

POHLED DO NANOSVĚTA

Roman Kubínek

Olomoucký fyzikální kaleidoskop 7. listopadu 2003, Přírodovědecká fakulta UP

Nanometr – 10^{-9} m (miliardtina metru)

**380-780 nm rozsah λ viditelného
světla**

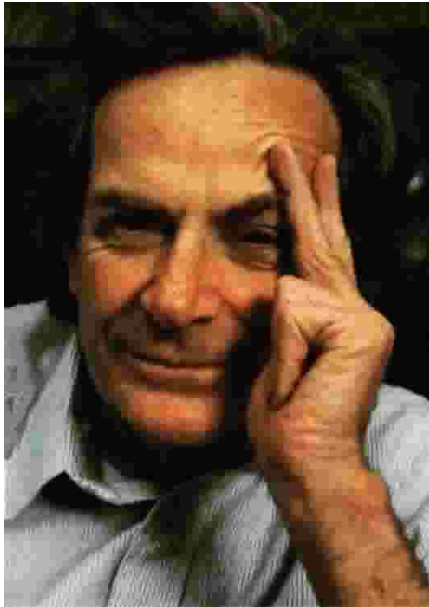
NANOTECHNOLOGIE

**– obor 21. století, odvětví, které změní
život člověka**

**Molekuly a atomy jako konstrukční
prvky „nanotechnologií“**

Richard Philips Feynman (1918-1988)

1965 Nobelova cena za kvantovou elektrodynamiku



Historická přednáška r.1959

“There’s Plenty of Room at the Bottom”,

Téma: v budoucnosti člověk dokáže sestavovat neobyčejně miniaturní zařízení schopná manipulovat s jednotlivými atomy.

“Proč ještě neumíme zapsat všech dvacet čtyři svazků Encyklopedie Britannika na špendlíkovou hlavičku?”

Celá živá příroda pracuje na úrovni atomů a molekul.

Člověk nedávno poodhalil tajemství DNA – genetického kódu



Příroda však dokáže miliony let “stavět” obrovské množství organismů, od bakterií až po samotného člověka.

**Feynman položil užaslému vědeckému světu otázku:
„jestliže to zvládne příroda, proč ne my?“**

Olympus Provis
AX 70 circa 1998

Large Format
(4 x 5) Camera
Adapter

Čím nahlédnout do nanosvěta?

Standardní světelný mikroskop
je v rozlišení omezen
difrakčním limitem použitého
světla

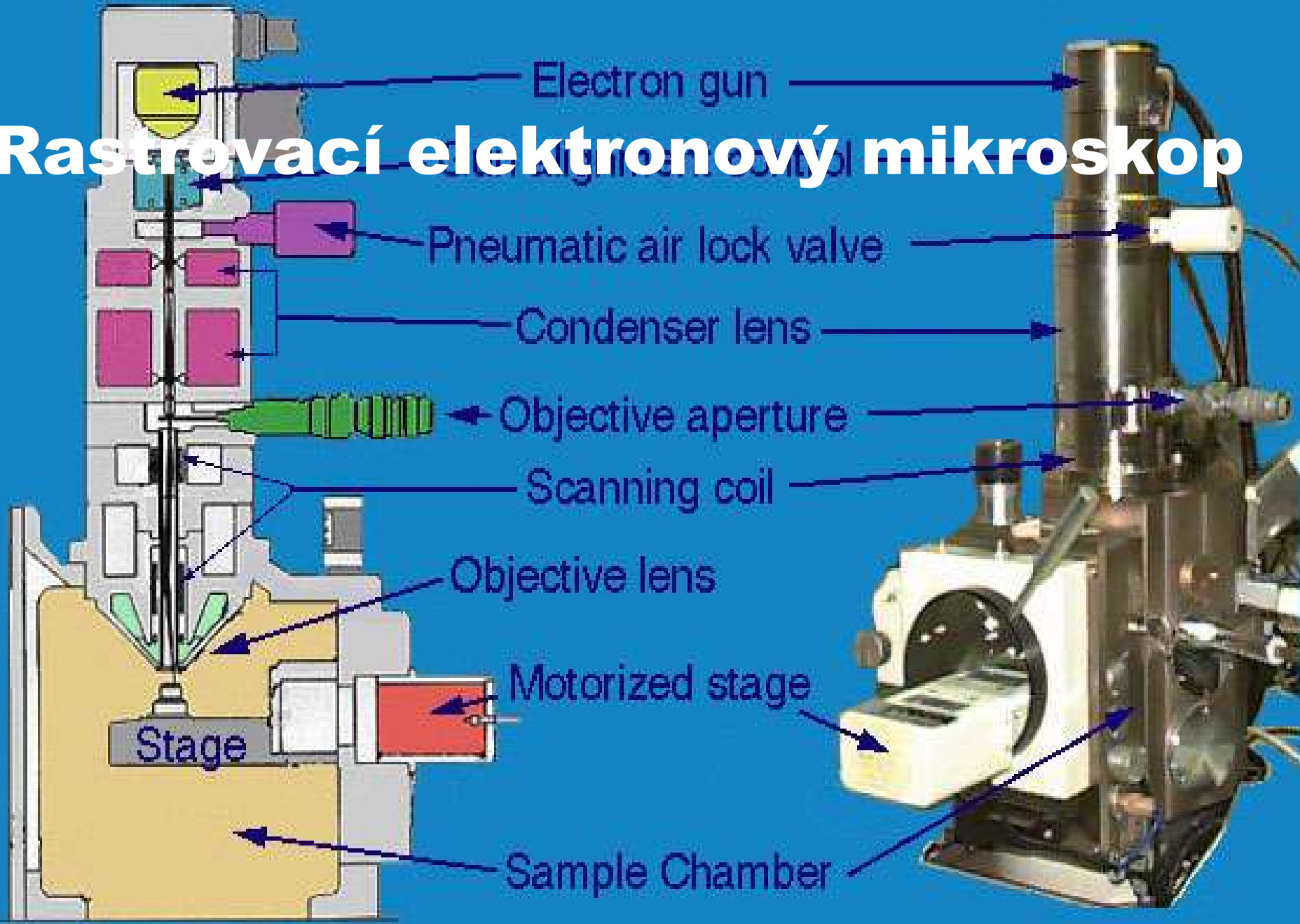
max. $\lambda/2 \sim 300 \text{ nm}$

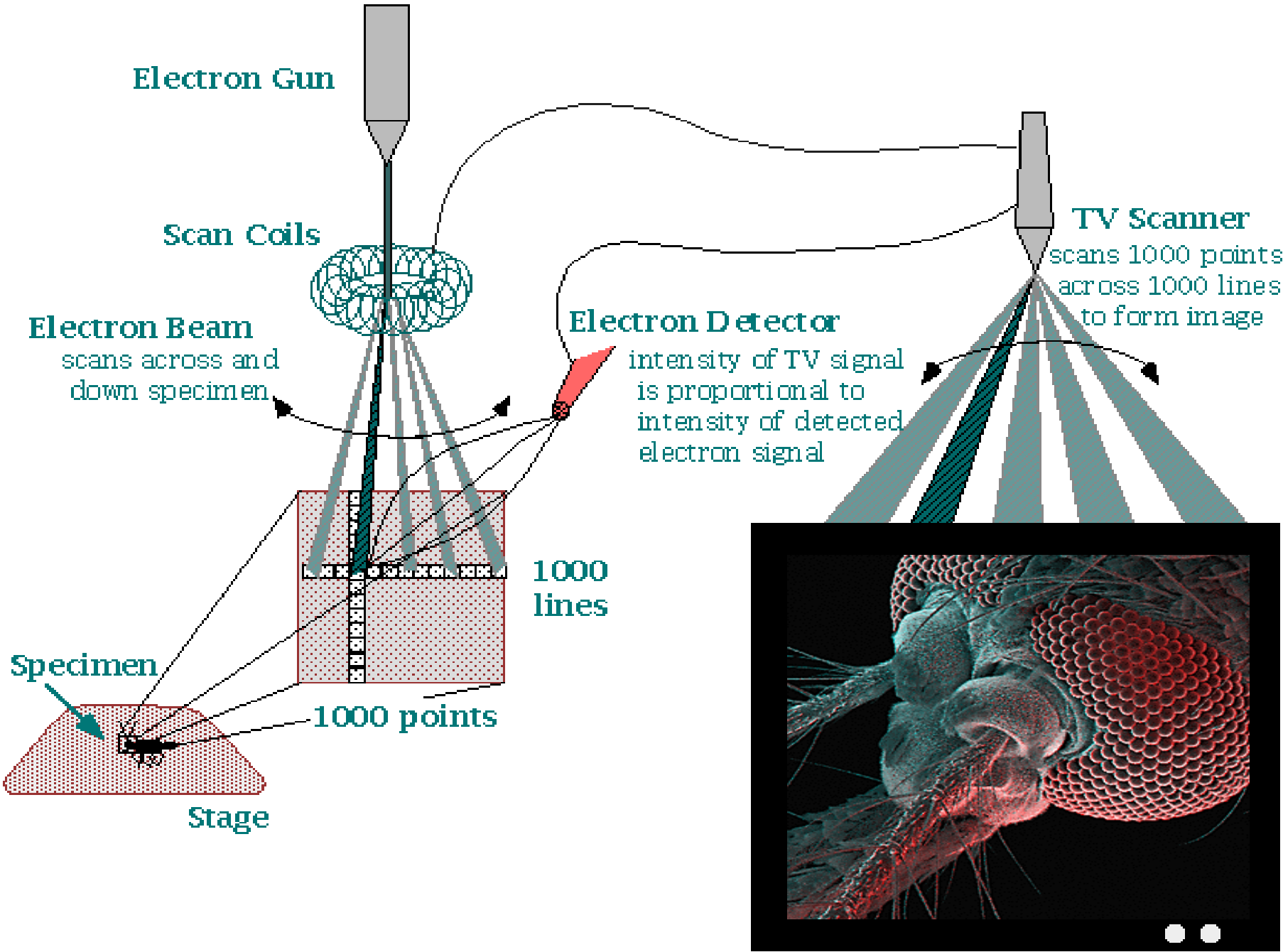


Rastrovací a transmisní Elektronové mikroskopy



Rastrovací elektronový mikroskop





Electron Gun

Scan Coils

Electron Beam
scans across and
down specimen

Specimen

Stage

1000 points

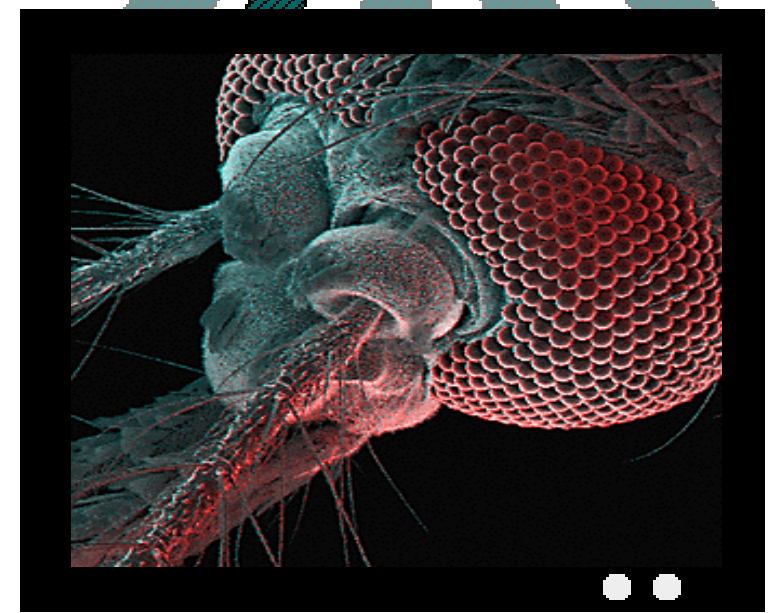
**1000
lines**

Electron Detector

intensity of TV signal
is proportional to
intensity of detected
electron signal

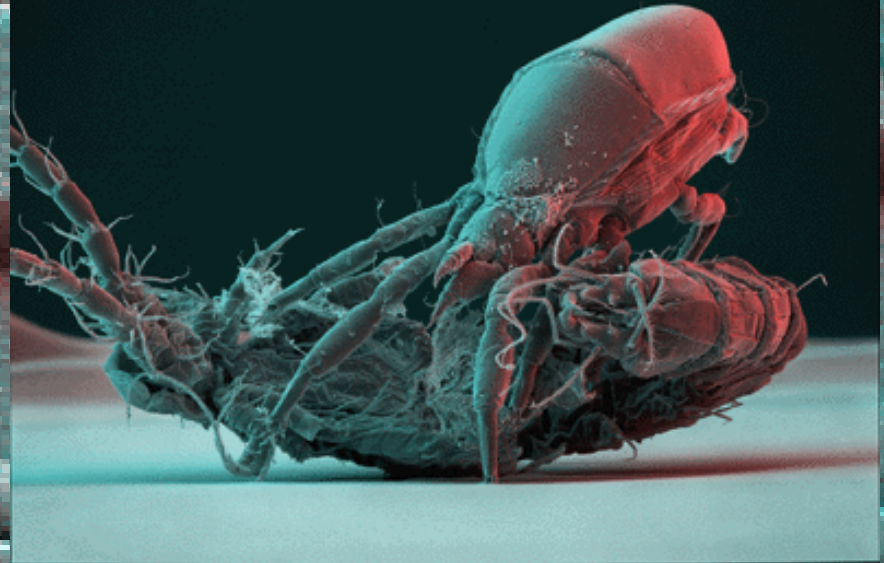
TV Scanner

scans 1000 points
across 1000 lines
to form image



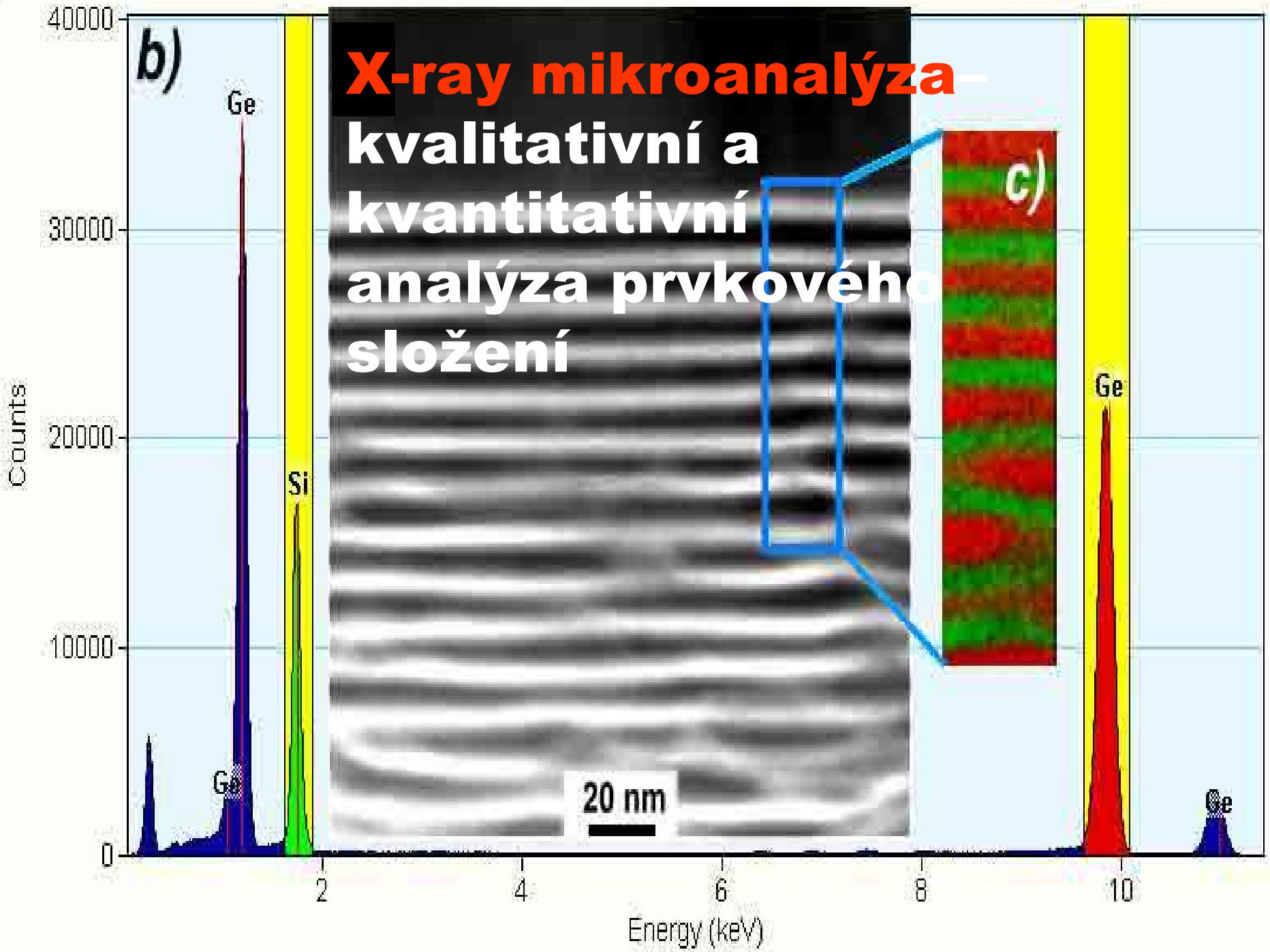
TV Screen

3D Obraz s velkou hloubkou ostrosti



Rozlišovací mez do 1nm

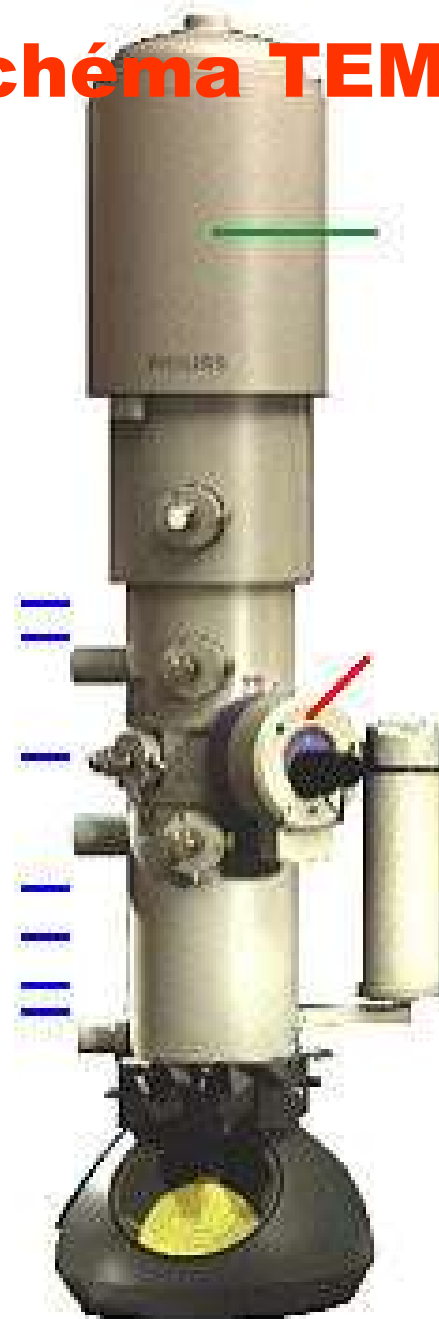
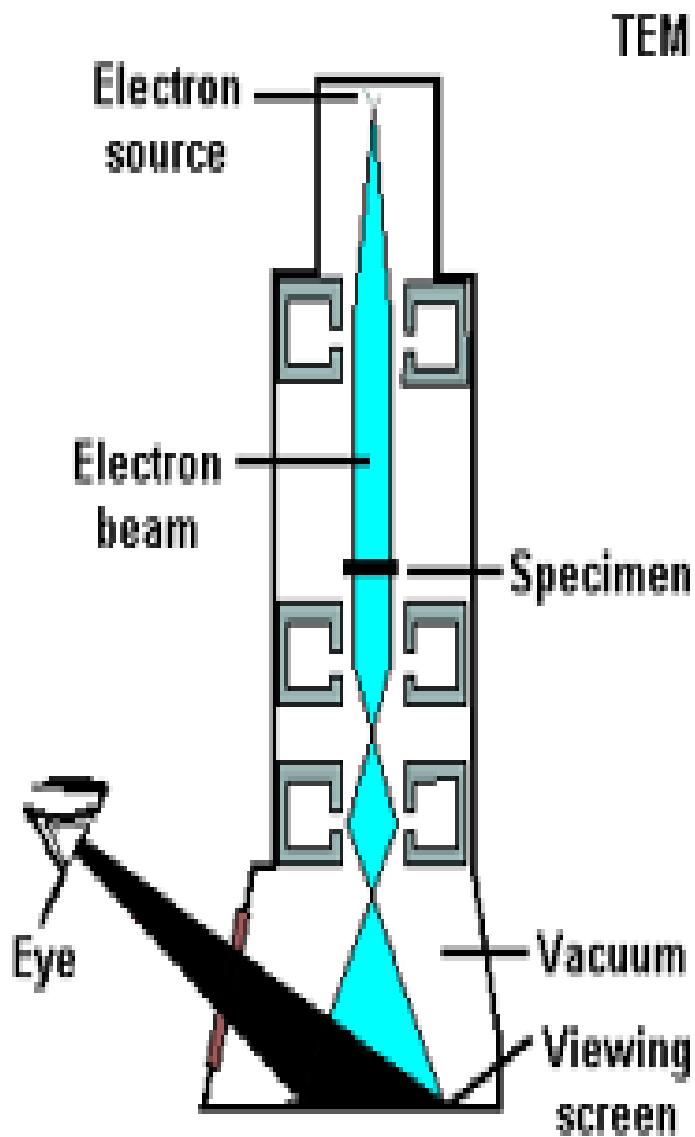
X-ray mikroanalýza – kvalitativní a kvantitativní analýza prvkového složení



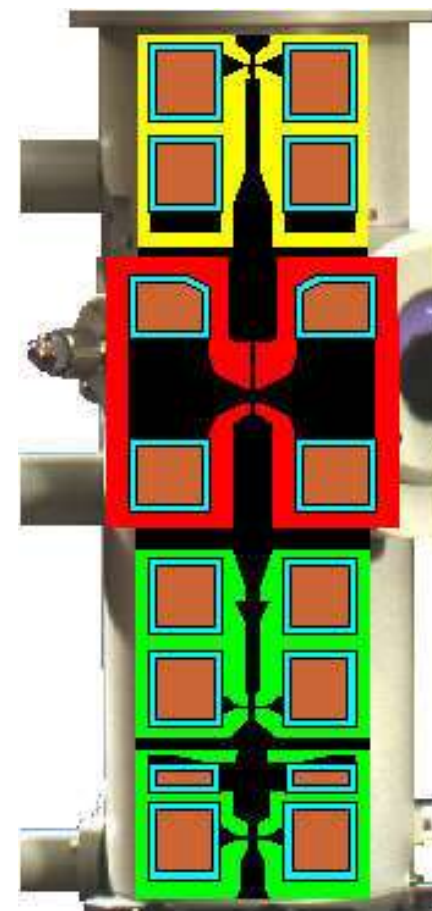
Transmisní elektronový mikroskop



Elektron-optické schéma TEM



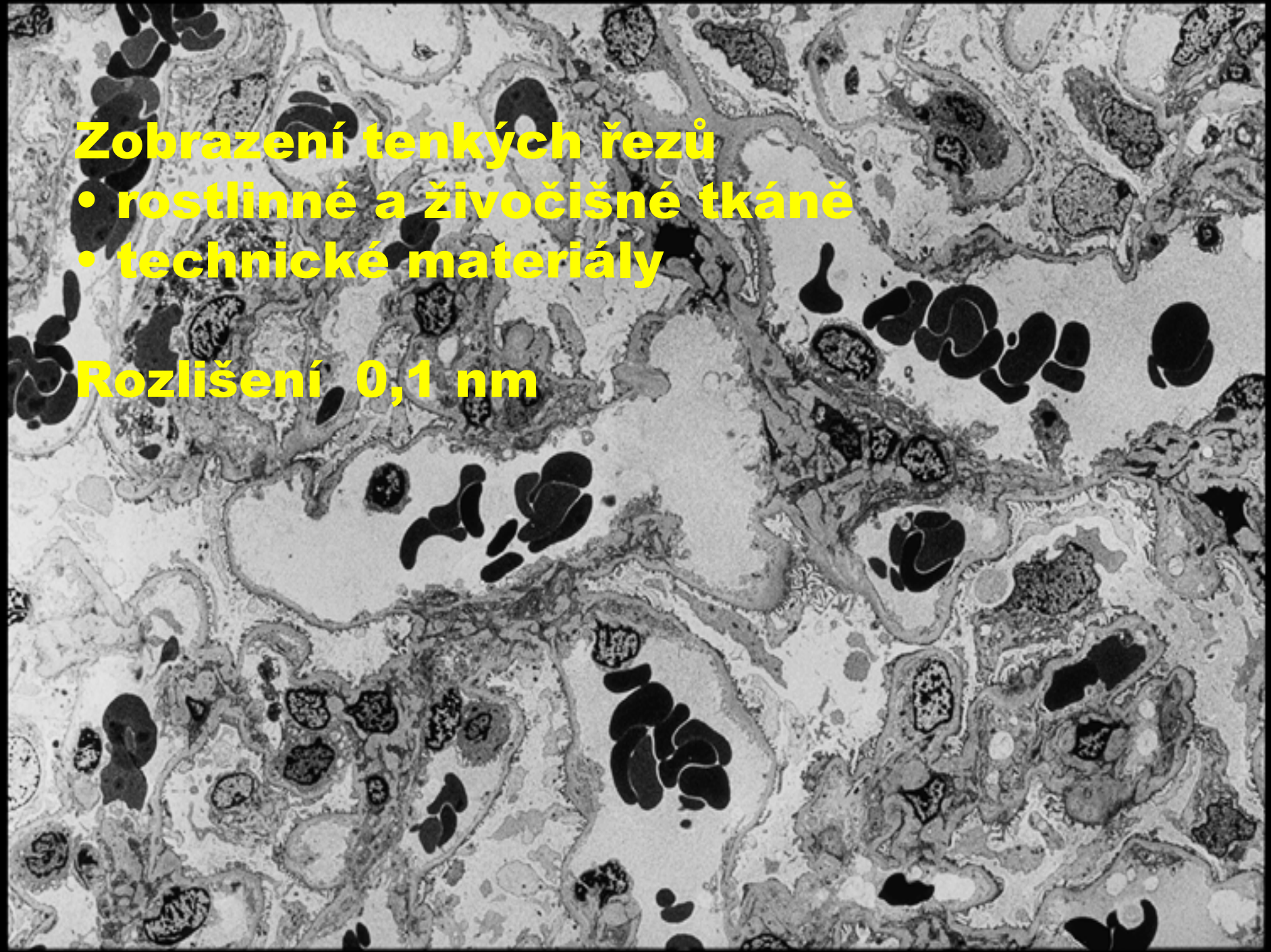
řez tubusem



Zobrazení tenkých řezů

- rostlinné a živočišné tkáně
- technické materiály

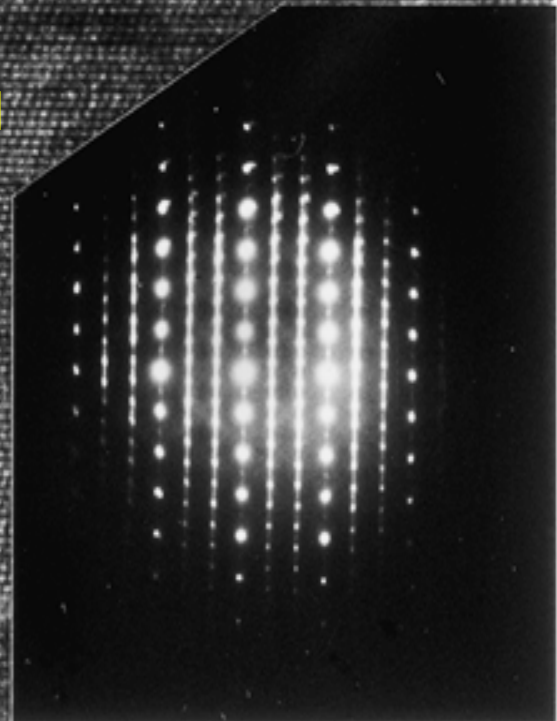
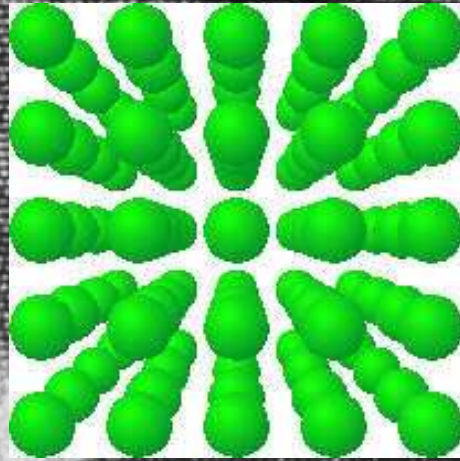
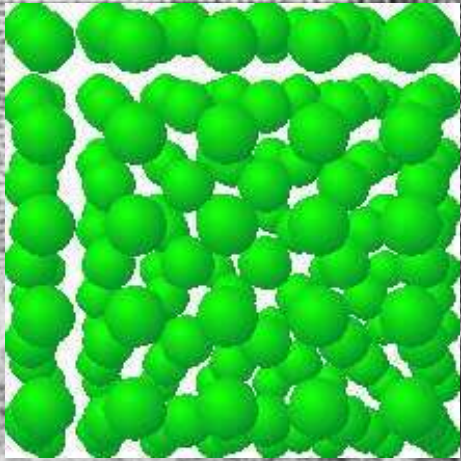
Rozlišení 0,1 nm



obraz atomů (uzlových bodů) v krystalických mřížkách (atomární rozlišení)

10nm

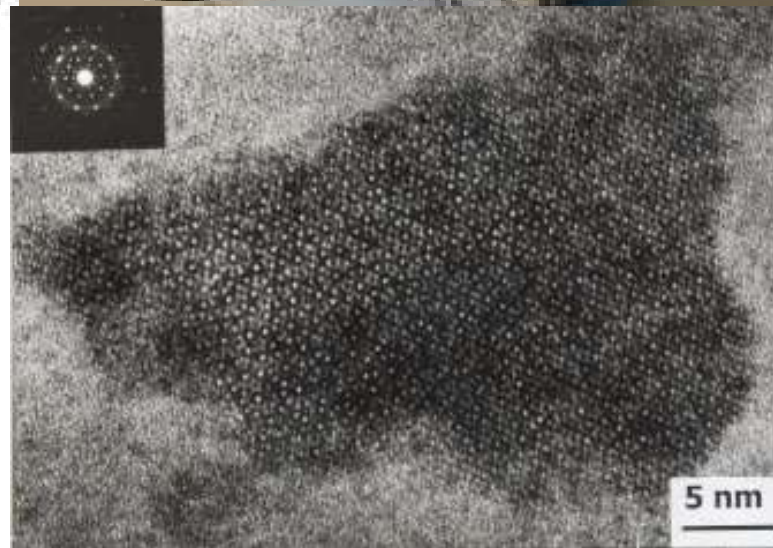
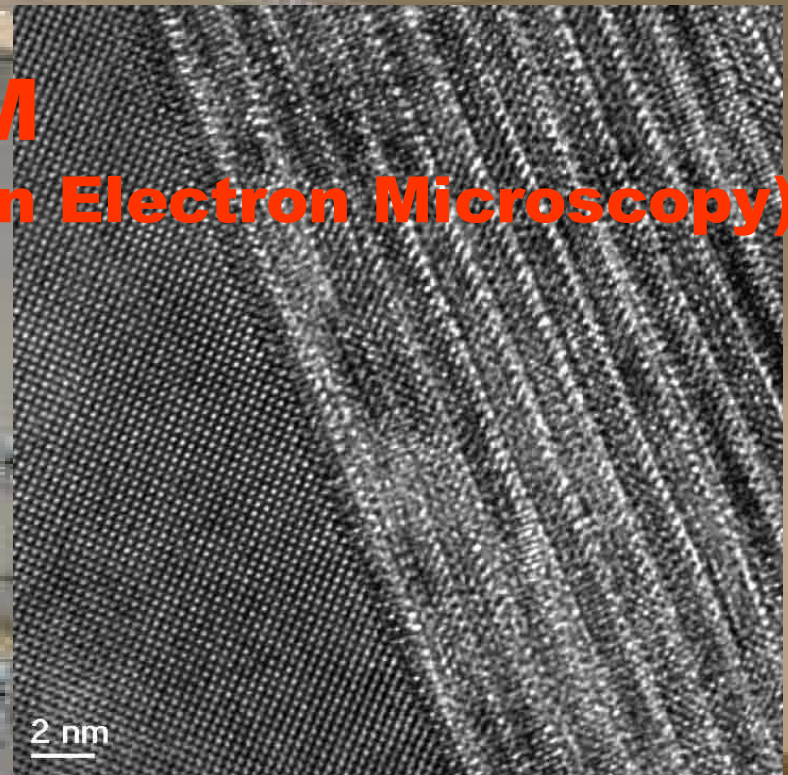
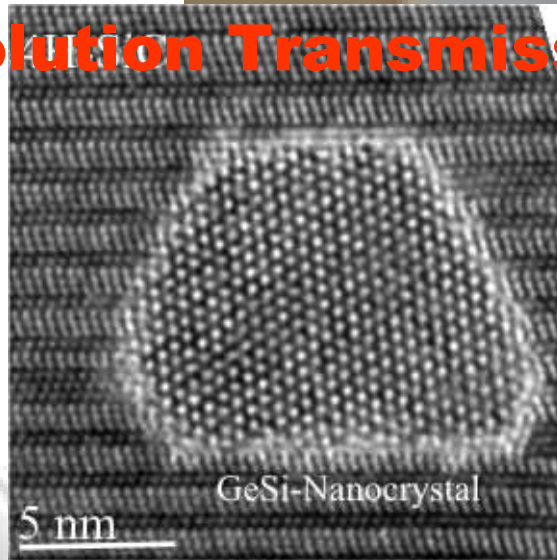
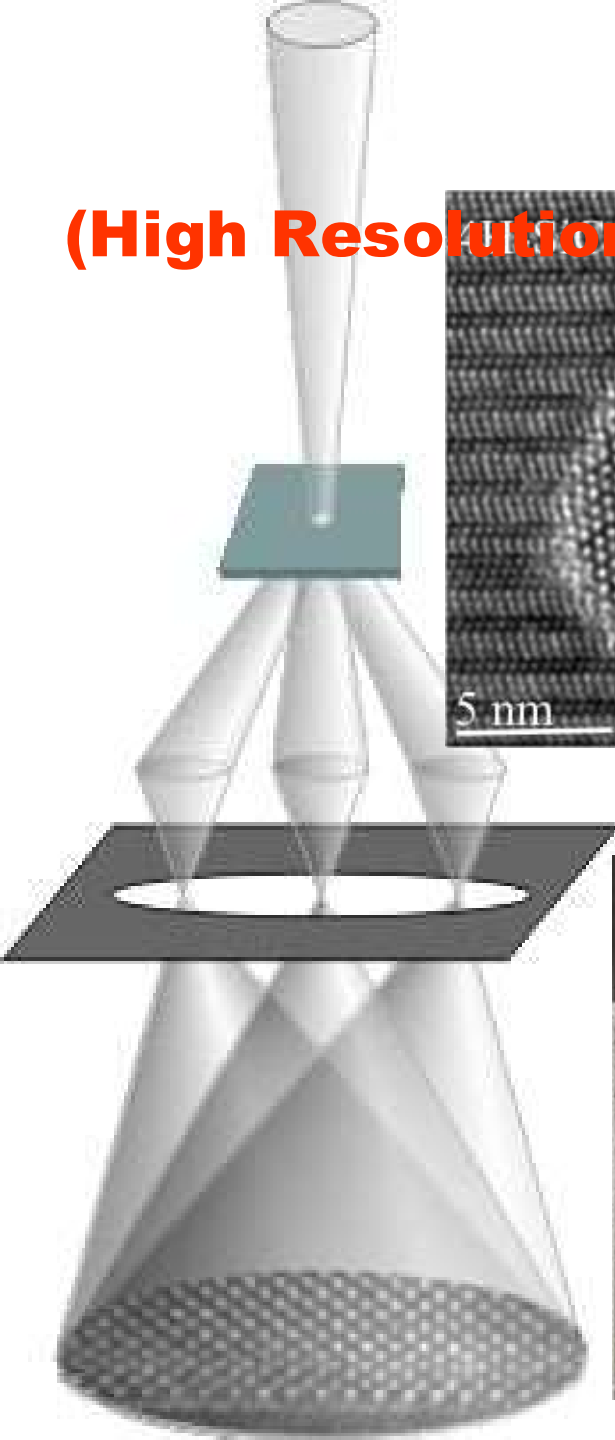
difrakční obraz elektronů



Disordered stacking in La-Si-Y-oxynitride
200kV
TWIN

HRTEM

(High Resolution Transmission Electron Microscopy)



Mikroskopie skenující sondou

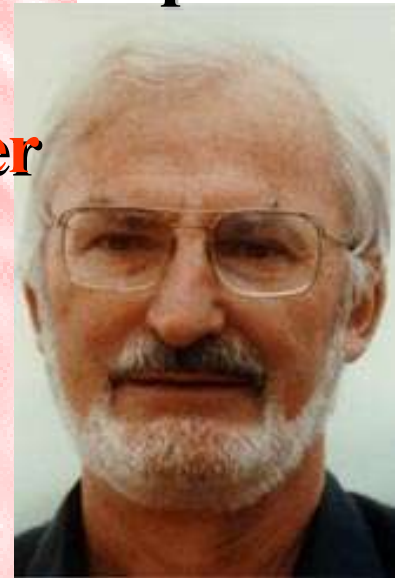
SPM – Scanning Probe Microscopy

1981 – STM – Skenovací tunelovací mikroskopie



Gerd Binnig

Heinrich Rohrer

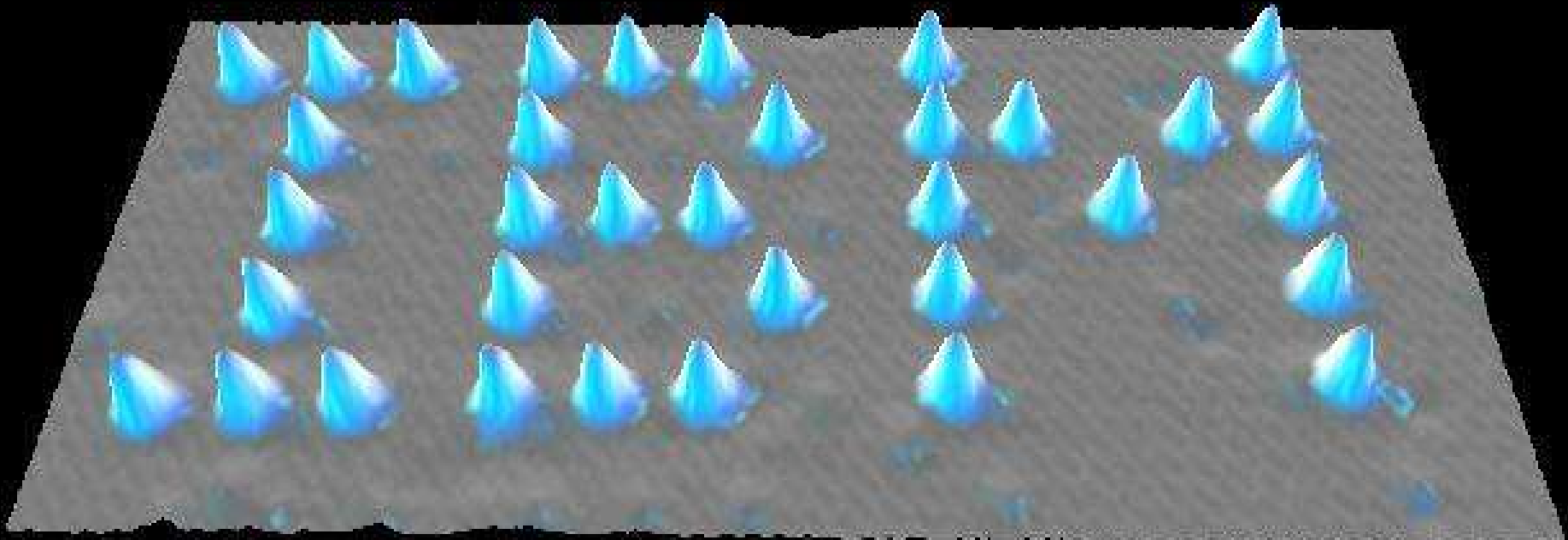


1986 Nobelova cena

1986 – AFM (Atomic Force
Microscopy)

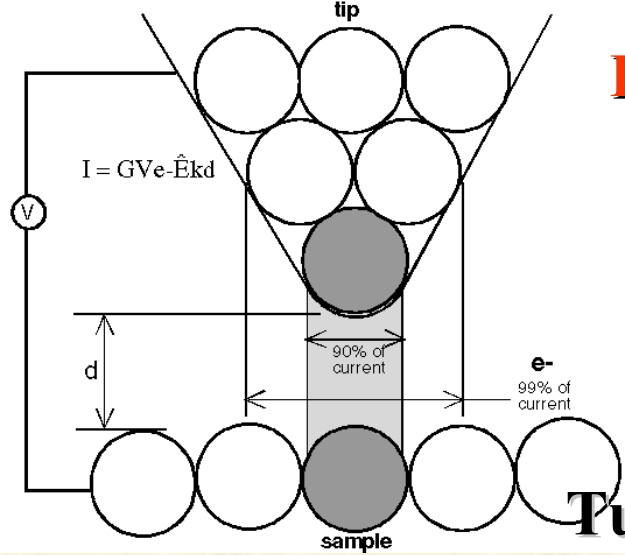
Mikroskopie atomárních sil

Feynmanovi začalo být dáváno za pravdu r.1990



**Vědečtí pracovníci laboratoří IBM „napsali“ pomocí
STM logo své firmy 35 atomy Xe na Ni podložce**

Rastrovací tunelovací mikroskopie



Podmínka: ostrý vodivý hrot a vodivý vzorek

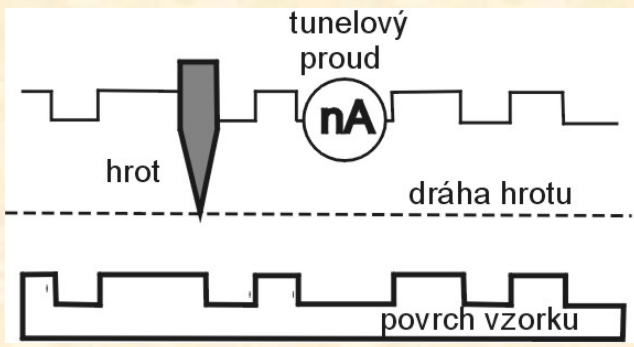
Pravděpodobnost průchodu energetickou bariérou (tunelování)

$$P \approx e^{-\frac{2}{\hbar} \int_0^d \sqrt{2m[U(x) - E]} dx}$$

Tunelovací proud

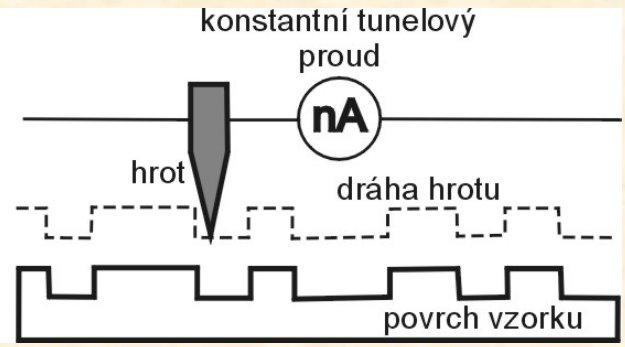
$$I = a \cdot U \cdot e^{-b \cdot \phi^{\frac{1}{2}} \cdot d}$$

obraz povrchu je dán rozložením vlnové funkce atomů



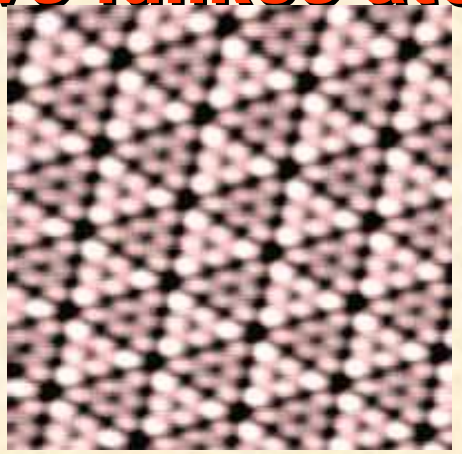
Režim konstantní výšky

- rychlejší
- vhodný pro hladké povrchy



Režim konstantního proudu

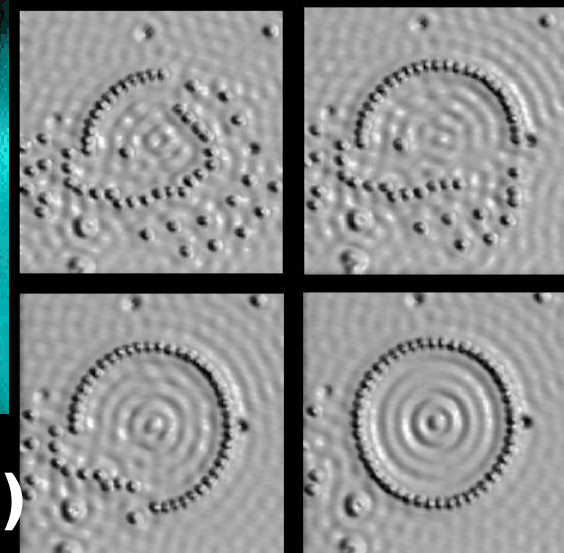
- časově náročnější měření
- přesnější pro členité povrchy



Si (111), 10x10 nm

Adsorbované atomy můžeme hrotem STM umístit na zvolené místo a ovlivnit tak povrchovou hustotu elektronů (potenciálová jáma ve formě kruhu \varnothing 12,4 nm).

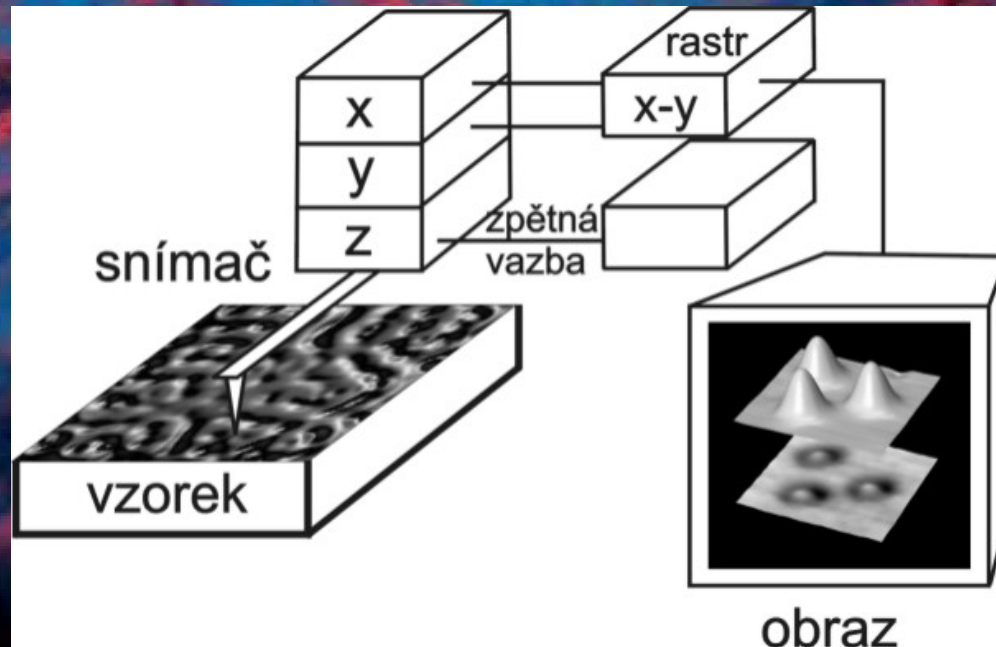
Interferencí elektronových vln vzniknou soustředné kruhy elektronové hustoty



Kvantová ohrádka (48 atomů Fe na Cu)

Princip mikroskopických technik využívajících skenující sondy

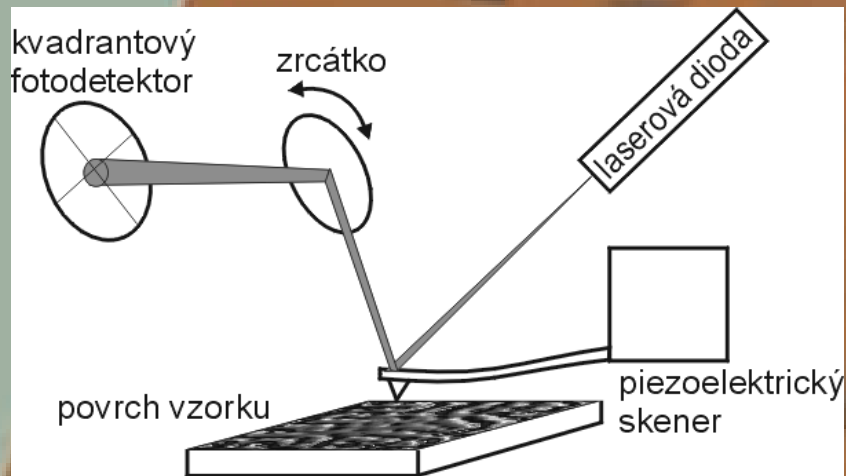
- umístění mechanické sondy do blízkosti povrchu vzorku
- řízení pohybu ve směru $x - y, z$ signálem zpětné vazby piezoelektricky (rozlišení 10^{-10} m)



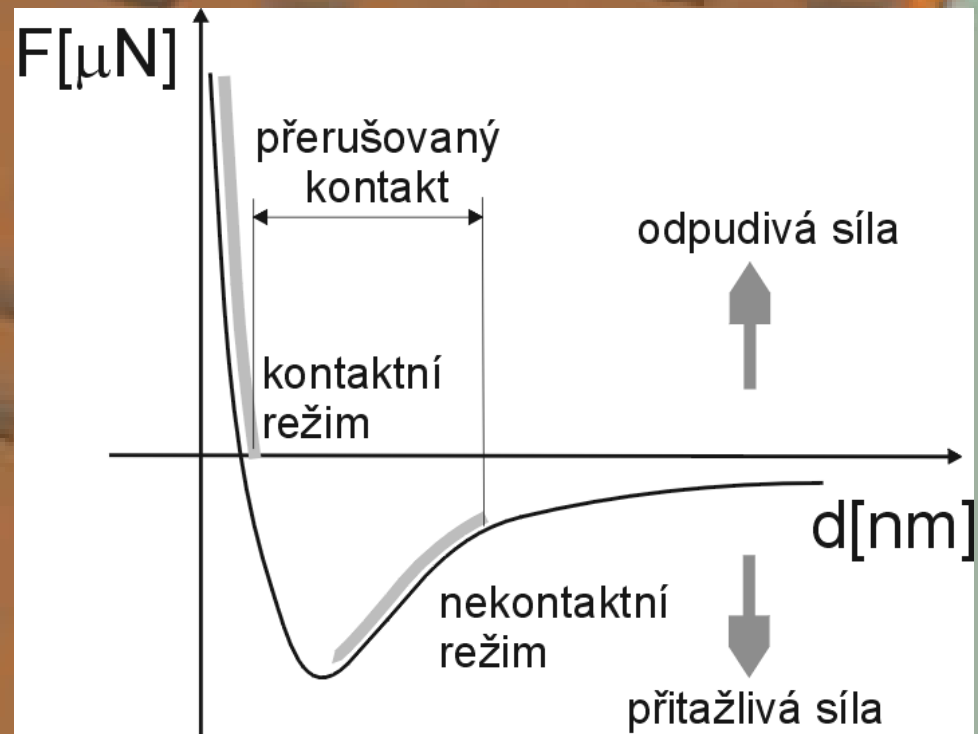
Mikroskopie atomárních sil (AFM)

mapování atomárních sil

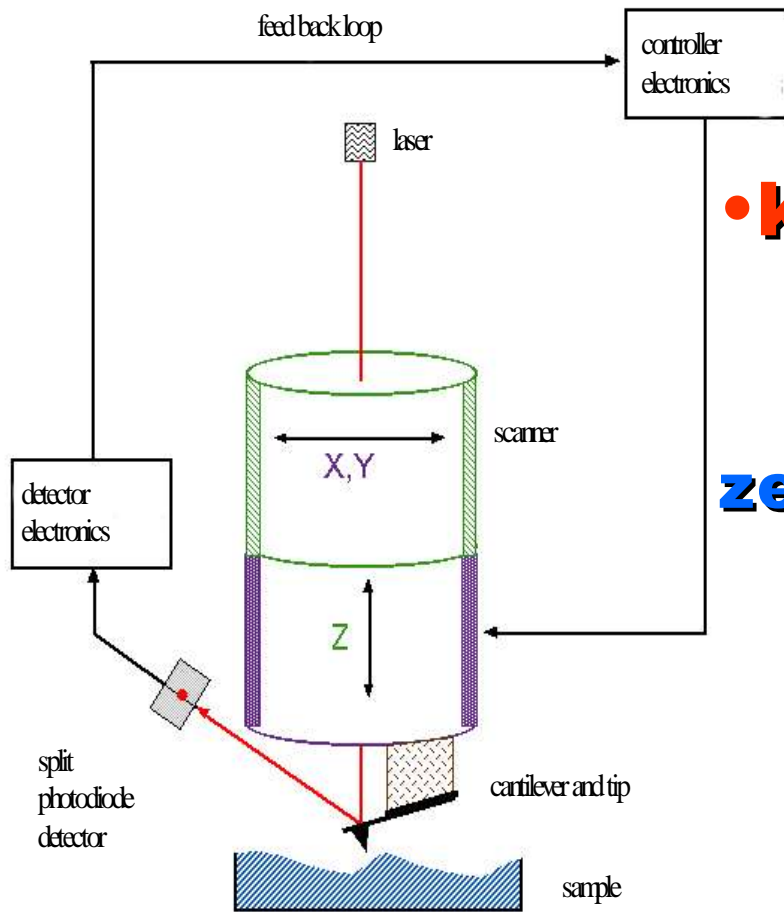
- **odpudivé síly elektrostatické (Pauliho)**
- **přitažlivé síly Van der Waalsovy**



nejčastější způsob detekce



graf závislosti celkové síly na hrot



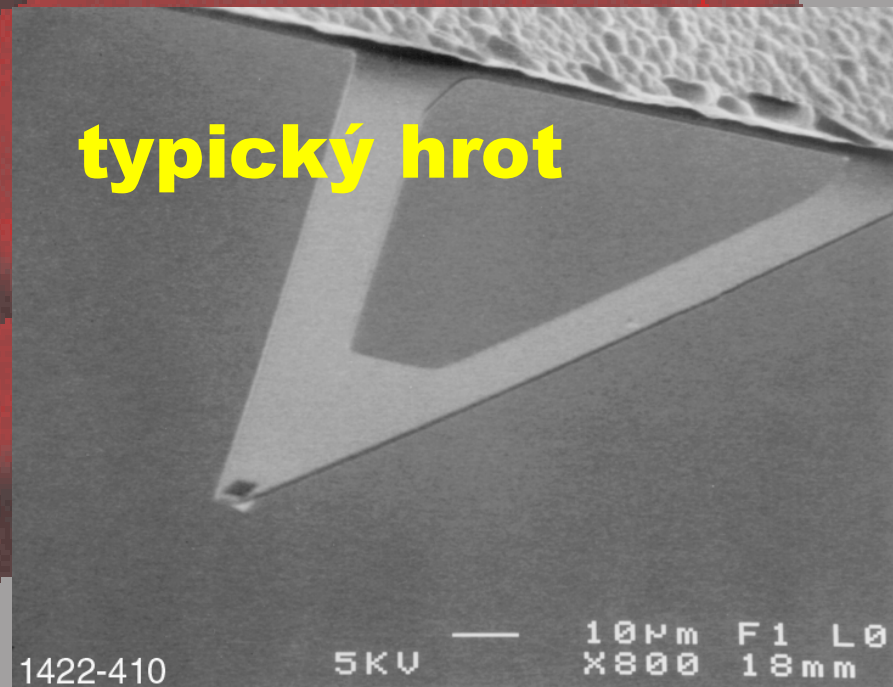
• kontaktní režim

$F \approx 10^{-7} \text{ N}$ – režim konstantní síly
 $d \approx 1 \text{ nm}$

zejména vhodné pro tuhé vzorky

**Schéma detekce
v kontaktním režimu**

typický hrot



- **nekontaktní režim**

- **pokleповý režim**

$F_w \approx 10^{-12}$ N, $d \approx 100$ nm,

raménko kmitá s $f_r \approx 200$ -400 kHz

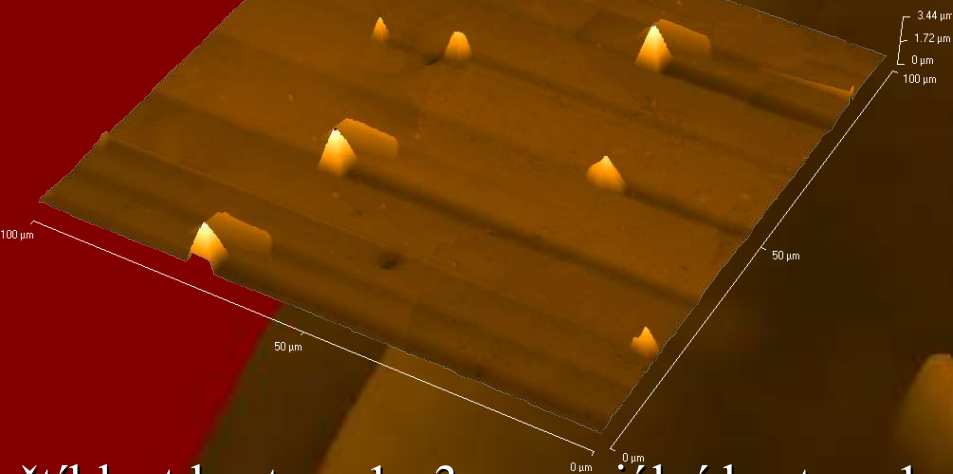
**typický hrot
s poloměrem 5 až 10 nm**



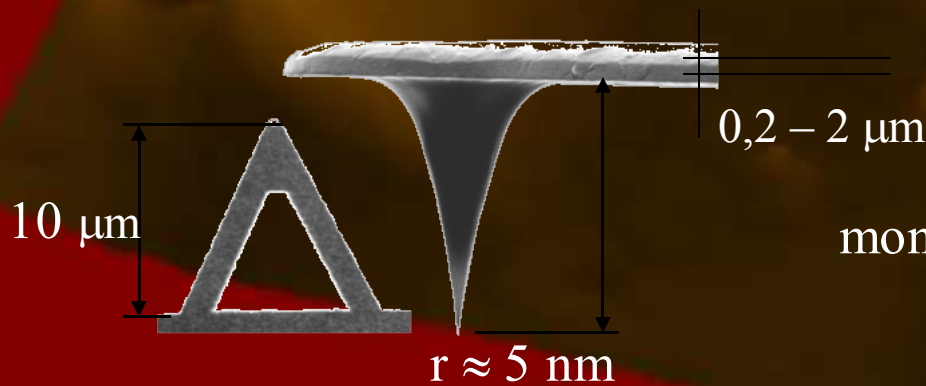
x300 0004 25kV 100µm

- měkké, pružné (biologické) vzorky

Rozlišovací mez AFM daná štíhlostí hrotu



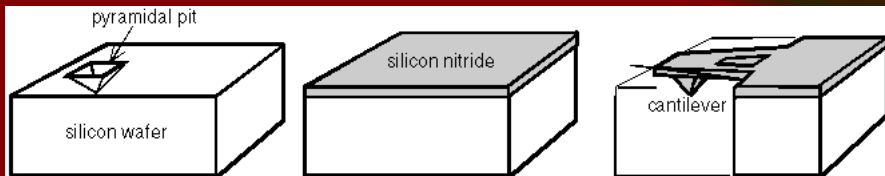
štíhlost hrotu – 1 : 3 speciální hroty – 1 : 10
(schopnost zobrazit ostré hrany a hluboké zářezy)



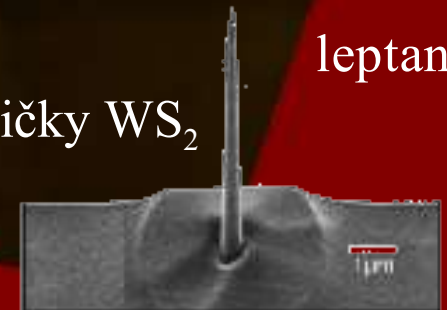
monokrystal Si hrot – Si_3N_4



leptaný hrot



nanotrubičky WS_2



Držadlo

CCD kamera

AFM Explorer

Piezokeramika pro posun v ose x a y

Stavění nožiček

Žárovka

Nastavení zrcadla

Šrouby k nastavení laseru

pohled zespodu

Manžička stavitelná krokovým motorem

Držák hrotu

Piezokeramika pro pohyb v ose z

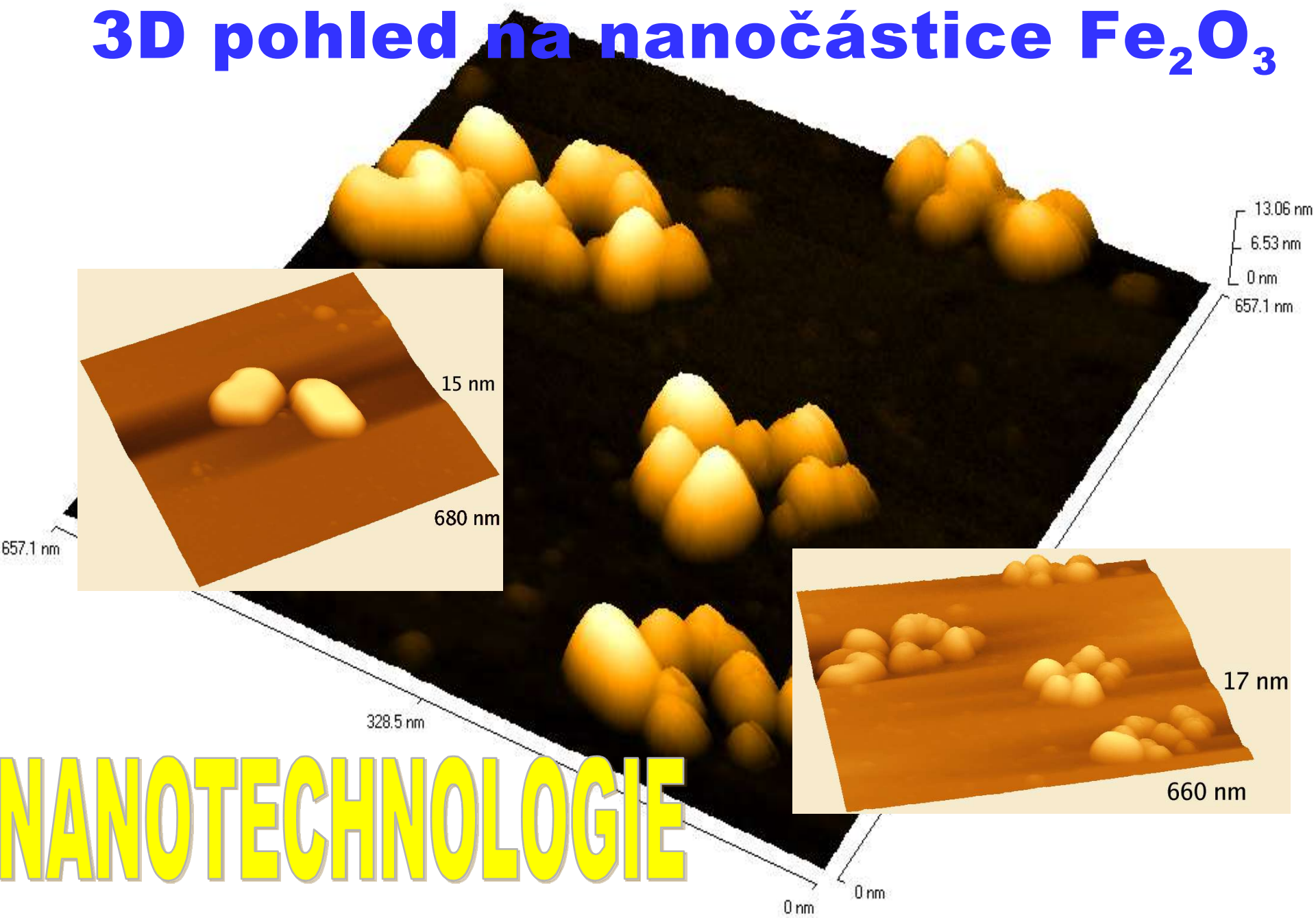
Ručně stavitelné nožičky



DANGER
LASER LIGHT
AVOID DIRECT EYE
EXPOSURE
3 mW max
670 nm
CLASS IIIa LASER PRODUCT



3D pohled na nanočástice Fe_2O_3



NANOTECHNOLOGIE

FULLERENS

V dalších letech se přidaly další závažné objevy:

Bucky-boles

byly sestaveny první uhlíkové nanotrubičky a demonstrováno vedení elektrického proudu jednou molekulou.



Fullerè C20



Fullerè C60 ("Futbolè")

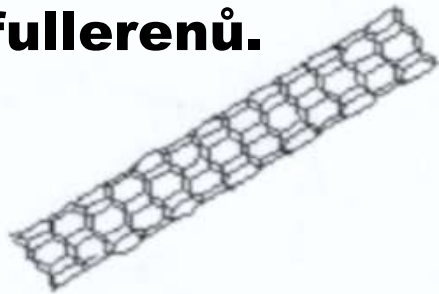


Fullerè C70

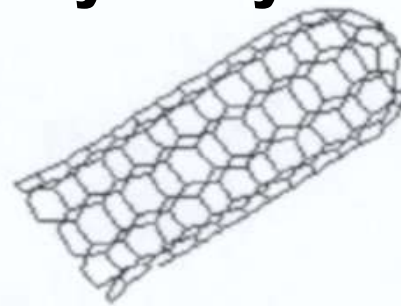
V laboratořích velkých amerických společností a univerzit se podařilo sestavit první nanomechanismy:

- osičky deset tisíckrát tenčí než lidský vlas,
- neviditelná molekulová ložiska s ultranízkým třením,
- první nanotranzistory využívající výhodných vlastností fullerenů.

Bucky-tubs



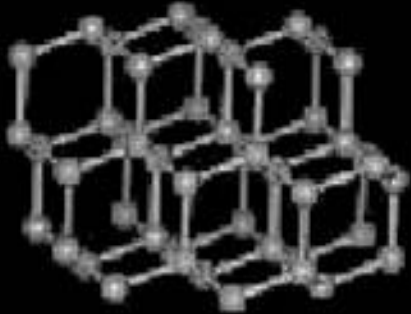
Bucky-tub



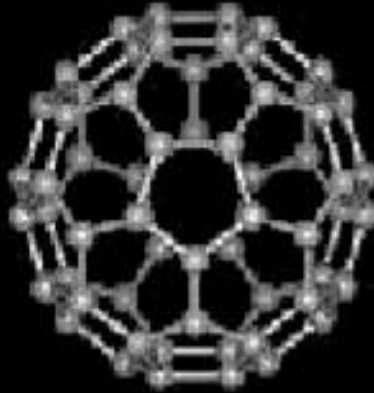
Fibres fullerèriques

NANOTECHNOLOGIE

Třetí forma čistého uhlíku - fullereny



Diamond

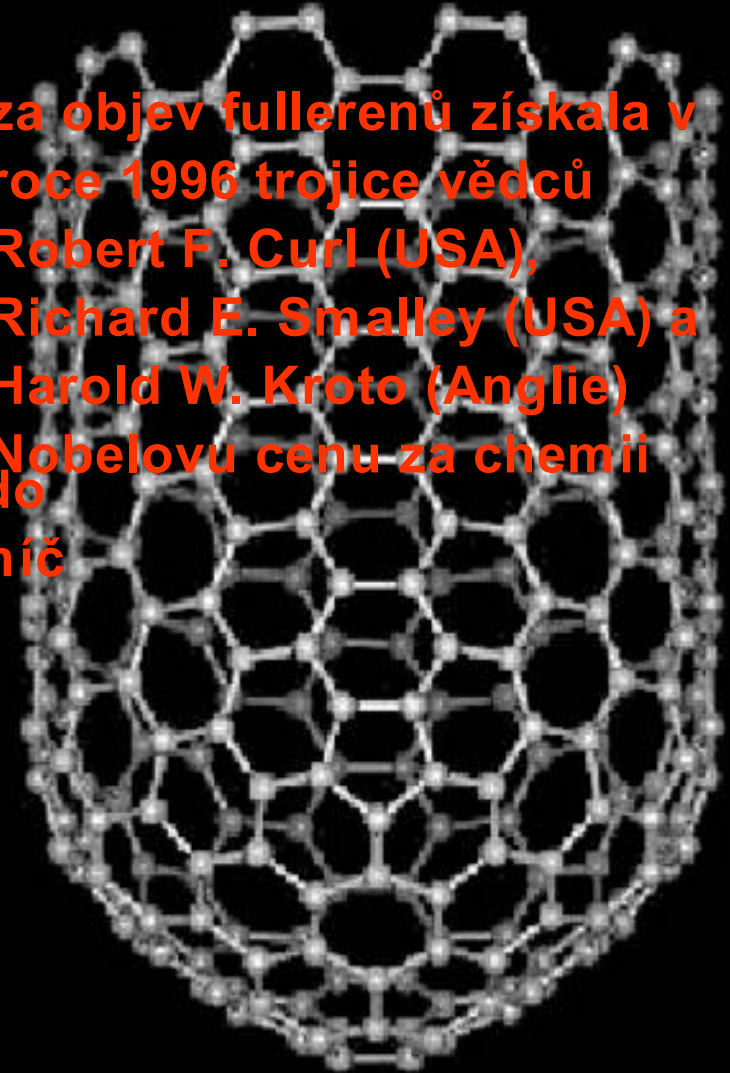


C₆₀

Buckyball

šedesát atomů uhlíku uspořádáno do stejného vzoru, jaký má fotbalový míč
Název získal na počest amerického architekta R. Buckminstera Fullera, autora geodetické kopule.

za objev fullerenů získala v roce 1996 trojice vědců Robert F. Curl (USA), Richard E. Smalley (USA) a Harold W. Kroto (Anglie) Nobelovu cenu za chemii



Graphite

Nanotube

NANOTECHNOLOGIE



Pozoruhodné fyzikální vlastnosti fullerenu

Na jejich základě je možné vytvořit nejpevnější materiál, jaký kdy existoval. mnohem pevnější než ocel, při nepatrné hmotnosti.

Je nepochybné, že tyto superpevné a superlehké materiály výrazně zasáhnou do všech oblastí technologií budoucnosti: neobejde se bez nich automobilový průmysl, letectví, stavebnictví, medicína a řada dalších oborů

NANOTECHNOLOGIE

Nanomotorky

4. 7. 2002 vědci z univerzity v Mnichově uvedli do chodu mechanismus sestávající z jediné molekuly, roztáčený světlem.

Konstrukčním materiálem nanomotoru se stal syntetický polymer azobenzenu, jehož molekula obsahuje pár dusíkových atomů s benzenovým jádrem navázaným na každé straně.

Dusíkový můstek mezi jádry je zkroucený, ale jakmile na něj začne působit světlo určité vlnové délky, narovná se, a tím prodlouží molekulu.

Pomocí světla o $\lambda = 420$ nanometrů vědci molekulu natáhli.

Následně použili UV záření o $\lambda = 350$ nm, kterým dosáhli zkrácení molekuly zhruba o pět procent. Bylo tak dokázáno, že lze opakovaně přepínat mezi zkráceným a prodlouženým stavem.

Nanomotorky-výkon



Nanomotorek podává velmi nízký výkon: při každém taktu se vyvine práce jen $4,5 \times 10^{-20}$ J.

Jednomolekulový mechanismus se přesto může uplatnit v měřítcích nanosvěta - dala by se jím například pohánět miniaturní čerpadla v budoucích tělových implantátech.

Světlo bude pravděpodobně tím nejvhodnějším pohonným zdrojem takového motoru, který se obejde se bez nepraktické kabeláže.

Doposud však výkon takového nanomotoru nebyl použit k pohonu nějakého nanostroje. Jde o první ukázkou světlem řízeného mechanického pohybu v systému tvořeném jedinou molekulou.

NANOTECHNOLOGIE

Současná situace

Použití nanoprášků:

- TiO_2 , ZrO_2 – kosmetika (krémy na obličej, opalovací krémy), separace tekutin, čištění odpadních tekutin (zachycování těžkých kovů i bioorganismů).
- Nanočástice Al, Hf pro pohon raket (lepší hoření a vznícení částic).
- Fe_2O_3 – (hematit) základ červených barev, markry pro MRI.
- TiO_2 – laky s reflexními vlastnostmi.
- Nanostrukturní otěruvzdorné povlaky rezných nástrojů, korozivzdornost.
- Povrchové filmy z nanočástic, na kterých se nadržívá voda ani špína.

Informační technologie - nanoelektronika

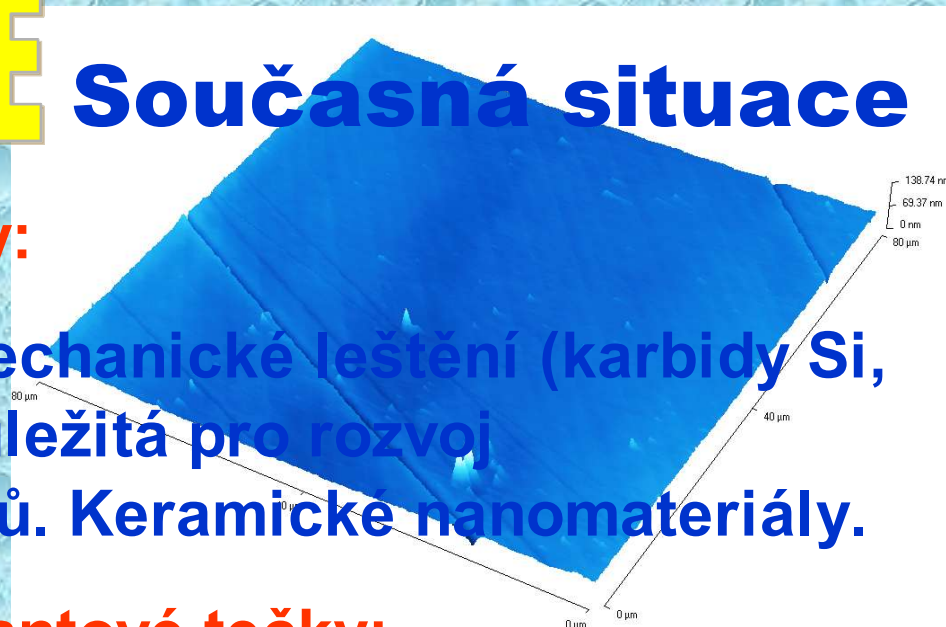
- Depozice vrstevných struktur o tloušťce několik atomů (1 nm) - (výroba menších, rychlejších a energeticky účinnějších tranzistorů).
- Čtecí hlavy standardních harddisků využívají díky vrstevnatým heterostrukturám velkého magnetického odporu, což zvyšuje paměťovou kapacitu (snižuje cenu).

NANOTECHNOLOGIE

Současná situace

Technologie optické výroby:

- Nanočástice pro chemomechanické leštění (karbidy Si, C, B) – „drsnost“ 1-2 nm důležitá pro rozvoj optoelektronických systémů. Keramické nanomateriály.



Polovodičové krystaly – kvantové tečky:

- Výzkumy fotonických krystalů (fotonických prvků), které v nanorozměrech zvyšují výkonnost komunikačních sítí.
- Kvantová tečka po osvětlení vydává světlo specifické barvy v závislosti na svých rozměrech (možnost sledování biologických reakcí v organismu, testování DNA a protilátek).

NANOTECHNOLOGIE **Současná situace**

V oblasti biomedicíny:

- Nově strukturované struktury-liposomy (lipidové koule o $d=100$ nm) –cílená distribuce léčiv (zapouzdření protirakovinných léků).
- Analýza moči, krve a jiných tělních tekutin pomocí magnetických nanočástic. Možnost separace škodlivých látek z krve – „dialýza v krabičce“.
- Fluorescenční nanočástice jako základ nových detekčních technologií (analýza infekčních a genetických chorob, výzkum léčiv).

NANOTECHNOLOGIE Blízká budoucnost (do r. 2006)

Oblast informačních technologií a nanoelektroniky:

Vývoj nanotranzistorů pro výrobu 10 GHz procesoru, analytický počítač pro rychlé modelování genomu.

Oblast materiálů a výroby:

Hromadný prodej uhlíkových nanotrubic, textilní látky odolávající vodě, špíně a mačkání, nové laky a barvy (odolávající ohni...), kosmetické přípravky, biosenzory, otěruvzdorné polymery,...

Oblast medicíny a farmacie:

Separace fragmentů DNA (rychlé sekvencování), senzory pro farmakogenetiku, výzkum léků,

Oblast životního prostředí a energetiky:

Využití uhlíkových nanotrubic pro uskladňování vodíku pro palivové články, odstraňování ultrajemných nečistot z biologických odpadů (jejich zapouzdřením), biodegradabilní chemické látky pro pěstitelství a ochranu proti hmyzu

Závěr

NANOTECHNOLOGIE

- Vědcům a lékařům je čím dál víc jasnější, že vstup nanotechnologií do lidského života na sebe nedá dlouho čekat.
- Prozatím se můžeme setkat hlavně s počítačovými modely.
- Molekulární motory nejsou prozatím dostatečně účinné na to, aby se daly využít k pohonu něčeho jiného než vlastního rotoru.
- K vidění jsou molekulární přepínače, které však dokážou změnit stav zatím pouze jednou.
- Možnosti budování nanostrojů v medicíně zastiňují etické překážky- Slučování lidí se stroji, „možnost nesmrtelnosti“ atd. narazí zcela jistě na nějaké náboženské názory.
- Pokroková lékařská ošetření možná díky nanotechnologii budou jen pro bohaté.
- Nanoroboti v našem těle 'zdivočí', nanozbraně budou nebezpečnější než jaderné zbraně, všemožné zásahy do soukromí apod.