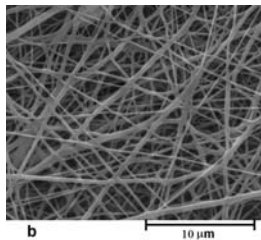
NANOMATERIÁLY a UHLÍK

nanodiamant
grafen
fullereny
nanotuby
a další...

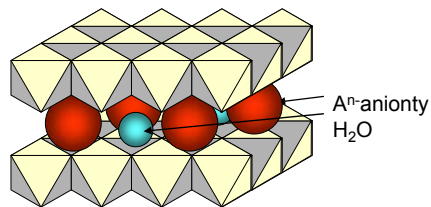
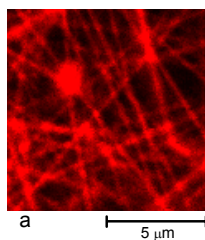


Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Praha
Oddělení Syntézy a Katalýzy

Porfyriny zabudové v polymerních nanovláčkách a anorganických hybridních materiálech



Nanotextilie



Vrstevnaté materiály

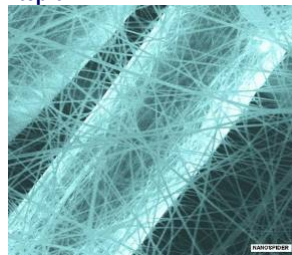
Perspektivní fotodesinfekční materiály

NANOTECHNOLOGIE - UPLATNĚNÍ

ELMARCO

Nanospider™ - technologie tkaní nanotextilí, Technická univerzita Liberec

- průměr vlákna 50 – 500 nm
- superfiltrační 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



Nanomateriály a Nanotechnologie

Možnosti experimentálních technik

ZÁJEMCI JSOU VÍTÁNI !!