



Európska únia
Európsky sociálny fond

Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Zuzana Tkáčová
Tomáš Lavický

Základy nanovedy a nanotechnológií pre učiteľov

Publikácia bola vydaná a financovaná z prostriedkov ESF
v rámci národného projektu Profesionálny a kariérový rast
pedagogických zamestnancov.
ITMS kód projektu 26120130002
ITMS kód projektu 26140230002

2014

Základy nanovedy a nanotechnológií pre učiteľov

Zuzana TKÁČOVÁ

Tomáš LAVICKÝ

Názov: **Základy nanovedy a nanotechnológií pre učiteľov**

Autori: Ing. Zuzana Tkáčová
RNDr. Tomáš Lavický, PhD.

Recenzenti: prof. Ing. Július Cirák, CSc.
Ing. Marian Vojs, PhD.

Vydavateľ: Metodicko-pedagogické centrum v Bratislave

Odborná redaktorka: Mgr. Terézia Peciarová

Grafická úprava: Ing. Monika Chovancová

Vydanie: 1.

Rok vydania: 2014

Počet strán: 58

ISBN **978-80-8052-761-7**

OBSAH

Úvod	5
1/ Nanoveda	6
1.1 Nanosvet	6
1.2 Prírodné inšpirácie	10
1.3 Nanohistória	13
1.4 Nástroje na skúmanie nanosveta	19
2/ Nanotechnológie	24
2.1 Základné technologické postupy	24
2.2 Nanomateriály	28
2.2.1 „Extrémne“ materiály	28
2.2.2 „Smart“ materiály	29
2.3 Prehľad aplikačných oblastí nanotechnológií	32
2.3.1 Nanomedicína	32
2.3.2 Nanoelektronika	36
2.3.3 Nano okolo nás	39
2.4 Etické, legálne a sociálne aspekty využívania nanotechnológií	42
3/ Didaktické prístupy k začleňovaniu problematiky nanovedy a nanotechnológií do vyučovania	45
Záver	54
Zoznam bibliografických odkazov	55
Prílohy	57

Úvod

Nanoveda je veda veľmi malých vecí. Venuje sa zhľukom atómov a molekúl zhromažďujúcich sa do nanomateriálov, ktoré majú aspoň jeden svoj rozmer menší ako 100 nm. Nanoveda je zároveň štúdiom materiálov, ktoré pre svoje malé rozmery prejavujú pozoruhodné vlastnosti, funkčnosť a javy. Ten istý materiál v nanorozmere môže mať vlastnosti, ktoré sú veľmi odlišné (alebo dokonca opačné) v porovnaní s vlastnosťami, ktoré tento materiál má, keď je na makroúrovni.

Nanotechnológiu potom môžeme definovať ako „inžinierstvo vo veľmi malej mierke“ a tento termín môžeme uplatniť v mnohých oblastiach výskumu a vývoja, napríklad v oblasti zdravia a medicíny, informačných a komunikačných technológií, energetiky aj životného prostredia.

Nanotechnológie už nie sú len vidinou ďalekej budúcnosti. Stretávame sa s nimi, ale často si ich neuvedomujeme. Sú súčasťou kozmetických a čistiacich prípravkov, textílií, konštrukčných materiálov či elektronických zariadení.

V základných a stredných školách sa špecificky tejto problematike prakticky nikto nevenuje, čo je spôsobené jednak absenciou učebných materiálov, jednak nedostatočnou prípravou učiteľov. Pritom je to interdisciplinárna problematika, ktorá sa prierezovo dotýka chémie, biológie, fyziky, informatiky, odborných predmetov mnohých študijných odborov, ale v neposlednom rade aj ekológie či etiky. Cieľom tohto učebného materiálu je predstaviť učiteľom rôznych predmetov základy nanovedy a nanotechnológií tak, aby si túto problematiku vedeli začleniť do svojej výučby.

V prvých dvoch kapitolách sú zhrnuté základné pojmy nanovedy a nanotechnológií, aplikačné možnosti, ako aj etické, legálne a sociálne aspekty týkajúce sa ich využívania. Tretia kapitola sa zameriava na špecifiká nanodidaktiky s ukázkami rozličných dostupných didaktických nástrojov a prístupov.

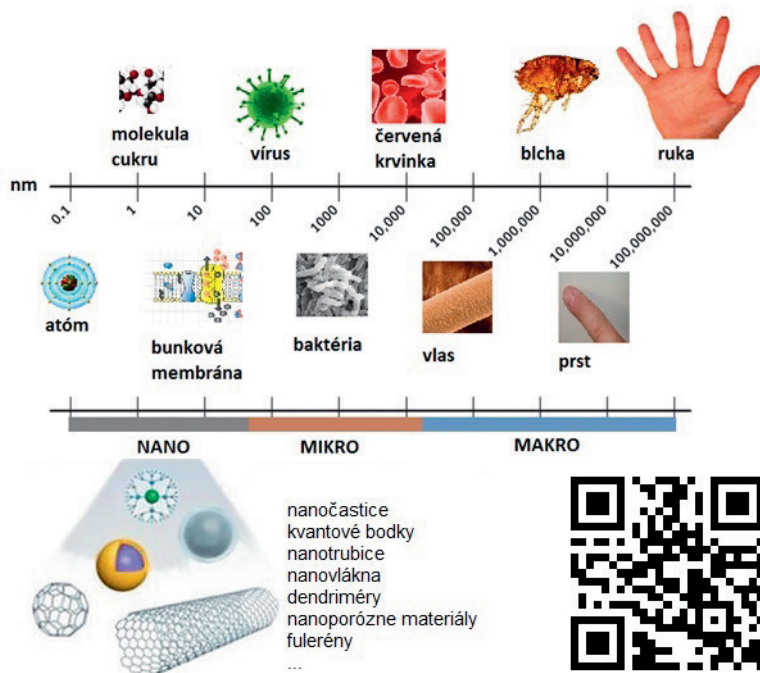
Celý učebný materiál je spracovaný aktívne a interaktívne – v nadväznosti na prezentovanú tému sú doň začlenené jednoduché bádateľské aktivity, experimenty, pozorovania alebo počítačové simulácie, prípadne sprievodné videá formou QR kódov (kompletný zoznam všetkých videí s internetovými odkazmi je uvedený v prílohe).

Veríme, že učitelia po jeho prečítaní nadobudnú presvedčenie a nájdú inšpiráciu, ako vyučovať problematiku nanovedy a nanotechnológií pútavou a atraktívnou formou s využitím hier, pokusov či multimédií aj v podmienkach bežnej triedy bez nárokov na špeciálne materiálne a finančne náročné vybavenie.

1/ Nanoveda

1.1 Nanosvet

Nanoveda sa zaoberá štúdiom objektov, zhlukom atómov a molekúl, ktorých aspoň jeden rozmer sa nachádza v rozmedzí jedného až niekoľkých stoviek nanometrov, teda v **nanomierke** (obr. 1) [1]. Jeden **nanometer** je miliardtina metra ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Objekt veľkosti niekoľko nanometrov je v porovnaní s človekom asi taký malý, ako človek v porovnaní so Slnkom. Ešte pred niekoľkými desaťročiami predstava malých vecí bola často stotožňovaná s mikroobjektami – „mikro“ bolo trendom. Mali sme mikroskopy, mikroorganizmy, mikrofóny, mikrovlny, mikroprocesory. Technológie boli limitované zobrazovacími a výrobnými postupmi, ktoré umožňovali pracovať len so štruktúrami s najmenšími rozmermi niekoľko mikrometrov, teda 10^{-6} m .



Obr. 1 Makroobjekty, mikroobjekty, nanoobjekty

Aktivita „Papierová“ mierka

Na získanie predstavy o približnej mierke objektov môžeme použiť jednoduchý matematický experiment. Ak odmeriame hrúbku balíka kancelárskeho papiera (500 ks), môžeme určiť hrúbku jedného listu papiera

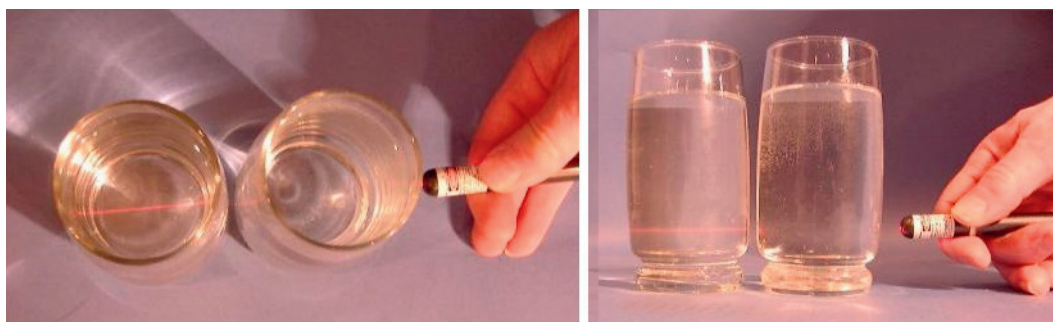
– pri hrúbke balíka 6 cm bude hrúbka listu 0,012 cm, teda 0,12 mm alebo 120 μm . Aby sme získali papier s hrúbkou niekoľko nanometrov, museli by sme list papiera ešte ďalej rozrezať po hrúbke na ďalších 1 000 (!) ultratenkých listov.

Ak si chceme vizualizovať mierku 1 : 1 000 000 000, vezmeme jeden list papiera a miliardu listov papiera: 500 ks papiera má hrúbku 6 cm, 1 000 ks bude mať hrúbku 12 cm, 1 000 000 ks bude mať hrúbku 12 000 cm, teda 120 m a napokon 1 000 000 000 ks papiera bude mať hrúbku 120 000 m, teda 120 km, čo je približne cestná vzdialenosť z Košíc do Popradu (!).

Vedci však už po stáročia boli presvedčení, že najmenšou časťou každej látky je **atóm**. Dnes vieme, že atómy sú utvorené z ešte menších častíc a ich počet a rozmiestnenie určuje, či ide o atóm kyslíka, uhlíka, zlata alebo akéhokoľvek iného prvku. Každý prvok, ktorý poznáme, zaraďujeme podľa vlastností jeho atómov do periodickej tabuľky. Prvky sú zoradené do riadkov a stĺpcov na základe opakujúcich sa zákonitostí v ich stavbe a vlastnostiach. V súčasnosti je známych viac ako 100 rôznych prvkov. Mnohé z nich sa prirodzene vyskytujú vo vesmíre, niektoré však boli vytvorené umelo. Rozmery jednotlivých atómov sú niekoľko angströmov, resp. niekoľko desiatín nanometra ($1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$). A práve priestor medzi atómami a mikroobjektami vyplní **nanosvet** – svet veľmi zvláštnych, malých štruktúr s rozmanitými tvarmi a podivuhodnými vlastnosťami. Môžu to byť prírodné alebo umelo vytvorené **nanobjekty**, ktoré sú pre nás síce voľným okom neviditeľné, no niektoré ich vlastnosti môžeme sledovať, ovplyvňovať a aj využívať v makrosvete.

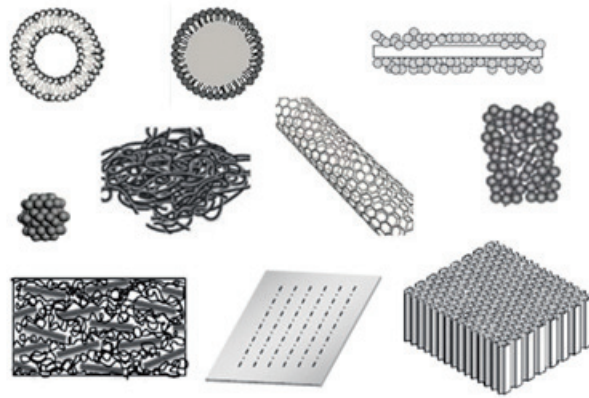
Aktivita Tyndallov jav (obr. 2)

Pripravíme si dve nádoby. Do jednej nalejeme vodu, do druhej koloidný roztok, napr. mlieko zriedené s vodou alebo hotový roztok koloidného striebra zakúpený v lekární. Experiment robíme pomocou laserového lúča – v pohári s vodou ho nevidno, no v pohári s koloidným roztokom je zreteľne viditeľný, pretože dochádza k rozptylu svetla na drobných čiastočkách obsiahnutých v koloide.



Obr. 2 Tyndallov jav

Nanobjekty existujú v rôznych tvaroch, formách a podobách (obr. 3). Môžu to byť nanopeny, nanopovlaky, nanočastice, nanorúrky, nanovlákná, nanoporézne materiály, rôzne nanoštruktúrované objekty, prípadne môžu byť súčasťou iných materiálov, s ktorými vytvárajú nanokompozitné materiály ponúkajúce nové možnosti a kombinácie vlastností.



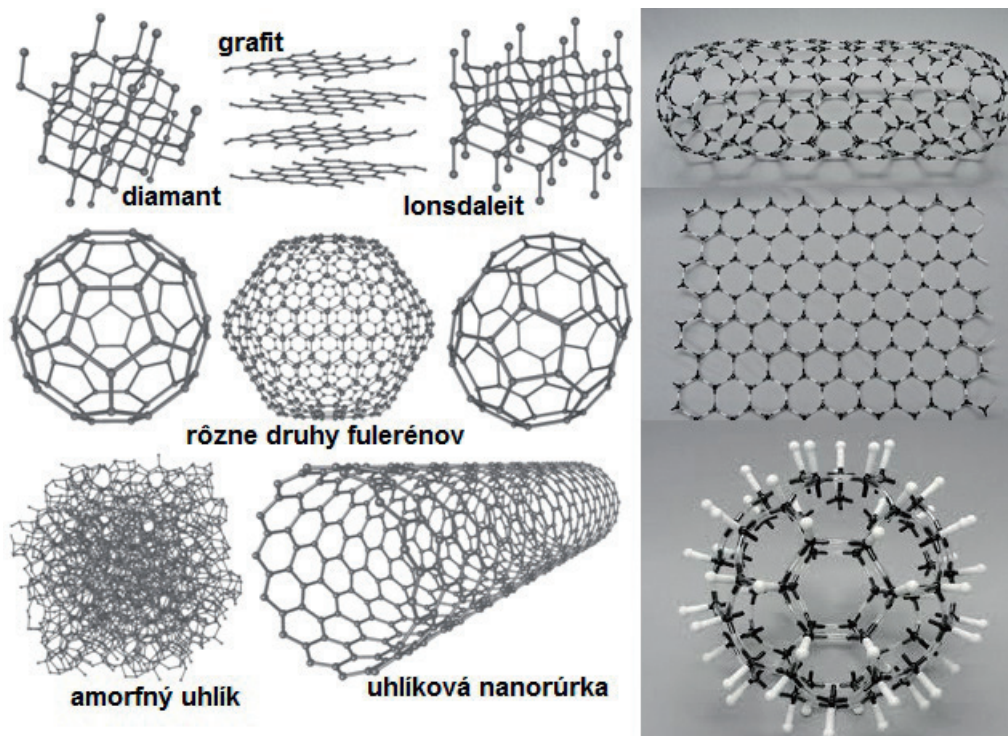
Obr. 3 Rôzne podoby nanomateriálov

Aktivita Uhlíkové materiály (obr. 4)

Dokonca aj z atómov toho istého prvku môžeme vytvoriť pomocou rôznych chemických väzieb a procesov rozmanité nanomateriály. Prakticky to môžeme predviesť pomocou molekulárnych stavebníc, čím vytvoríme 3D modely, ktoré nám neskôr poslúžia ako názorné pomôcky.

Určite je vhodné pripraviť si model fullerénu, uhlíkovej nanorúrky, či niekoľko vrstiev grafénu. Štruktúra nanomateriálov ovplyvňuje aj ich mechanické a elektrické vlastnosti. Prírodný grafit je tvorený navrstvenými grafénovými plátmi a predstavuje veľmi krehký materiál s výbornou elektrickou vodivosťou.

Uhlíkové nanorúrky sú ako stočené grafénové pláty, avšak 100x pevnejšie a 6x ľahšie ako oceľ, pričom môžu byť elektricky vodivé alebo aj polovodivé.



Obr. 4 Uhlíkové materiály a ich modely

Nanomateriály nie je možné vnímať len ako zmenšeniny materiálov, ktoré poznáme z makrosveta – nano je jednoducho *iné*. Ten istý materiál v nanomierke môže mať vlastnosti, ktoré sú veľmi odlišné (alebo aj opačné!) v porovnaní s vlastnosťami materiálu na makroúrovni.

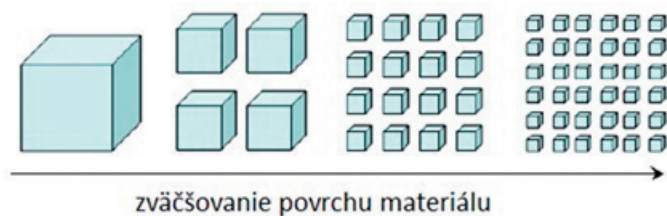
Aktivita Horiaca oceľ (obr. 5)

Môže oceľ horieť? Áno! Veľmi jemná oceľová vlna (s priemerom niekoľko tisíc nm) sa dokonca používa ako zapaľovač – horí, aj keď je mokrá a na zapálenie postačí jediná iskra. Na experiment postačí malý kúsok jemnej oceľovej vlny typu 0000, ktorú je možné zakúpiť si v umeleckých potrebách (používa sa na čistenie hudobných nástrojov), príp. na internete. Oceľová vlna horí dosť búrlivo a vyletujú z nej do okolia iskry, preto je dobré chytiť ju do dlhej pinzety, na stôl použiť nehorľavú podložku a experiment robiť nad miskou s vodou, v ktorej oceľovú vlnu na konci bezpečne uhasíme.



Obr. 5 Horiaca oceľová vlna

Prečo je to tak? Ak vezmeme materiál a rozdelíme ho na mnoho jednotlivých nanočastíc, celkový objem materiálu sa nezmení, avšak celková povrchová plocha je oveľa, oveľa väčšia (obr. 6). V cm^3 sa na povrchu materiálu nachádza len jeden z desiatich miliónov atómov, ale v nm^3 je na povrchu až 80 % atómov a všetky sú pripravené reagovať. Okrem zmeny reaktivity sa u nanomateriálov uplatňujú aj ďalšie, najmä kvantové procesy, ktoré majú za následok zmeny v optických, elektrických či mechanických vlastnostiach.



Dĺžka strany kocky	Povrch kocky	Počet kociek	Celková plocha povrchu
1 m	6 m^2	1	6 m^2
0,1 m	$0,06 \text{ m}^2$	1000	60 m^2
0,01 m = 1 cm	$0,0006 \text{ m}^2$	$10^6 = 1 \text{ milión}$	600 m^2
0,001 m = 1 mm	$0,000006 \text{ m}^2$	$10^9 = 1 \text{ miliarda}$	6000 m^2
$0,000000001 \text{ m} = 1 \text{ nm}$	$6 \times 10^{-18} \text{ m}^2$	10^{27}	$6 \times 10^9 \text{ m}^2 = 6000 \text{ km}^2$



Obr. 6 Geometrické dôsledky nanomierky

Aktivita Reaktivita

Pripravíme si tri rovnaké odmerné valce a nalejeme do nich po 40 ml vody. Na experiment budeme potrebovať tri rovnaké šumivé tablety – jednu z nich necháme vcelku, jednu rozdelíme na dve polovice a jednu rozdelíme na štyri štvrtiny. Odmeriame ich geometrické rozmery (polomer a hrúbku) a vypočítame celkovú povrchovú plochu v prípade celej tablety, dvoch polovičiek a štyroch štvrtiniek tabliet.

Do prvého odmerného valca vhodíme celú tabletu, do druhého dve polovičky tablety a do tretieho štyri štvrtiny tablety – sledujme čas potrebný na úplne rozpustenie tablety v odmernom valci, ako aj maximálnu výšku hladiny pri reakcii.

Na základe týchto hodnôt môžeme načrtnúť grafy závislosti celkovej povrchovej plochy a maximálnej výšky hladiny pri reakcii, resp. celkovej povrchovej plochy a času potrebného na úplné rozpustenie tablety. Výsledky tohto experimentu poukazujú na skutočnosť, že pri zväčšujúcom sa povrchu výška hladiny pri reakcii vzrastá a reakčná doba sa skraca.

1.2 Prírodné inšpirácie

V priebehu niekoľkých miliárd rokov si príroda postupne vyvinula efektívne nanoštruktúry a nanomechanizmy, ktoré sú predmetom intenzívneho záujmu vedcov [2]. Snaha pochopiť ich fungovanie a imitovať tieto prírodné princípy a koncepty pri vytváraní nových materiálov, zariadení a systémov viedla k vzniku nového vedného smeru – **nanobiomimetiky**.

Medzi najpopulárnejších „užívateľov“ prírodných nanoštruktúr určite patria gekóny a pavúky. Sú schopné chodiť po rôznych povrchoch aj hlavou nadol vďaka silám medzi atómami na povrchu steny a veľkým množstvom nanolopatiek a nanochĺpkov na ich nohách (obr. 7). U pavúkov by tieto tzv. **van der Waalove sily** uniesli pri „stáť“ na strope až 170-násobok ich vlastnej hmotnosti, a to za použitia 600 000 nanochĺpkov.



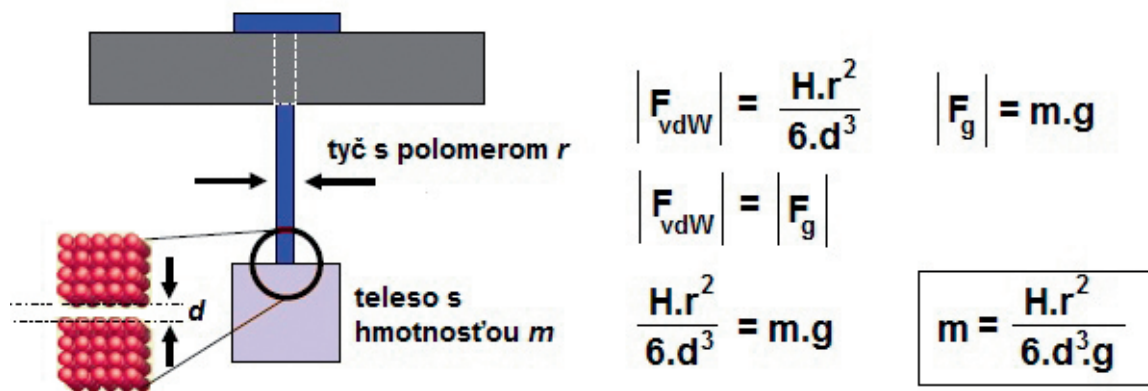
Obr. 7 Nanolopatky na nohách gekónov

Aktivita Van der Waalove sily (obr. 8)

Van der Waalove sily [3] zaraďujeme k silám uplatňujúcim sa pri interakcii objektov na molekulárnej úrovni, teda len pri veľmi malých vzdialenostiach medzi objektmi ($\sim 10^{-9}$ nm). Aby sme získali predstavu

o ich veľkosti, uvažujme ukotvenú tyč s polomerom $r = 1 \text{ cm}$, na ktorej je zo spodnej strany pomocou van der Waalových síl prichytené teleso s hmotnosťou m . Na výpočet jeho hmotnosti použijeme podmienku rovnováhy van der Waalových síl a gravitačnej sily.

Po dosadení hodnôt gravitačnej konštanty $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, atomárnej vzdialenosti $d \sim 0,3\cdot 10^{-9} \text{ m}$ (t. j. približná vzdialenosť stredov dvoch susediacich atómov pri kontakte dvoch plôch) a hodnoty Hamakerovej konštanty $H \sim 1\cdot 10^{-9} \text{ J}$ (t. j. konštanty vyjadrujúcej vzájomnú interakciu dvoch materiálov vo vákuu; bežne sa jej hodnoty pohybujú podľa druhu materiálov v rozmedzí $0,4$ až $4\cdot 10^{-9} \text{ J}$) dostaneme hmotnosť $6\ 300 \text{ kg}$. Kde je problém? V reálnom svete nie je možné zabezpečiť atomárne rovné, bezchybné povrchy, ktoré by interagovali – väčšina povrchov je rôzne drsná, obsahuje zoxidované časti či nečistoty z prostredia, ktoré zväčšujú skutočnú vzdialenosť d medzi povrchmi, čím dramaticky znižujú účinok van der Waalových síl. Pri objektoch veľkosti niekoľko nanometrov však dochádza k interakciám na atomárnej úrovni veľmi často. Na druhej strane, ak by sme k našej tyči s polomerom 1 cm priložili napríklad teleso s hmotnosťou $5\ 000 \text{ kg}$, účinok van der Waalových síl by ho k tyči perfektne „prilepil“ a na oddelenie telesa by sme museli vynaložiť obrovskú silu. Ak by teda pavúcie nanochĺpky mali väčšiu kontaktnú plochu, pavúk by sa k podložke taktiež prilepil a nebol by schopný efektívneho pohybu.

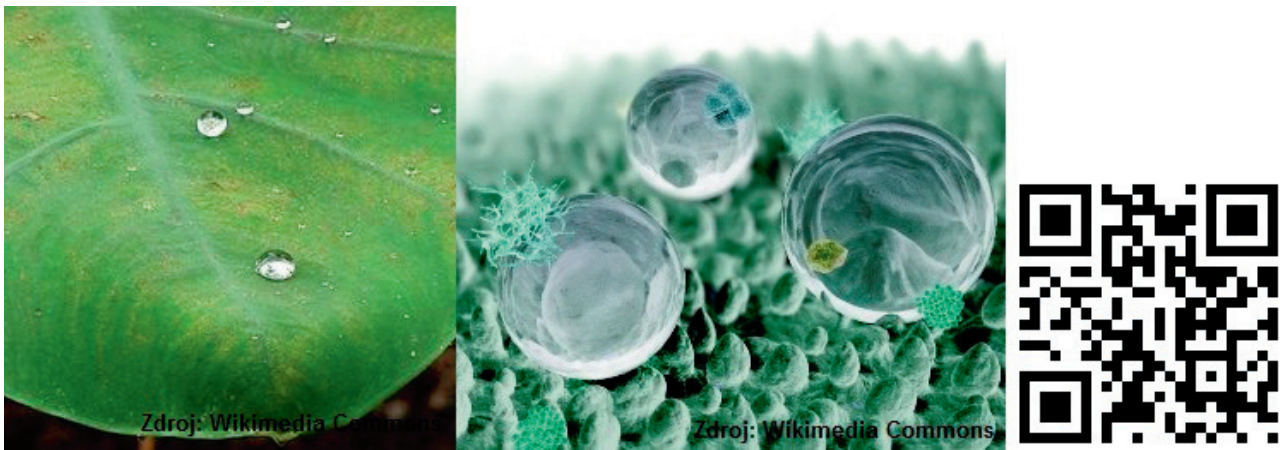


Obr. 8 Van der Waalove sily

Listy niektorých rastlín vykazujú tzv. **lotosový efekt** – ich povrch je tvorený nanoštruktúrami, ktoré zabraňujú priamemu kontaktu vody s povrchom. Voda teda tvorí guľôčky, ktoré stekajú dole a pritom so sebou berú aj rôzne nečistoty – listy sú nezmáčavé a schopné samočistenia.

Aktivita Lotosový efekt (obr. 9)

Lotosový efekt vykazujú aj niektoré bežne u nás sa vyskytujúce rastliny – na jeho demonštráciu môžeme použiť napríklad listy kapucínky alebo kapusty. Kvapkadlom nanesieme na listy malé množstvo vody a pozorujeme pohyb vody po povrchu listu.



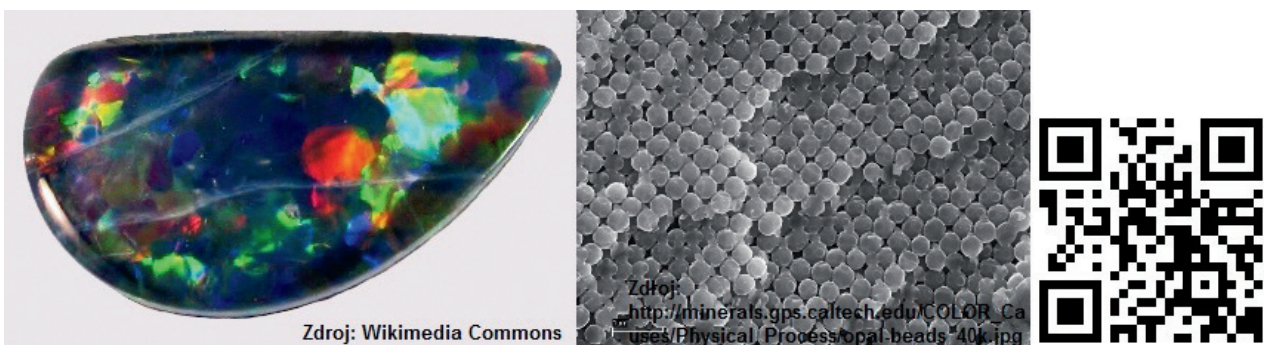
Obr. 9 Lotosový efekt

Opály aj krídla niektorých druhov motýľov majú nádherné sfarbenie nie vďaka pigmentom, akoby sa mohlo zdať, ale fascinujúce optické efekty vytvára odrazené svetlo od nanoštruktúr na ich povrchu. Predstavujú tak prírodnú formu **fotonických kryštálov**, teda periodických optických nanoštruktúr, ktoré sú schopné ovplyvňovať pohyb fotónov obdobným spôsobom, ako sú ovplyvňované elektróny kryštalickou mriežkou pri pohybe v pevných látkach.

Aktivita Záhady SiO₂ (obr. 10)

Čo majú spoločné „obyčajný“ piesok, sklo a všetkými farbami dúhy hrajúci etiópsky opál? Všetky tri sú zložené z tej istej látky – oxidu kremičitého (SiO₂). Ich úplne odlišné optické vlastnosti vyplývajú z rozdielnej štruktúry. Zrnká piesku sú zvetrané drobné čiastočky kremeňa, ktorý má svoju typickú kryštalickú štruktúru rozprestierajúcu sa do všetkých smerov, zatiaľčo sklo predstavuje amorfnú podobu SiO₂.

Opál je tvorený usporiadanými sférickými nanočasticami SiO₂, ktoré spôsobujú rozptyl dopadajúceho svetla, pričom rozmanité farby vznikajú jednak v dôsledku rôznej veľkosti nanočastíc a jednak v dôsledku interferencie svetelných lúčov v priestore medzi nanočasticami. Nádherné farebné sfarbenie však nevykazujú všetky druhy opálov. Na experimenty sú najvhodnejšie práve etiópske opály, ktoré je možné zakúpiť ako malé nebrúsené úlomky v predajniach s drahými kameňmi.



Obr. 10 Nádherné sfarbenie opálov vzniká odrazom svetla od nanočastíc SiO₂

Príroda disponuje inšpiráciami aj z oblasti **biomineralizácie** [4]. Napríklad ulity morských slimákov sú až z 95 % tvorené nanokryštálmi uhličitanu vápenatého, teda toho istého krehkého materiálu ako biela školská krieda, sú však šikovne pozliepané skrutkovitými, vysoko elastickými bielkovinami do unikátnej štruktúry s obrovskou pevnosťou. S biomineralizáciou sa môžeme stretnúť dokonca aj u baktérií. V roku 1975 boli objavené tzv. **magnetotaktické baktérie**, ktoré si samy vytvárajú sférické kryštality magnetitu (Fe_3O_4) s rozmermi cca 50 nm, ktoré sú presne orientované a dodávajú baktériám magnetický moment rovnobežný s osou pohyblivosti – retiazky týchto častíc (nazývaných magnetozómy) tak slúžia ako jednoduché strelky kompasu.

1.3 Nanohistória

Aj keď sa o nanotechnológiách začalo hovoriť až v druhej polovici 20. storočia, ich skutočná história nás posúva zhruba 4 500 rokov naspäť do minulosti. Boli to starovekí obyvatelia Egypta a Mezopotámie, ktorí vyrobili prvý umelý pigment, známy ako **egyptská modrá**, obsahujúci nanočastice kremičitanu meďnatu-vápenatého. Vyrábala sa zmiešaním piesku, vápna a medi s následným zahriatím na 800 – 1 000°C. Tento pigment používali pri zdobení sôch a obrazov, avšak samotná farba nebola veľmi trvácna. Egypťania využívali pigmenty aj na farbenie vlasov. Vo farbive spred približne 4 000 rokov našli vedci nanokryštály galenitu (sulfidu olovnatého) s veľkosťou 5 nm. Pigment sa vďaka síre prichytil na keratín na ľudskom vlase a zmenil jeho optické, nie však mechanické vlastnosti.

Zhruba 400 rokov p. n. l. zaviedol **Demokritos** pojem „atomos“ (z latinčiny „nedeliteľný“). K tejto myšlienke dospel úvahou, že pokiaľ by sme hmotu delili do nekonečna, dostali by sme nič, no z ničoho nie je predsa možné späťne poskladať hmotu. A tak došiel k záveru, že každý materiál je zložený z neviditeľných a ďalej nedeliteľných častíc – atómov, ktoré sú v neustálom pohybe. Podľa Demokrita bolo atómov nekonečne veľa a boli večné. Jeden atóm sa od druhého líšil tvarom, veľkosťou, hmotnosťou a usporiadaním.

Ukážkou praktického použitia nanotechnológií v staroveku sú tzv. **Lykurgove poháre** (obr. 11), pochádzajúce zo 4. storočia n. l., ktoré majú zaujímavé farebné efekty – pri osvetlení zvonku sú zelené, pri osvetlení zvnútra sú červené. Sklári dosiahli spomínané efekty tak, že do skiel pridávali prášky z kovov a ďalších látok, hlavne zlata a striebra, ale aj zinku, kadmia, síry a selénu. Unikátnu farebnosť spôsobovali nanokryštály zliatiny zlata a striebra (v pomere 3 : 7) veľkosti asi 70 nm. Samotná technológia výroby týchto skiel nie je dodnes objasnená.

Aj z obdobia stredoveku pochádzajú historické nanotechnologické objavy. Na Strednom východe sa už v 5. storočí vyrábali mimoriadne pevné a ostré meče s jedinečnou textúrou z tzv. **damascénskej ocele**, ktorá pozostáva z orientovaných štruktúr z nanodrôtov a nanorúrok vzniknutých opakovaným lisovaním a skladaním materiálu.



Obr. 11 Lykurgove poháre pri osvetlení zvnútra a zvonku

Nanotechnológie zasiahli aj oblasť Mexika. Z predkolumbovského obdobia pochádza veľmi odolný a trváci azúrovo modrý pigment, známy ako **mayská modrá**. Vyrábala sa z prírodného ílu palygorskítu s nanopórmami, v ktorých bolo chemicky zapracované indigové farbivo.

V talianskej Umbrii sa v tomto období vyrába keramika s metalizovanými farbami vďaka glazúre s obsahom nanočastíc medi a striebra. Lesk glazovanej keramiky vyvoláva dekoratívny kovový film s hrúbkou 200 – 500 nm, obsahujúci kovové nanokrýštály striebra rozptýlené v matrici bohatej na kremík. Optické vlastnosti závisia jednak od rozmerov častíc, ako aj od matrice. Spomínaná lesklá vrstva bola pravdepodobne **prvým nanoštruktúrovaným filmom vyrábaným človekom**.

V Európe sa až do dnešných čias zachovali farebné **vitráže v stredovekých chrámoch** (obr. 12) s obsahom zlatých a strieborných nanočastíc, ktoré reagujú so slnečným žiarením a v závislosti od veľkosti a tvaru nanočastíc vytvárajú rozmanité farby. Aj keď sa farby používali v oknách, hlavný cieľ farbenia skla bol neumožniť ľuďom v budove vidieť von, teda riadiť prepúšťané svetlo zvonku. Z tohto dôvodu boli vitráže označované ako „osvetlené výzdoby stien“. Zvláštnosťou je, že zlaté nanočastice pri interakcii so slnečným žiarením sú schopné eliminovať organické nečistoty vo vzduchu (z lepidiel, lakov a pod.), a tým prispievajú k špecifickej „vôni“ chrámovému vzduchu.



Obr. 12 Vitrážové okná stredovekých chrámov

Stredovek bol aj obdobím alchýmie a experimentovania so zlatom. Alchymista Paracelsus pripravil jeden zo zázračných elixírov života – „Aurum Potabile“ (z latinčiny „pitné zlato“) vyrobený z koloidného zlata na liečenie srdcových a pohlavných chorôb, dyzentérie, epilepsie aj nádorov. **Koloidné zlato a striebro** vo forme nápojov sa však používalo už od staroveku v hinduistickej chémii na liečenie rozmanitých neduhov. No napriek tomu, že antimikrobiálne účinky nanostriebrá sú už v súčasnosti jednoznačne preukázané, po konzumácii dochádza v kyslom prostredí žalúdka k chemickej premene striebra na jeho soli, ktoré sa vstrebávajú do krvného obehu a ukladajú sa vo vrchných vrstvách kože. Následne účinkom slnečného žiarenia dochádza k spätnej premene na striebro, ktoré spôsobuje sivo-modré sfarbenie kože, tzv. argýriu.

Najvýznamnejšie obdobie novovekých objavov sa začína v druhej polovici 19. storočia, keď Michael Faraday pripravil prvú čistú vzorku koloidného zlata a pred vedeckou komunitou predstavil jeho vlastnosti. Nedokázal ešte vysvetliť, prečo zmena veľkostí častíc mení farbu koloidného roztoku, no otvoril priestor pre ďalšie intenzívne štúdium v tejto oblasti. V roku 1861 ako prvý opísal suspenziu obsahujúcu častice s rozmermi 1 až 100 nm britský chemik Thomas Graham a nazval ju koloidným systémom. Koloidným systémom sa intenzívne venovali aj ďalší významní vedci (Rayleigh, Maxwell, Einstein) a neskôr vznikol nový odbor **koloidná chémia** ako priamy predchodca nanovedy. Štúdiu koloidov s časticami menšími ako 10 nm a iných nanomateriálov pod ultramiskroskopom sa venoval aj Richard Adolf Zsigmondy, ktorý v roku 1925 získal za svoju prácu Nobelovu cenu za chémiu.

V roku 1888 rakúsky botanik Friedrich Reinitzer a nemecký fyzik Otto Lehmann objavili **cholesterické kvapalné kryštály**. Kvapalný kryštál predstavuje medziskupenstvo medzi pevnou a kvapalnou fázou, no Reinitzer s Lehmannom nenašli pre túto svoju myšlienku podporu u vtedajšej vedeckej komunity, ktorá uznávala len tri skupenstvá látok (pevné, kvapalné a plynné). Napriek tomu Lehmann pokračoval v bádani aj na začiatku 20. storočia, avšak kvapalné kryštály boli akceptované len ako vedecká kuriozita. Až oveľa neskôr, v 70. rokoch našli svoje uplatnenie v displejoch a Nobelovu cenu za fyziku v oblasti kvapalných kryštálov a polymérov získal až v roku 1991 Pierre-Gilles de Gennes.

V dvadsiatych rokoch 20. storočia predstavil Irving Langmuir koncept **monovrstvy** – vrstvy materiálu s hrúbkou 1 molekuly, ktorá vznikne nanosením nerozpustného organického materiálu na vodný povrch. Spolu s Katharinou Blodgettovou a Vincentom Schäfferom vypracovali technológiu nanášania týchto vrstiev na substrát. Irving Langmuir získal v roku 1932 Nobelovu cenu za chémiu.

Dôležitým vedeckým počinom bolo v roku 1931 zostrojenie prvého **elektrónového mikroskopu** schopného zobrazit objekty menšie ako 1 nm, ktoré sa pripisuje Ernstovi Ruskovi a Maxovi Knollovi, ale napokon len Ruska zaň získal Nobelovu cenu – o polstoročie neskôr – v roku 1986.

Druhá polovica 20. storočia až po súčasnosť predstavuje to, čo by sme mohli označiť **modernou históriou nanotechnológií** – je to obdobie, ktoré prinieslo množstvo objavov a vynálezov, ktoré

umožnili dynamický pokrok v tejto oblasti. Prvý z nich z roku 1953 je predstavenie molekulárnej štruktúry DNA Jamesom Watsonom a Francisom Crickom, ktorí v roku 1962 získali spolu s Mauricom Wilkinsom Nobelovu cenu za fyziológiu a medicínu. Skúmanie DNA spadá prioritne do oblasti záujmu biotechnológií, no s ohľadom na molekulárne rozmery a zaujímavé vlastnosti sa postupne DNA stala dôležitým objektom novovznikajúceho interdisciplinárneho odboru – **nanobiotechnológií**.

Napomohol tomu aj objav PCR – polymerázovej reťazovej reakcie – vďaka ktorej je možné vytvoriť množstvo kópií DNA v priebehu niekoľkých hodín. Za tento objav bola udelená Nobelova cena za chémiu v roku 1993 Kary B. Mullisovi. Za zmienku stojí, že identifikácia ľudí pomocou DNA ako vyšetrovacia metóda sa začala využívať v roku 1988 a ľudský genóm sa podarilo rozlúštiť v roku 2000. V tom istom roku bol zostrojený aj prvý nanomotorček na báze DNA.

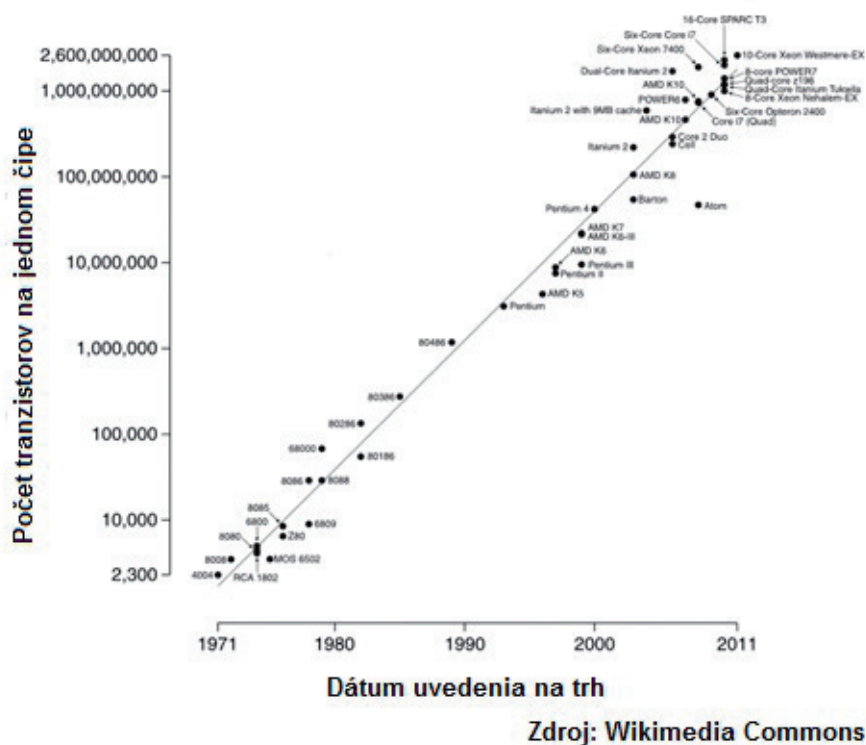
Azda najčastejšie spomínaným oficiálnym začiatkom éry nanotechnológií je prednáška **Richarda Feynmana** „There´s Plenty of Room at the Bottom“ (z angl. „Tam dole je veľa miesta“) z 29. decembra 1959, ktorá pojednávala o možnostiach praktického využitia sveta atómov v budúcnosti. Feynman nastolil otázku, či by bolo možné zapísať na špendlíkovú hlavičku všetkých 24 dielov *Encyklopédie Britaniky*. Predpokladal, že všetky informácie, ktoré človek nazhromaždil vo všetkých knihách sveta, môžu byť zapísané vo forme kocky s hranou 0,1 mm.

Feynman sa dostáva aj k možnosti ovplyvňovania chemických reakcií na atomárnej úrovni. Kládne otázku, či nájdeme nejakú fyzikálnu cestu, ako syntetizovať ľubovoľnú chemickú látku, a pýta sa, akým spôsobom je možné zlepšiť rozlišovaciu schopnosť elektrónového mikroskopu. Jadro prednášky tvorí manipulácia s atómami.

V závere prednášky Feynman vyzval vedecký svet, aby začal dobývať nanosvet – ponúkol tisíc dolárov tomu, kto ako prvý dokáže zapísať jednu stránku textu bežnej knihy na plochu, ktorá bude zmenšená na 1/25 000 pôvodnej plochy, pričom text bude čitateľný pomocou elektrónového mikroskopu, a ďalších tisíc dolárov prisľúbil vyplatiť tomu, kto zhotoví funkčný elektromotorček, ktorý sa vojde do kocky s hranou 0,4 mm. Vyplatené boli obe ceny – druhá už v roku 1960 študentovi CALTECH-u Billovi McLellanovi, avšak prvá až o 26 rokov doktorandovi Stanfordskej univerzity Tomovi Newmanovi, ktorý pomocou elektrónového litografu napísal 25 000-krát zmenšeným písmom prvú stranu románu Charlesa Dickensa *Príbeh dvoch miest*.

V roku 1965 Gordon Moore formuloval tzv. **Moorov zákon**, podľa ktorého sa počet tranzistorov na jednom čipe zdvojnásobí približne každý rok (obr. 13).

O desať rokov neskôr bol zákon preformulovaný na každé 2 roky. O tri roky Gordon Moore a Robert Noyce, ktorý v roku 1961 získal prvý patent za integrovaný obvod, založili spoločnosť Intel (skratka slov „Integrated Electronics“). V roku 1971 Intel uvádza na trh prvý mikroprocesor s označením 4004. Bolo v ňom zabudovaných 2 300 tranzistorov vyrobených 10 µm technológiou. Len pre porovnanie – Intel Core™ procesor 3. generácie z roku 2012 obsahuje 1,4 miliardy tranzistorov vyrobených 22 nm technológiou.



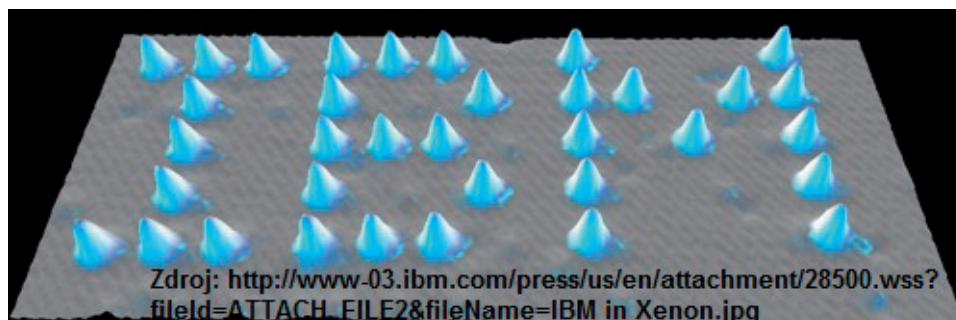
Obr. 13 Grafické vyjadrenie Moorovho zákona

Pojem **nanotechnológia** sa začal používať od roku 1974, keď Norio Taniguchi navrhol zaviesť toto označenie pre obrábanie s toleranciou na jeden atóm alebo jednu molekulu. No jeden z najdôležitejších a prelomových objavov v histórii nanotechnológií prichádza až na začiatku 80. rokov – Gerd Binnig a Heinrich Rohrer zostrojili **skenovací tunelový mikroskop** schopný zobrazit' jednotlivé atómy. V roku 1986 dostali Nobelovu cenu za fyziku. Hlavným obmedzením mikroskopu je potreba vodivej alebo aspoň polovodivej vzorky. Tento nedostatok sa podarilo vyriešiť vynálezom **atómového silového mikroskopu**, ktorý umožnil zobrazovať aj organické molekuly a bol dôležitým nástrojom pri objave a štúdiu fullerénov.

Fullerény sú veľké duté molekuly uhlíka s desiatkami atómov. Svoj názov dostali podľa amerického architekta Richarda Buckminstera Fullera, ktorý sa preslávil geodézickými stavbami podobného tvaru. Najmenší z fullerénov s označením C_{20} pozostáva z 20 uhlíkových atómov, tie najväčšie môžu obsahovať aj niekoľko stoviek uhlíkových atómov. Najznámejší je fullerén C_{60} so 60 uhlíkovými atómami, ktorý prvýkrát syntetizovali v roku 1985 Richard Smalley, Harold Kroto a Robert Curl a o jedenásť rokov neskôr získali za svoj objav Nobelovu cenu za chémiu.

V roku 1986 vychádza kniha Erica Drexlera *Engines of Creations: The Coming Era of Nanotechnology* (z angl. Stroje stvorenia: nástup éry nanotechnológie) a o šesť rokov neskôr druhá kniha *Nanosystems* (z angl. Nanosystémy). Drexler v nich popularizoval Feynmanove myšlienky. Rozpracoval myšlienku nanotechnologickej revolúcie a predstavil **svet miniatúrnych nanorobotov**, ktoré sa budú podobať živým organizmom nielen schopnosťou reprodukcie, ale taktiež vzájomnou komunikáciou a sebazdokonaľovaním.

Pokrok v nanotechnológiách zaznamenal ďalší veľký posun vpred v roku 1989, keď sa Donovi Eiglerovi v laboratóriách IBM prvýkrát podarilo **manipulovať priamo s jednotlivými atómami** pomocou skenovacieho tunelového mikroskopu. Presunul 35 xenónových atómov na nikli a zostavil logo IBM (obr. 14).

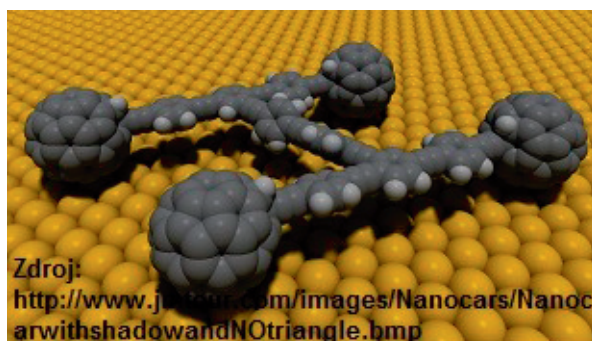


Obr. 14 Logo IBM vytvorené manipuláciou s jednotlivými atómami pomocou skenovacieho tunelového mikroskopu

O dva roky neskôr Sumio Iijima objavil **uhlíkové nanorúrky**. Spektrum nových uhlíkových foriem doplnili v roku 2004 Andre Geim a Konstantin Novoselov objavom **grafénu** a v roku 2005 Andrei Rode a John Giapintzakis objavom **uhlíkovej nanopeny** s feromagnetickými vlastnosťami.

Geim a Novoselov získali v roku 2010 Nobelovu cenu za fyziku. Ich objav prišiel v období, keď svet poznal jednovrstvové uhlíkové štruktúry zrolované do podoby uhlíkových nanorúrok alebo dutých fullerénov, avšak všeobecne panovala domnienka, že jednotlivé pláty z uhlíka by mali byť veľmi nestabilné. Grafit pozostáva z mnohých na sebe naskladaných vrstiev grafénu a tento poznatok využili Geim s Novoselovom – použili lepiacu pásku a z grafitu začali odstraňovať vrstvu po vrstve, čím sa im podarilo získať priamo grafénové pláty.

V roku 2006 sa na univerzite v Rice podarilo vytvoriť **nanoauto** z oligofenylnetylnylénu s alkynylovými nápravami a kolesami zo štyroch fullerénov C_{60} (obr. 15). Pri zvýšení teploty sa začalo nanoauto pohybovať po zlatom substráte – pri teplote 300 °C sa pohybovalo dokonca tak rýchlo, že ho vedci nestíhali sledovať!



Obr. 15 Nanoauto

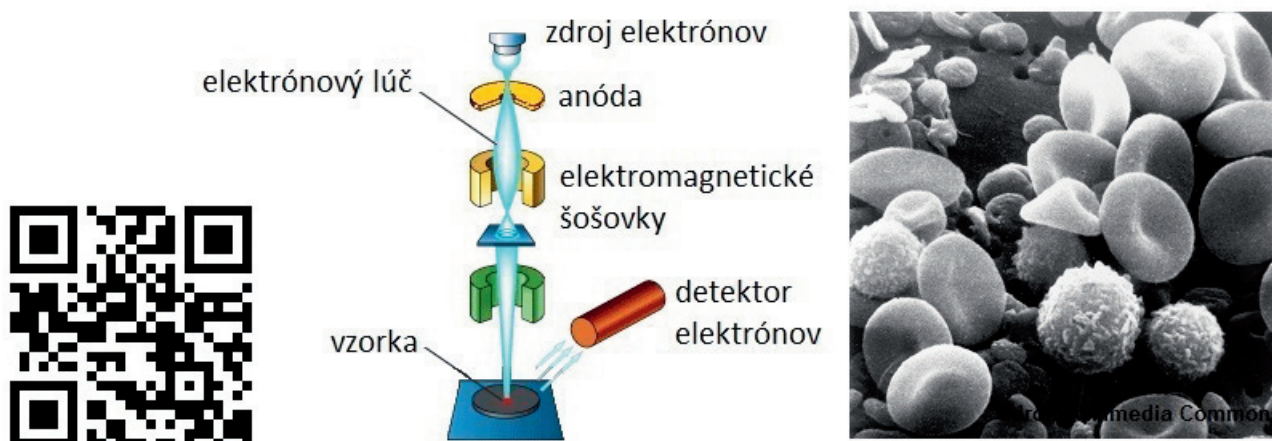
Prelom storočí znamenal dôležité pokroky aj v nanoelektronike a molekulárnej elektronike (podarilo sa zostrojiť prvý tranzistor z nanorúrok, firma Hewlett-Packard predstavila prvú molekulárnu pamäť na svete, v ktorej sa informácie zapisujú priamo do jednotlivých molekúl čipu, zvyšovanie pamätevej kapacity pevných diskov využitím nanolitografických techník a podobne), DNA nanotechnológiách (začali sa využívať DNA čipy, konštrukcia DNA strojov, DNA walkerov a techniky DNA origami), nanomateriáloch či v nanomedicíne.

1.4 Nástroje na skúmanie nanosveta

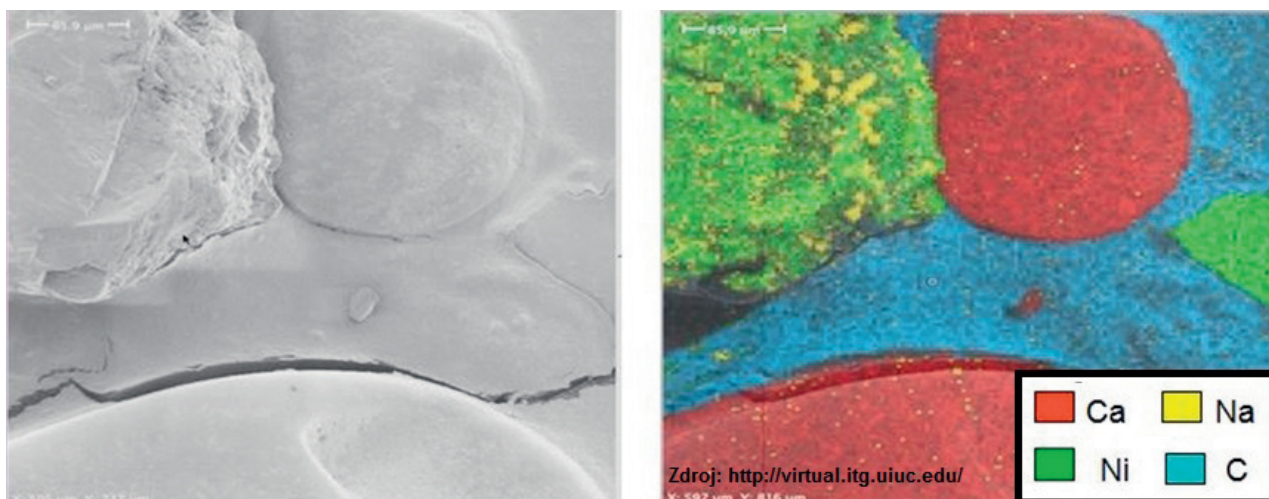
Prvý mikroskop uzrel svetlo sveta v 16. storočí, keď Hans a Zacharias Janssenovci zostrojili prvý zložený mikroskop, v ktorom na zväčšovanie predmetov používali dve sklené šošovky.

Zložené mikroskopy sa nazývajú aj optické, resp. svetelné, pretože na osvetlenie skúmaných objektov využívajú svetlo a ich maximálne rozlíšenie je obmedzené hodnotou $\sim \lambda/2$, kde λ je vlnová dĺžka svetla, čo v praxi (pre $\lambda = 400$ až 700 nm) predstavuje približne **0,25 μm** , teda 250 nm. Objekty nanosveta sa však nachádzajú pod týmto limitom a na ich skúmanie je potrebné využiť iné druhy mikroskopov, poskytujúce rozlíšenie vzorky až na úrovni niekoľkých nanometrov, resp. niekoľkých angströmov. Zarádujeme sem elektrónové mikroskopy a skenovacie sondové mikroskopy [1].

Skenovací elektrónový mikroskop (SEM) využíva úzky lúč elektrónov, dopadajúci na povrch vzorky, z ktorého sa elektróny vyrážajú, zachytávajú detektorom a umožňujú tak vytvoriť výsledný obraz (obr. 16). V **transmisnom elektrónovom mikroskope (TEM)** sa používa veľmi tenká vzorka materiálu, cez ktorú elektróny prechádzajú a umožňujú tak skúmať aj kryštalickú štruktúru skúmaného materiálu. Interakciu dopadajúcich elektrónov s materiálom vzorky vznikajú rôzne detekovateľné zložky, ktoré poskytujú informácie aj o chemickom zložení vzorky (obr. 17).

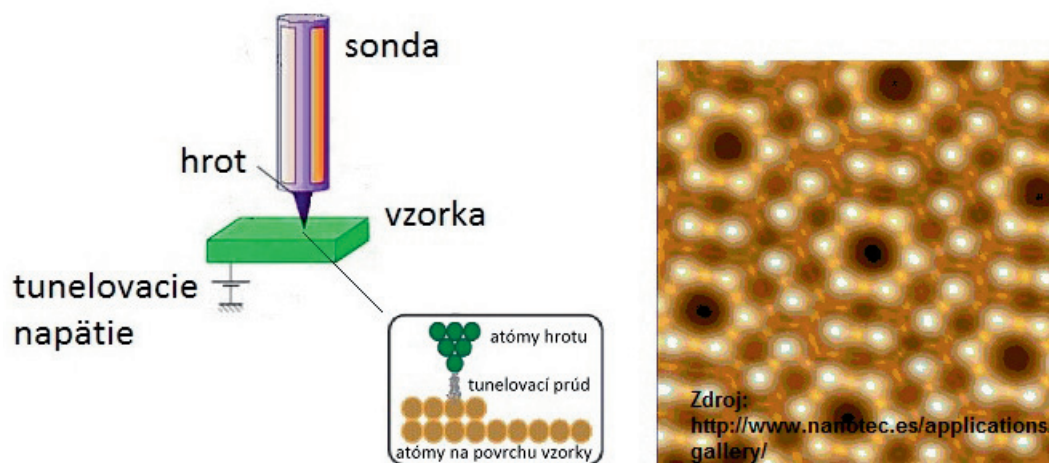


Obr. 16 Princíp SEM mikroskopu (vľavo) a snímka ľudskej krvi získaná prostredníctvom SEM mikroskopu (vpravo)



Obr. 17 Porovnanie snímky povrchu vzorky (vľavo) a chemickej analýzy zloženia vzorky (vpravo) získanej SEM mikroskopom

Princíp skenovacích sondových mikroskopov spočíva v použití veľmi citlivej sondy, ktorá postupne prechádza nad povrchom vzorky a skenuje ho. **Skenovací tunelový mikroskop (STM)** využíva veľmi ostrý, elektricky vodivý hrot sondy, pohybujúci sa v tesnej blízkosti nad povrchom elektricky vodivej alebo polovodivej vzorky (obr. 18). Ak medzi hrot a vzorku privedieme napätie, začne medzi nimi pretekať malý, tzv. tunelovací prúd, ktorého veľkosť závisí od vzdialenosti medzi hrotom a vzorkou.

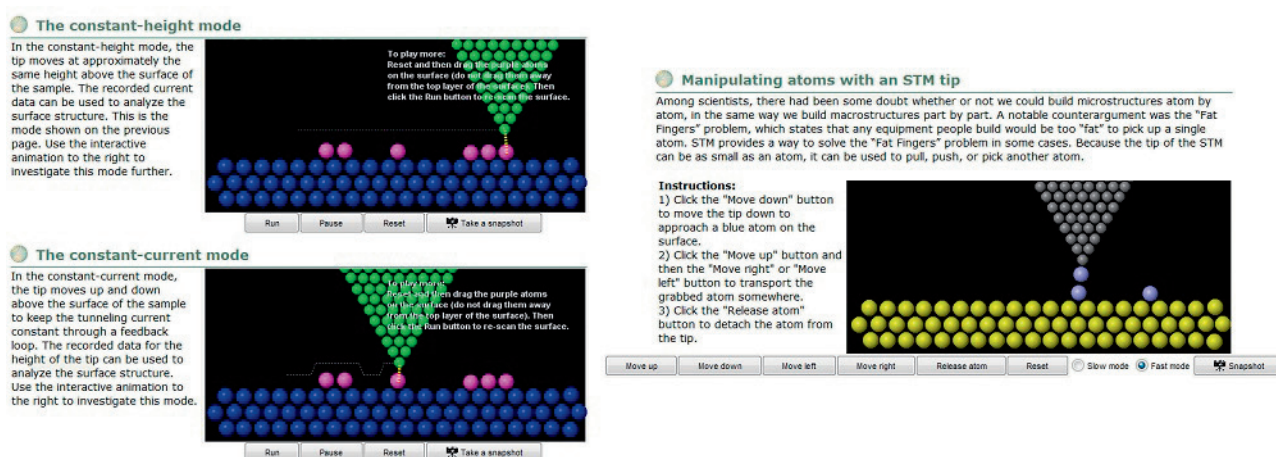


Obr. 18 Princíp STM mikroskopu (vľavo) a snímka povrchu kremíka získaná prostredníctvom STM mikroskopu (vpravo)

Aktivita MWB modul: STM mikroskop (obr. 19)

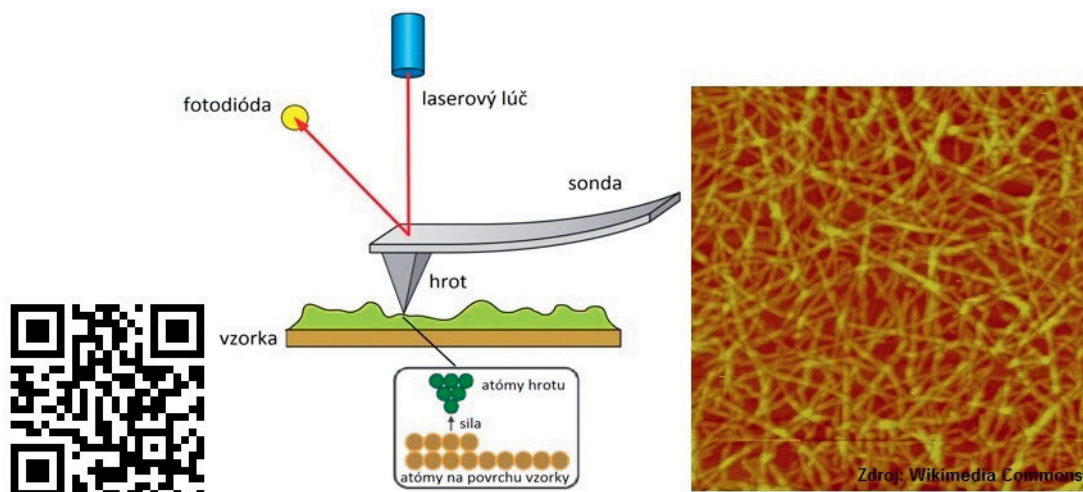
Projekt „Molecular Workbench“ (skrátene MWB) predstavuje vizuálne a interaktívne nástroje na simulácie javov v prírodných a technických vedách (voľne dostupné online na <http://mw.concord.org/>). Užívateľ môže využiť niektorú z pripravených simulácií (dostupné v rámci „MWB Showcase“), niektorý z kompletných výučbových modulov, spracovaných formou interaktívnych hárkov (dostupné v rámci

„MWB Curriculum Modules“), prípadne si môže vytvoriť vlastné simulácie (pomocou nástroja „MWB Modeler“) a zapracovať ich do vlastných interaktívnych hárkov. V ponuke simulácií a výučbových modulov nájdeme aj špeciálne moduly pre oblasť nanovedy a nanotechnológií využívajúce 2D a 3D modely na báze molekulárnej dynamiky. Modul STM mikroskopu je dostupný priamo z ponuky výučbových modulov na úvodnej stránke projektu. Obsahuje celkovo 6 interaktívnych hárkov poskytujúcich základné informácie o princípe a fungovaní STM mikroskopu, virtuálne experimenty na sledovanie závislosti tunelovacieho prúdu od vzdialenosti hrotu mikroskopu od povrchu vzorky a sledovanie zmeny v tunelovacom prúde na rôznych miestach nad povrchom vzorky, ďalej simulácie vysvetľujúce dva základné režimy práce STM mikroskopu (režim konštantnej výšky, keď sa nemení výška hrotu sondy, len sa snímajú zmeny v tunelovacom prúde, a režim konštantného prúdu, keď sa výška hrotu sondy dynamicky mení tak, aby bola udržiavaná stála hodnota tunelovacieho prúdu), ako aj virtuálny experiment umožňujúci manipuláciu s jednotlivými atómami na povrchu vzorky pomocou STM mikroskopu a krátky záverečný test na overenie nadobudnutých vedomostí.



Obr. 19 Simulácie základných režimov práce STM mikroskopu pri skenovaní povrchu (vľavo) a virtuálny experiment pri manipulácii s atómami na povrchu vzorky (vpravo) v prostredí Molecular Workbench

Pri atómovom silovom mikroskope (AFM) pôsobia na hrot sondy pri pohybe v blízkosti povrchu vzorky rôzne príťažlivé sily spôsobujúce výchylku, ktorá je snímaná pomocou citlivej fotodiódy (obr. 20). Na základe charakteru sledovaných príťažlivých síl môžeme sledovať okrem topografie povrchu aj rôzne ďalšie charakteristiky vzorky, napr. magnetické vlastnosti, elektrostatické vlastnosti, vodivosť, účinok trecích, povrchových alebo šmykových síl, prípadne elastické vlastnosti povrchu. Pomocou AFM mikroskopu je možné skúmať taktiež biologické vzorky, ktoré nemusia byť elektricky vodivé.



Obr. 20 Princíp AFM mikroskopu (vľavo) a snímka nanocelulózy získaná prostredníctvom AFM mikroskopu (vpravo)

Aktivita Magnetická sonda (obr. 21)

V nanosvete nie je možné použiť svetlo, lebo objekty, ktoré skúmame, sú príliš malé na to, aby sme ich mohli vidieť – ich rozmery sú menšie ako vlnová dĺžka svetla. Ale existujú aj iné vlastnosti a fyzikálne javy, prostredníctvom ktorých prítomnosť objektov môžeme vyšetrovať. Na demonštráciu princípu AFM mikroskopu použijeme 2 ks chladničkových magnetiek.

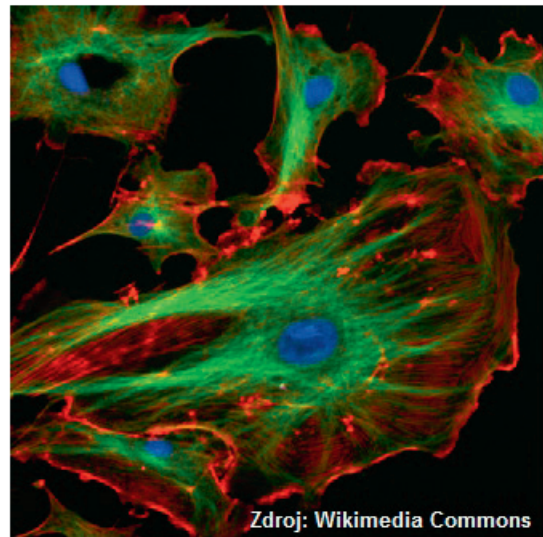
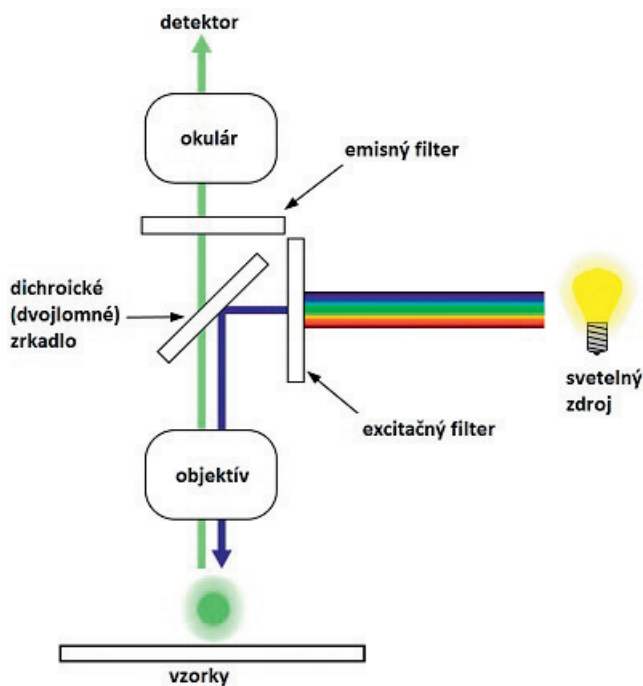
Jedna magnetka tvorí sondu, jedna magnetka tvorí skúmanú vzorku. Sondou pomaly prechádzame po povrchu vzorky od okraja po okraj postupne zo všetkých 4 strán a zmapujeme štruktúru vzorky.



Obr. 21 Určenie štruktúry vzorky pomocou magnetickej sondy

Špeciálnym príkladom mikroskopu, ktorý sa využíva najmä v oblasti skúmania interakcií nanomateriálov s biologickými vzorkami, je **fluorescenčný mikroskop**, ktorý vylepšuje optické možnosti svetelného mikroskopu fenoménom fluorescencie alebo fotoluminiscencie.

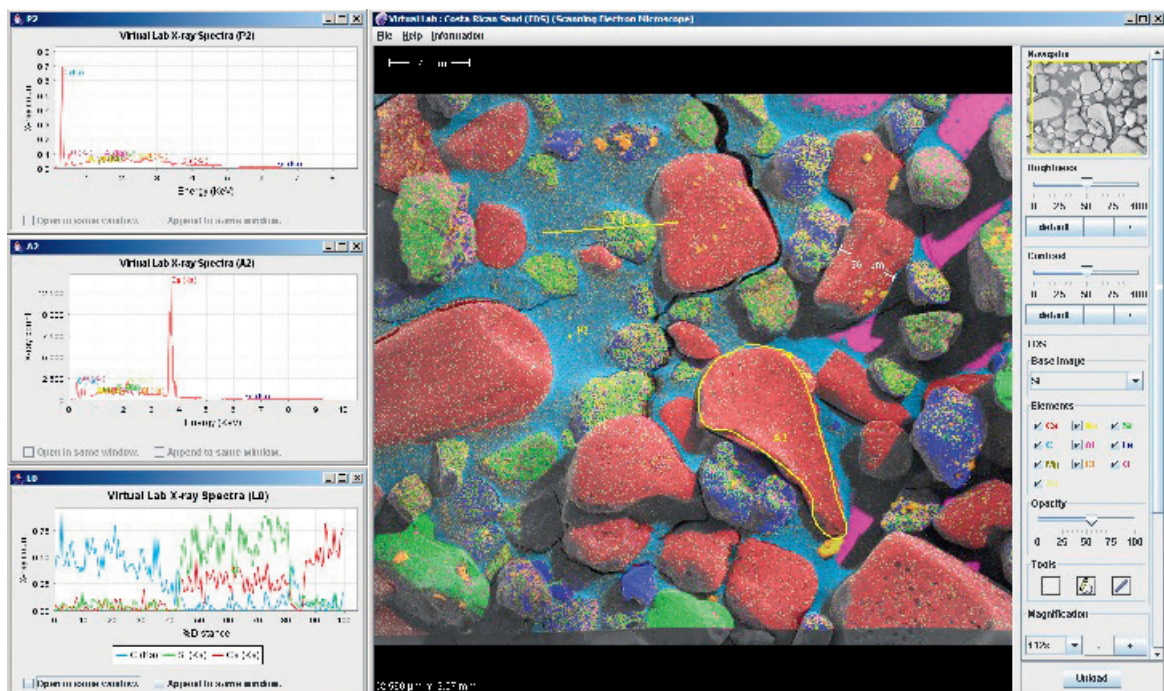
Výsledný obraz vzniká jemným chemickým zafarbením skúmanej vzorky (napríklad fluorescenčným farbivom alebo fluorescenčným proteínom), ktorá po osvetlení cez excitačný filter spontánne vyžaruje svetlo, fluoreskuje. Fluorescenčný mikroskop tak dokáže vidieť do vnútra buniek bez toho, aby narušil ich štruktúru (obr. 22).



Obr. 22 Princíp fluorescenčného mikroskopu (vľavo) a snímka bunky získaná prostredníctvom fluorescenčného mikroskopu (vpravo)

Aktivita Virtuálny mikroskop (obr. 23)

Projekt „NASA Virtual Microscope“ (voľne dostupný online na <http://virtual.itg.uiuc.edu/>) ponúka intuitívne a veľmi kvalitne prepracované reálne vyzerajúce prostredie simulátora elektrónového, fluorescenčného aj atómového silového mikroskopu s bohatou databázou vzoriek prírodných aj technických materiálov a objektov.

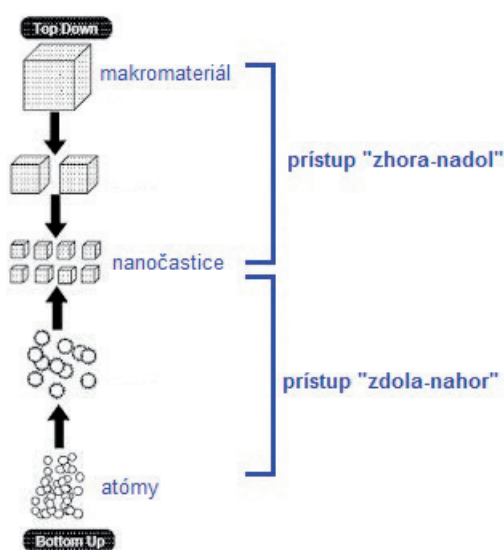


Obr. 23 Prostredie virtuálneho mikroskopu NASA

2/ Nanotechnológie

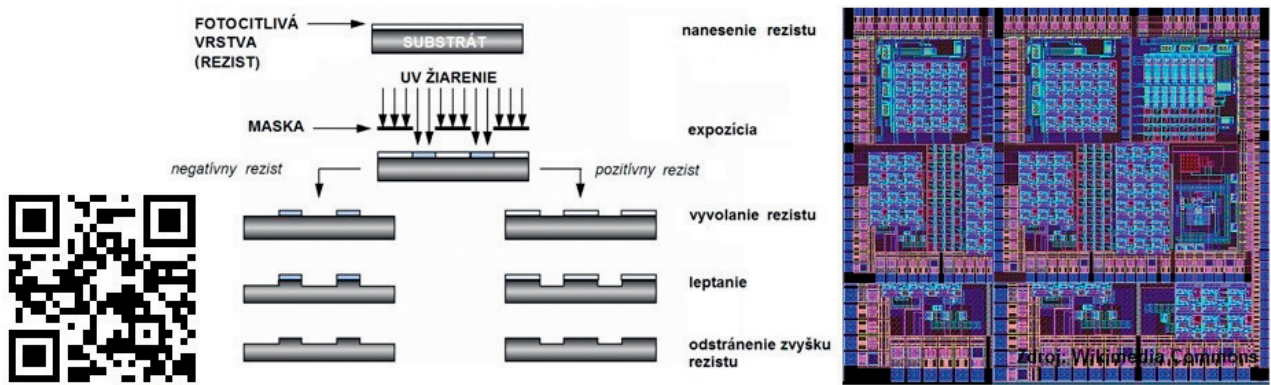
2.1 Základné technologické postupy

Nanotechnológie sa zaoberajú manipulovaním s atómami a molekulami tak, aby vytvárali nanomateriály, nanozariadenia, alebo dokonca aj nanostroje. Predstavujú teda aplikácie nanovedných poznatkov na technologické postupy s cieľom vytvorenia nových materiálov. Zvyčajne sa nanotechnologické postupy rozdeľujú na **prístupy zhora nadol** (tzv. top-down), pri ktorých sa nanoobjekty vytvárajú zmenšovaním štruktúry už existujúceho materiálu, a **prístupy zdola nahor** (tzv. bottom-up), pri ktorých sa výsledné nanoobjekty postupne skladajú z jednotlivých atómov (obr. 24) [5].



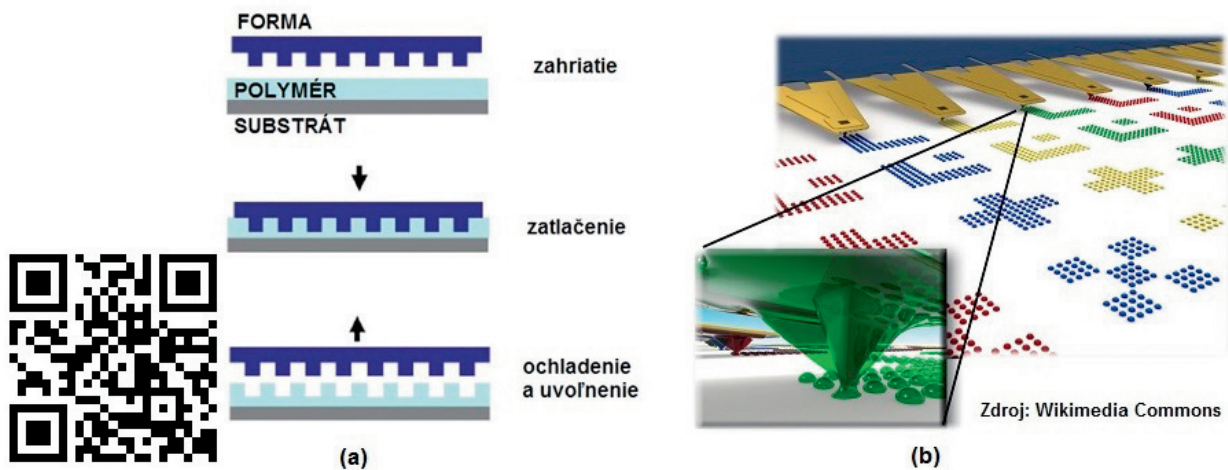
Obr. 24 Základné nanotechnologické postupy

Pri **fotolitografických technikách** (obr. 25) sa na pripravený substrát nanáša tenká fotocitlivá vrstva (tzv. rezist), ktorá je osvetlená (ultrafialovými lúčmi alebo laserom) cez vopred navrhnutú kovovú masku. Pri vyvolaní fotorezistu sú odstránené buď neosvetlené, alebo len osvetlené miesta. Následne sú leptaním odstránené nechránené miesta substrátu, odstráni sa zvyšný rezist a celý proces sa opakuje nanosením ďalšej vrstvy materiálu. Osvetľovanie rezistu môžeme realizovať aj bez použitia masky priamo pomocou elektrónového alebo iónového lúča.



Obr. 25 Princíp fotolitografických techník (vľavo) a snímka integrovaného obvodu vyrobeného fotolitograficky (vpravo)

Nanoimprinting (obr. 26a) je technika, pri ktorej sa štruktúry vtláčajú pomocou pripravenej formy (matrice) do mäkkého polyméru, ktorý po ochladení stuhne a zachová si odtlačený vzor. Týmto spôsobom je možné vytvoriť nanoštruktúry rôznych tvarov s veľkosťou niekoľko nm aj na veľkých plochách. Ďalšou možnosťou je priame **nanášanie vzorov pomocou nanoatramentu** prostredníctvom hrotu AFM mikroskopu (obr. 26b) alebo špeciálnou tlačiarňou aj na flexibilný substrát.



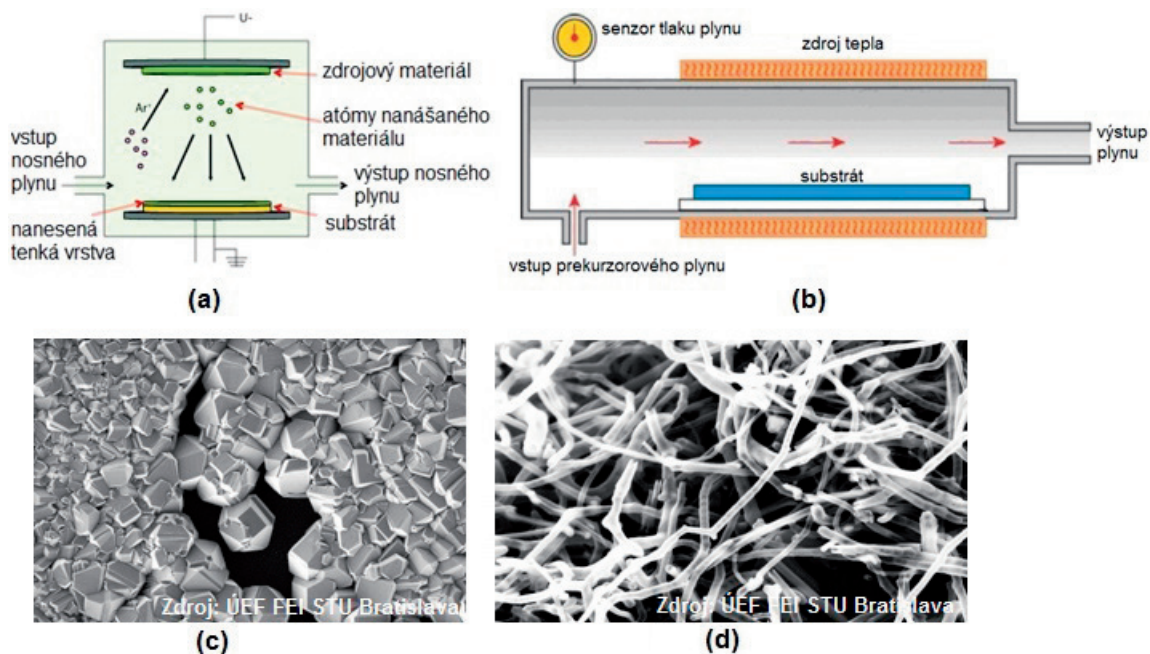
Obr. 26 Nanoimprinting (a) a nanášanie vzorov pomocou nanoatramentu prostredníctvom AFM mikroskopu (b)

Pri **depozičných technikách** sa na pripravený substrát nanášajú tenké vrstvy z atómov zdrojového materiálu. Pri fyzikálnej **depozícii z pár metódou naprašovania** sú povrchové atómy zo zdrojového materiálu (terča) odprašované „bombardovaním“ nabitými časticami (elektrónmi, iónmi) dopadajúcimi na jeho povrch a následne ukladané na povrch substrátu (obr. 27a).

Pri **metóde vákuového naparovania** je zdrojový materiál roztopený a odparený, v komore sa vďaka vákuu voľne šíri a dopadá na povrch substrátu, vytvárajúc tenkú vrstvu.

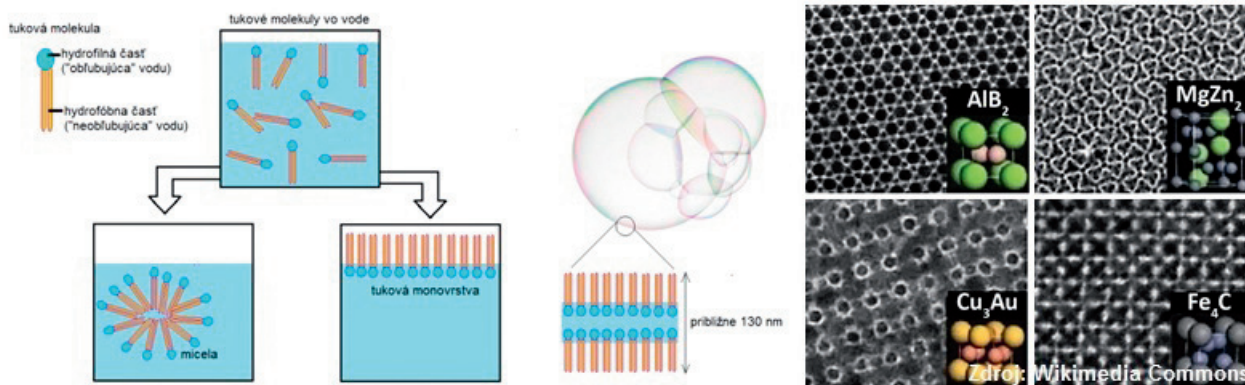
Pri **technike chemickej depozície z pár** dochádza k tepelnému alebo plazmatickému rozkladu plynnej zmesi s obsahom všetkých potrebných chemických látok na vznik novej pevnej látky na vloženom

substráte (obr. 27b). Takto sa pripravujú nanovlákná, nanorúrky, nanodiamanty, nanočastice alebo tenké vrstvy (obr. 27c).



Obr. 27 Depozičné techniky: (a) fyzikálna depozícia z pár – naprašovanie; (b) chemická depozícia z pár; snímky (c) nanodiamantov a (d) uhlíkových nanorúrok pripravených metódou chemickej depozície z pár

Samoorganizácia je výrobná technika inšpirovaná prírodou – všetky prírodné materiály (kosti, DNA alebo aj bunkové steny) vznikli procesom samoorganizácie, pri ktorej sa molekuly spontánne organizujú a vytvárajú výsledné zložité štruktúry s nanopresnosťou (obr. 28).

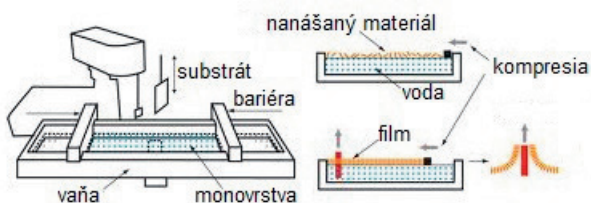
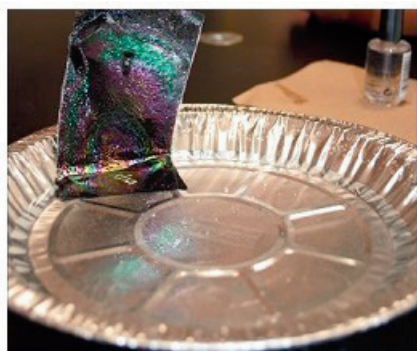


Obr. 28 Samoorganizácia vo vodnom prostredí (vľavo) a na substráte – ukážky vytvorených štruktúr (vpravo)

Aktivita Samoorganizácia (obr. 29)

Na efektívnu ukážku samoorganizácie na vodnej hladine budeme potrebovať len misku s vodou, priesvitný lak na nechty, prúžok farebného tvrdého papiera (najlepšie čierneho). Papier chytíme na jednom konci a zvyšok ponoríme pod hladinu vody, na ktorú rýchlo kvapneme jednu kvapku laku na nechty. Lak

okamžite vytvorí na hladine súvislú molekulárnu vrstvu, ktorá sa pri vyťahovaní papiera z vody na ňom ľahko zachytí a vytvorí nádherný farebný nanofilm. V praxi sa obdoba tejto techniky nazýva Langmuir-Blodgettovej technika a slúži na prípravu a nanášanie veľmi tenkých štruktúrovaných organických filmov s rozličnými optickými, elektrickými či biologickými vlastnosťami.



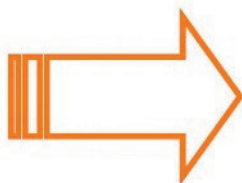
Zdroj:
<http://eng.thesaurus.rusnano.com/wiki/article1797>



Obr. 29 Výroba nanofilmu pomocou samoorganizácie na vodnej hladine (vľavo) a Langmuir-Blodgettovej technika (vpravo)

Aktivita Turkevichova metóda (obr. 30)

Chemická syntéza tvorí technologický základ prístupov zdola nahor a zahŕňa aj historicky najstaršie technologické postupy, napríklad syntézu koloidov. Zlatý koloid si pripravíme pomocou Turkevichovej metódy z roztoku kyseliny tetrachlorozlatitej (rozpustíme 0,1 g $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich #G4022) v 500 ml destilovanej vody) a roztoku citrátu trisodného (rozpustíme 0,5 g $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich #S4641) v 50 ml destilovanej vody). Kyselinu tetrachlorozlatitú nalejeme do 50 ml Erlenmayerovej banky a za stáleho miešania privedieme k varu (120°C). Potom teplotu znížime na 100°C a naraz pridáme 2 ml roztoku citrátu, čím dôjde k vytvoreniu zlatého koloidu, čo sa prejaví zmenou farby na rubínovočervenú. Pripravený koloid môžeme použiť na ďalšie experimenty, napríklad ako kolorimetrický zlatý senzor. (Poznámka: pri likvidácii koloidu je potrebné doň naliať dostatok roztoku NaCl, nechať aspoň 30 minút precipitovať a prefiltrovať cez filtračný papier; tuhé zvyšky môžu byť odstránené do normálneho tuhého odpadu a nádobu s kvapalinou dôkladne vypláchneme vodou).

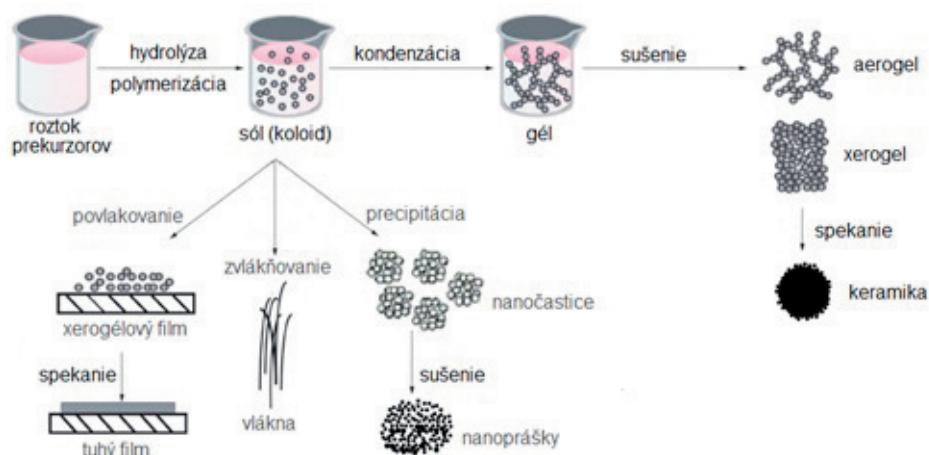


Zdroj: <http://nanoyou.eu>



Obr. 30 Výroba zlatého koloidu Turkevichovou metódou

Pomocou **sól-gélovej techniky** (obr. 31) [2] sa z rozpustných zlúčenín (napríklad kremíka) získava sól, v ktorom sú pevné častice s rozmermi niekoľko nanometrov jemne rozptýlené v nosnej kvapaline. Premenu sôlu na pevnú látku vznikne gél. Ďalším spracovaním sólov a gélov je možné pripraviť materiály s rozmanitými vlastnosťami – nanoprášky, nanovlákná, keramiku, tenké filmy, aerogély.



Obr. 31 Sól-gélová technika

2.2 Nanomateriály

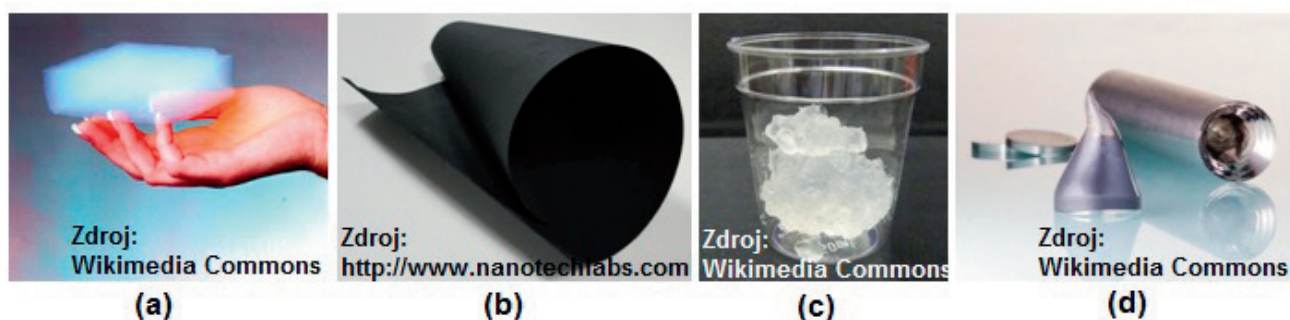
2.2.1 „Extrémne“ materiály

Nanotechnologické postupy umožňujú v súčasnosti vyrábať nové materiály s vylepšenými vlastnosťami oproti tradičným materiálom – ľahšie, pevnejšie, priehľadnejšie, pružnejšie či vodivejšie. Napríklad **aerogél** (obr. 32a) je materiál, ktorý vyzerá ako pevná pena a obsahuje až 99,8 % vzduchu, vďaka čomu je najľahší materiál na svete – drží Guinnessov rekord ako pevná látka s najmenšou hustotou. Má extrémne nízku tepelnú vodivosť (menšiu ako vzduch), a preto je vynikajúcim tepelným izolantom. Napriek tomu, že je krehký, je zároveň pevný – udrží záťaž až 2000-násobku svojej vlastnej váhy.

Buckypaper (obr. 32b) je flexibilný materiál, hrubý len 10 až 20 μm , s mimoriadnou tepelnou a elektrickou vodivosťou. Vyrába sa z uhlíkových nanorúrok, vďaka čomu je 10x ľahší, avšak až 500x pevnejší ako oceľ.

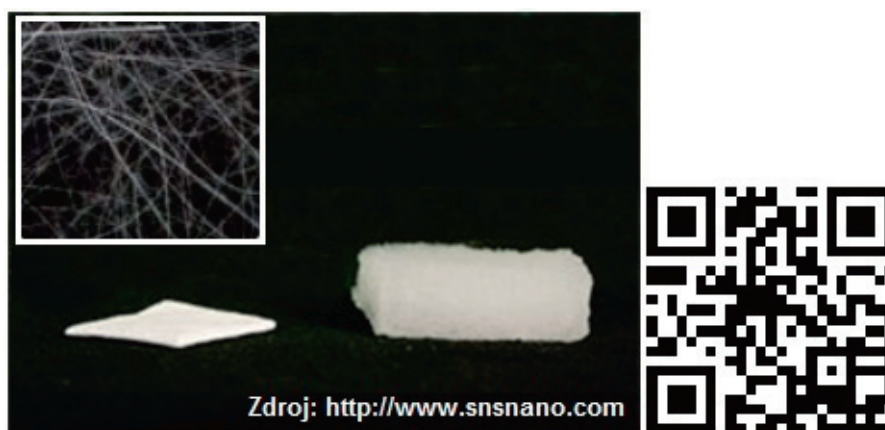
Nanocelulóza (obr. 32c) je nový zázračný materiál – priehľadný, ľahký, s vysokou savosťou, flexibilný, pevnejší ako kevlar a veľmi dobrý elektrický vodič. Je čisto prírodného pôvodu – vyrába sa z buničiny stromov, z ktorej sa získavajú nanocelulóзовé vlákna alebo kryštály. Výsledný produkt pripomína pastu, ktorú je možné tvarovať alebo použiť na laminovanie iných povrchov.

Kovové sklá (obr. 32d) sú nepriesvitné kovové zliatiny, ktorých atómy sú usporiadané chaoticky – pri výrobe boli schladené skôr, než sa stihla vytvoriť kryštalová mriežka, a preto ich štruktúra pripomína viac kvapaliny, čo im dáva zaujímavé vlastnosti – sú nemagnetické, pevnejšie než bežné kovy, no s vysokou schopnosťou elastickej deformácie a za tepla tvarovateľné ako plasty.



Obr. 32 „Extrémne“ nanomateriály: (a) aerogél, (b) buckypaper, (c) nanocelulóza, (d) kovové sklá

Nanovlákná (obr. 33) majú priemer menší ako 100 nm. Vyrábajú sa z uhlíka, polymérnych aj anorganických materiálov. Slúžia hlavne ako vysoko účinné filtre vzduchu aj tekutín. Materiály z nanovlákn sa vyznačujú aj extrémnou schopnosťou zväčšiť objem a absorbovať tekutiny, pričom zostávajú flexibilné, elastické a pevné.



Obr. 33 Nanovlákná

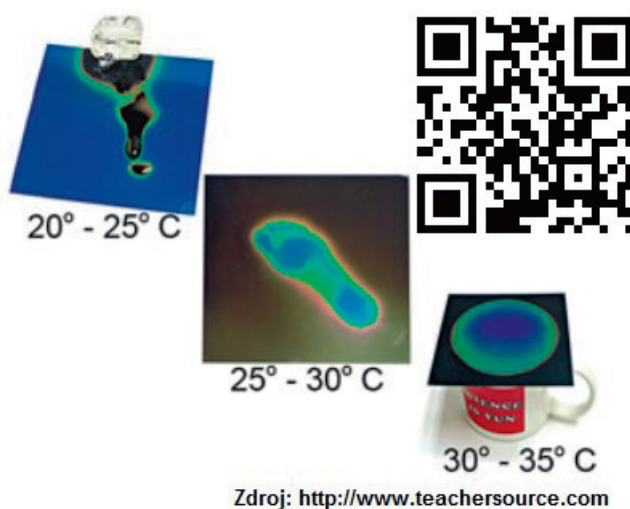
2.2.2 „Smart“ materiály

„Smart“ znamená chytrý, resp. inteligentný. Chytré materiály majú neočakávané a dynamicky sa meniace vlastnosti – dokážu meniť farbu, tvar či skupenstvo na základe vonkajších podnetov.

Spravidla nie sú úplne typickými predstaviteľmi nanomateriálov, avšak ich správanie je dôsledkom reverzibilných a rýchlych zmien prebiehajúcich na atomárnej či molekulárnej úrovni. Príkladom môžu byť **elektroaktívne polyméry**, ktoré sa pri zmenách elektrického napätia dokážu zmršťovať alebo rozpínať (zväčšia svoj objem až o tretinu) a predstavujú nádejné materiály pre umelé svaly. Aj **piezoelektrické materiály** reagujú na zmenu elektrického napätia zmenou svojho tvaru, avšak tento proces u nich funguje aj naopak – pri mechanickom pôsobení (stláčaní, krútení a pod.) sa na nich vytvára elektrický náboj, resp. elektrické napätie, ktoré sa môže ďalej využívať, napr. v senzoch. K „smart“ materiálom môžeme zaradiť široké spektrum ďalších rozmanitých materiálov, napríklad kvapalnú kryštály, newtonovské dilatantné kvapaliny, magnetické kvapaliny alebo materiály s tvarovou pamäťou [6, 7, 8].

Aktivita Kvapalné kryštály (obr. 34)

Kvapalné kryštály menia natočenie svojich molekúl vplyvom teploty alebo elektrického prúdu, čo sa prejaví zmenou farby. Termotropné cholesterické kvapalné kryštály je možné jednoducho pripraviť v skúmavke zmiešaním a zahriatím (na cca 185 °C) 0,40 g cholesteryl oleát karbonátu (Sigma-Aldrich 151157), 0,50 g cholesteryl pelargonátu (Sigma-Aldrich C78801) a 0,10 g cholesteryl benzoanu (Sigma-Aldrich C75802), čím vznikne číra kvapalina. Po ochladení sa zakalí, avšak pri „pracovnej“ teplote (32 – 35 °C) postupne mení svoju farbu. Pripravené kvapalné kryštály je vhodné naniesť medzi dve podložné sklíčka alebo na papier a zalepiť lepiacou fóliou, čím vznikne teplomer reagujúci na teplotu ľudského tela. Rozsah „pracovných“ teplôt môžeme meniť zmenou podielu cholesteryl oleát karbonátu a cholesteryl pelargonátu.



Obr. 34 Kvapalné kryštály

Aktivita Nenevtonovské dilatantné kvapaliny (obr. 35)

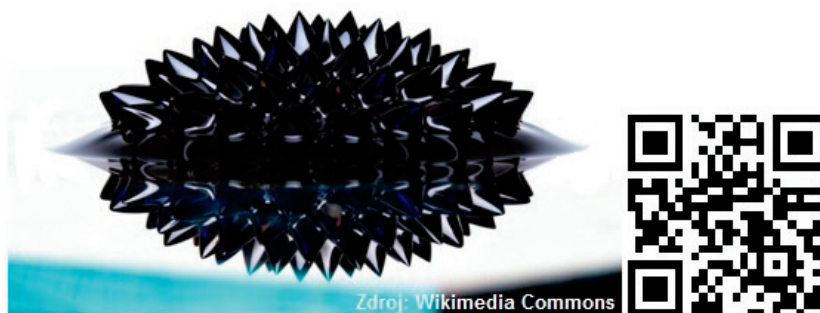
Nenevtonovské dilatantné kvapaliny (non-Newtonian dilatant fluids) sa pri pomalom miešaní správajú tekuto, ale rýchly pohyb alebo náraz ich znehybní a dočasne sú v tuhom stave. Môžeme si ich pripraviť zmiešaním menšieho množstva vody a väčšieho množstva kukuričného škrobu – pri pomalom miešaní je kvapalina v miske úplne tekutá, pri silnom pohybe alebo náraze sa na okamih zmení na tvrdú hmotu a vzápätí je opäť tekutá. Zaujímavé efekty je možné dosiahnuť aj umiestnením pripravenej kvapaliny na reproduktor, do ktorého púšťame hudbu – kvapalina bude reagovať na akustické vlny ako na mechanické nárazy a na povrchu sa začnú objavovať a miznúť zvláštne tvary „sôch“.



Obr. 35 Nenevtonovské dilatantné kvapaliny

Aktivita Magnetické kvapaliny (obr. 36)

Magnetické kvapaliny obsahujú magnetické nanočastice jemne rozptýlené v nosnej kvapaline, ktoré reagujú na vonkajšie magnetické pole – pri priblížení magnetu sa kvapalina usporiada a na hladine sa objavia hroty v smere siločiar magnetického poľa. Pripravenú vzorku magnetickej kvapaliny si môžeme zakúpiť na internete alebo sa môžeme pokúsiť si ju pripraviť sami zmiešaním malého množstva kuchynského oleja a väčšieho množstva práškového toneru z tlačiarne. Na porovnanie je dobré uskutočniť najprv experiment s magnetickými pilinami (Fe_2O_3 v rozmeroch $\sim\mu\text{m}$) – pri priblížení kompasu je možné v ich okolí pozorovať slabé magnetické pole, pri priblížení magnetu sa piliny „zježia“, pri oddialení spadnú. Experiment zopakujeme, ale použijeme vzorku magnetickej kvapaliny. Reakcia na priblíženie a oddialenie magnetu je podobná ako v prvom prípade, avšak po priblížení kompasu nepozorujeme v okolí vzorky žiadne magnetické pole, pretože Fe_2O_3 je v rozmeroch $\sim\text{nm}$ – takéto drobné čiastočky majú veľmi malú magnetickú indukciu (a teda aj intenzita okolitého magnetického poľa je prakticky nebadateľná).

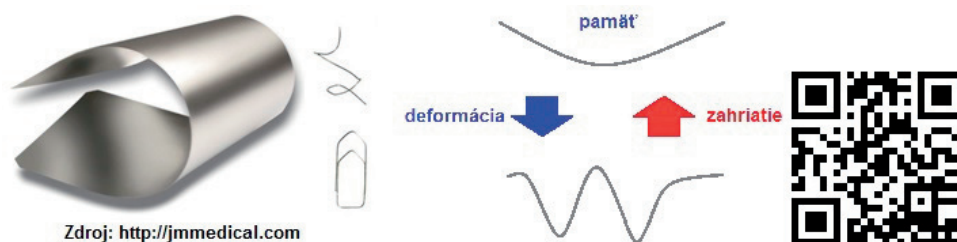


Obr. 36 Magnetické kvapaliny

Aktivita Zliatiny s tvarovou pamäťou (obr. 37)

Pamäťové kovy sú kovové zliatiny s tvarovou pamäťou. Môžeme ich pri izbovej teplote rôzne deformovať, no po zahriatí sa spontánne vrátia do svojho pôvodného „naprogramovaného“ tvaru.

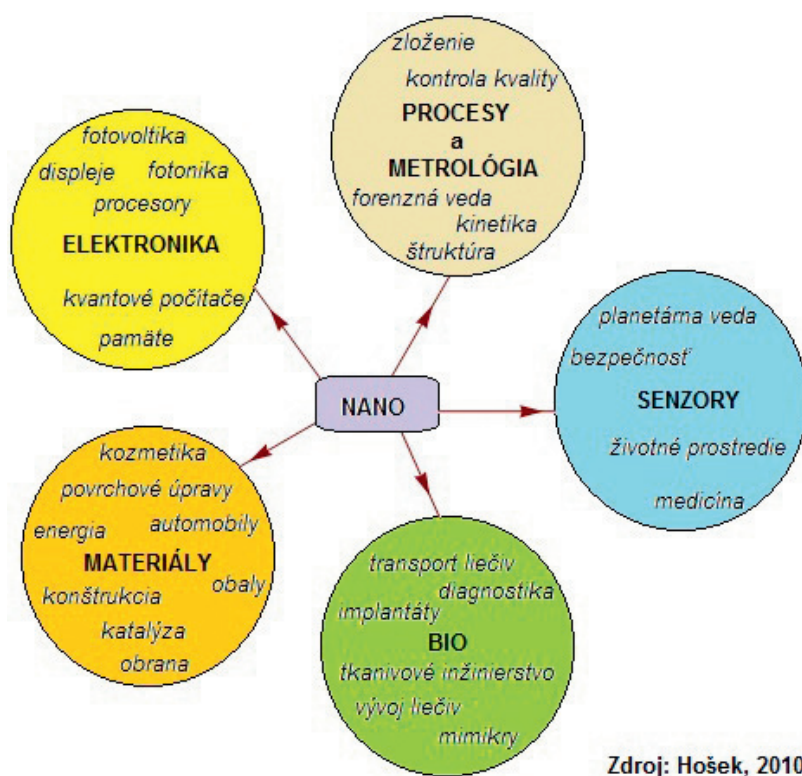
Naznámejší predstaviteľ týchto materiálov je nitinol, zliatina niklu a titánu, ktorého vzorku v podobe tenkého drôtu si môžeme zakúpiť na internete. Najprv je potrebné vzorku „naprogramovať“. Drôt vytvarujeme do požadovaného tvaru a dobre upevníme na podložke, pretože pri následnom ohrievaní bude mať tendenciu vracat sa do rovného tvaru. Na ohrievanie postačí teplovzdušná pištoľ – ohrievame pri teplote $150\text{ }^\circ\text{C}$ po dobu cca 5 min., potom pomocou klieští drôt vezmeme a rýchlo schladíme vo vode. Po „naprogramovaní“ si drôt pamätá definovaný tvar – vzorku môžeme teda ľubovoľne deformovať, na spontánny návrat do naprogramovaného tvaru postačí ponoriť ju do teplej (nie horúcej!) vody.



Obr. 37 Pamäťové kovy

2.3 Prehľad aplikačných oblastí nanotechnológií

Nanotechnológie v súčasnosti predstavujú azda najdynamickejšie sa rozvíjajúcu oblasť vo veľmi rozmanitých odboroch vedných disciplín a aplikačných možnosti (obr. 38). Dochádza aj ku komercionalizácii získaných poznatkov v podobe rôznych produktov, ktoré môžeme rozdeliť do niekoľkých generácií [5]. **Prvá generácia** nanoproduktov zahŕňa pasívne nanoštruktúry (napr. povlaky tenkých vrstiev, nanokompozitov a nanočastíc). **Druhá generácia** predstavujú aktívne nanoštruktúry plniace niektoré zložitejšie funkcie (napr. polovodičové prvky, LED diódy, nanosenzory, palivové a solárne články, nanoaktuátory alebo systémy využívajúce spintroniku). Do **tretej generácie** môžeme zaradiť vo všeobecnosti 3D aktívne systémy nanoelektroniky a nanomechaniky, biomimetické materiály a jednoduché organické stroje. **Štvrtú generáciu** tvoria nanosystémy – zo súčasného pohľadu ešte stále z oblasti skôr science-fiction – v podobe molekulárnych strojov s konštrukciou na úrovni jednotlivých atómov a molekúl, ktoré budú vykazovať v budúcnosti podobné vlastnosti, ako sú známe zo živých organizmov.



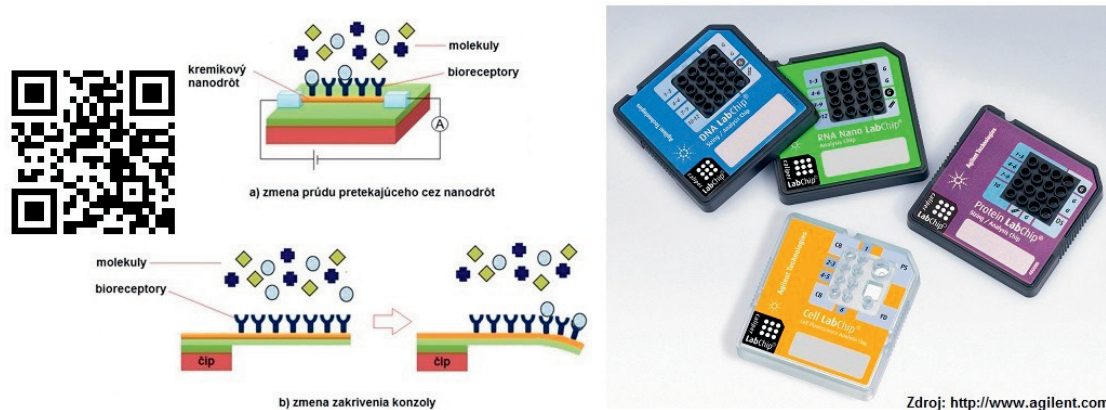
Obr. 38 Základné aplikačné oblasti využitia nanotechnológií

2.3.1 Nanomedicína

Nanotechnológie poskytujú nové možnosti a nástroje na pochopenie, spoznanie a vyliečenie chorôb. Nanomateriály majú často porovnateľnú veľkosť, prípadne aj menšiu ako mnoho biologických štruktúr. Taktiež si dokážu osvojiť biologickú funkčnosť, čo im umožňuje pôsobiť na bunky alebo vnútrobunecné štruktúry a procesy. Možnosti využitia nanotechnológií v nanomedicíne zahŕňajú aplikácie pre nanodiagnostiku, nanoliečbu a regeneratívnu medicínu [1, 8].

Biočipy a biosenzory (obr. 39) sú miniatúrne zariadenia, ktoré dokážu v krátkom čase zistiť prítomnosť iónov, molekúl alebo bielkovín z malej vzorky biologického materiálu – využívajú sa napr. v alkoholtesteroch, glukomeroch pre cukrovkárov či v tehotenských testoch. Vyvíjajú sa aj vysoko-citlivé diagnostické zariadenia na monitorovanie životných funkcií pacienta alebo chemické a biologické analyzátory, miniaturizované integrované laboratóriá, označované **Lab-on-Chip**, ktoré v jednom prístroji umožňujú izolovať aj analyzovať biologické vzorky.

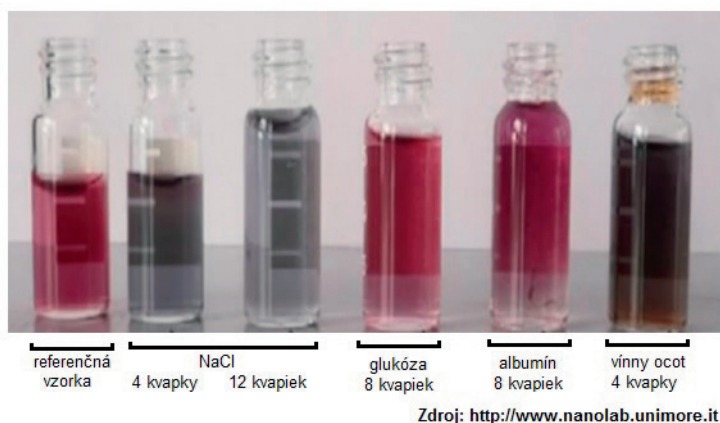
Pozostávajú z mikro- a nanoelektromechanických systémov vybavených systémom miniatúrnych spínačov, chlopní, trysiek, púmp, elektród a senzorov.



Obr. 39 Princíp práce biosenzorov (vľavo); DNA, RNA, proteínové a bunkové analyzátory (vpravo)

Aktivita Kolorimetrický senzor (obr. 40)

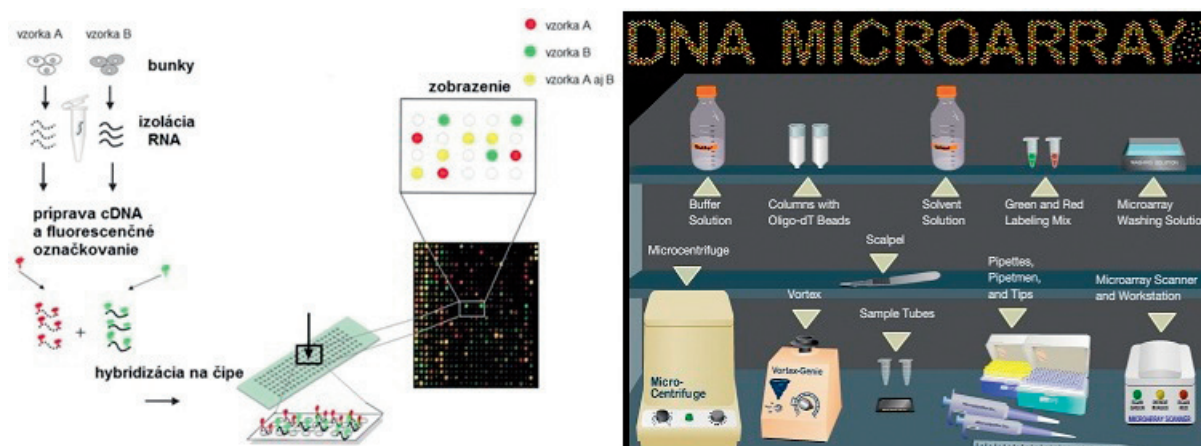
Ako vhodný kolorimetrický senzor môžeme na demonštráciu použiť zlatý koloid (príprava – pozri kapitolu 2.1 – aktivita Turkevichova metóda). Do 6 skúmaviek dáme 2 ml zlatého koloidu. Prvá skúmavka zostane referenčnou vzorkou. Do druhej pridáme 4 kvapky roztoku NaCl, do tretej pridáme 12 kvapiek roztoku NaCl, do štvrtej 8 kvapiek roztoku glukózy, do piatej 8 kvapiek zriedeného albumínu (získame rozmiešaním vaječného bielka v destilovanej vode) a do poslednej pridáme 4 kvapky vínneho octu. Pozorujeme, ako zlatý koloid reaguje zmenou farby na prítomnosť rôznych látok, ako aj na ich rozdielnu koncentráciu.



Obr. 40 Zlatý koloid ako kolorimetrický senzor

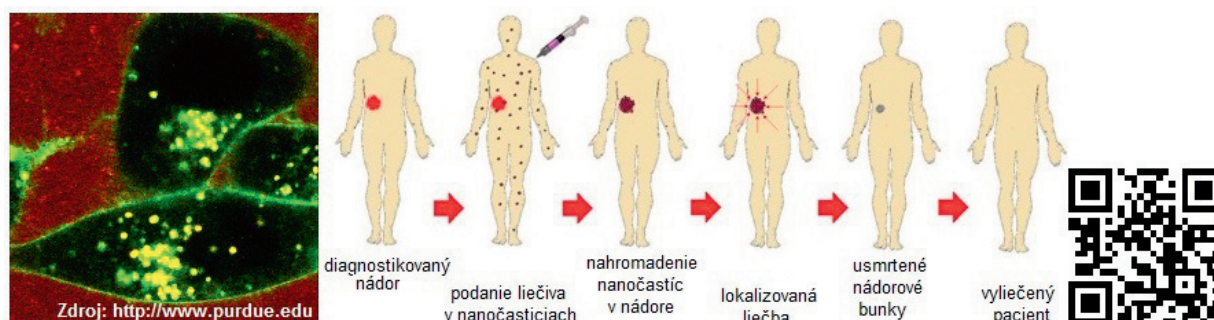
Aktivita DNA čipy (obr. 41)

DNA čipy umožňujú testovať vzorku na prítomnosť konkrétneho reťazca v DNA, čo pomáha pri diagnostike niektorých chorôb alebo výskume liekov. Proces testovania použitím DNA čipu sa začína izoláciou buniek zo zdravého aj napadnutého tkaniva, z ktorých je izolovaná RNA a vytvorená fluorescenčne označovaná komplementárna DNA. Pri následnej hybridizácii na DNA čipe dôjde k naviazaniu niektorých označených vlákien komplementárnej DNA na presne definované sekvencie DNA a výsledok sa vyhodnotí pomocou počítača. Celý spomínaný proces je možné absolvovať krok za krokom vo veľmi zaujímavo spracovanom virtuálnom laboratóriu „DNA microarray“ v kapitole 3 „Experiment“ (dostupné online na <http://learn.genetics.utah.edu/content/labs/microarray/>) formou interaktívneho prostredia a tutoriálu.



Obr. 41 Princíp práce DNA čipu (vľavo) a ukážka virtuálneho laboratória „DNA microarray“ (vpravo)

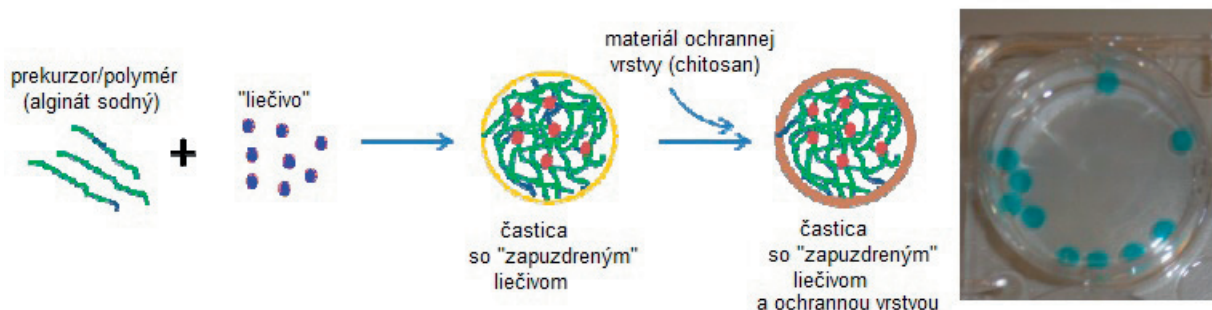
Špeciálne upravené **nanočastice** sa dokážu špecificky naviazať na určité typy látok alebo buniek v tele a môžu sa využiť v kontrastných látkach pri zobrazovacích medicínskych technikách, ako je napríklad magnetická rezonancia, vyšetrenie ultrazvukom alebo röntgenom. Zvláštnou vlastnosťou nanočastíc je ich schopnosť hromadiť sa v nádorovom tkanive, čo sa dá využiť pri **cielenej liečbe prehrievaním** (tzv. hypertermia). Nanofarmaceutický výskum sa zameriava aj na **nové druhy liekov** s vylepšeným mechanizmom cieleného transportu a uvoľňovania liečiva priamo na mieste choroby, čo maximalizuje ich účinok a minimalizuje nežiaduce vedľajšie účinky (obr. 42).



Obr. 42 Nanočastice s liečivom vstupujú do rakovinou napadnutej bunky (vľavo) a proces cieleného transportu liečiva (vpravo)

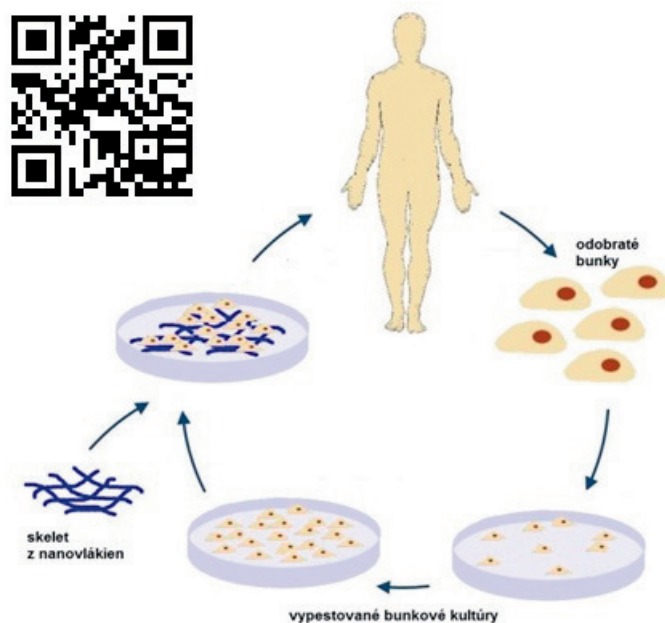
Aktivita Mikroenkapsulácia liečiva (obr. 43)

Na demonštráciu prípravy liečiva na transport v organizme je veľmi vhodná technika, ktorá sa zvykne označovať ako mikroenkapsulácia. Budeme na ňu potrebovať alginát sodný (Sigma-Aldrich 180947) a chlorid vápenatý CaCl_2 (Sigma-Aldrich 223506). Pridáme 2 g alginátu sodného do 100 ml vody a poriadne rozmiešame, aby sa prášok dokonale rozpustil, čím pripravíme 2 % roztok, ktorý zafarbíme niekoľkými kvapkami (najlepšie modrého) potravinárskeho farbiva. Rozpustením 10 g chloridu vápenatého v 1 l vody si pripravíme 1 % roztok chloridu vápenatého. Alginát je polymér s lineárnou štruktúrou. Pri pridávaní alginátu do roztoku CaCl_2 budú ióny Ca^{2+} slúžiť ako prepojovacie „mostíky“ medzi jednotlivými polymérnymi reťazcami a výsledkom je gélová štruktúra, v ktorej sú umiestnené „liečivá“ (farbivo alebo sirup). Samotné „zapuzdrenie“ prebieha ako proces samoorganizácie (pozri kapitolu 2.1) – pomocou pipety kvapkáme alginát do roztoku chloridu vápenatého a pozorujeme tvorbu drobných farebných gélových guľôčok (presnejšie by sa dalo povedať „ulít“, pretože vytvorené útvary majú pevný vonkajší obal a tekuté vnútro), ktoré v sebe obsahujú „liečivo“. Ak umiestnime pripravené gélové guľôčky do vody, po krátkom čase (už po cca 15 minútach) môžeme pozorovať spontánnu stratu farbiva z guľôčok („uvolňovanie liečiva“). Aby sme tomuto procesu predišli, urobíme ešte jedno zapuzdrenie pomocou „ulity“ z chitosanu (Sigma-Aldrich 448869) – guľôčky vložíme na cca 5 minút do roztoku, ktorý pripravíme z 1 g chitosanu a 50 ml destilovanej vody, do ktorej sme pridali 2 g kyseliny citrónovej (Sigma-Aldrich 251275). Takto povrchovo upravené častice umiestnime do destilovanej vody a v tomto prostredí vydržia stabilné aj pomerne dlhý čas a bez straty farbiva. Cielené postupné uvoľnenie „liečiva“ môžeme dosiahnuť v kyslejšom prostredí (napríklad v mlieku).



Obr. 43 Princíp mikroenkapsulácie liečiva a výsledné pripravené častice

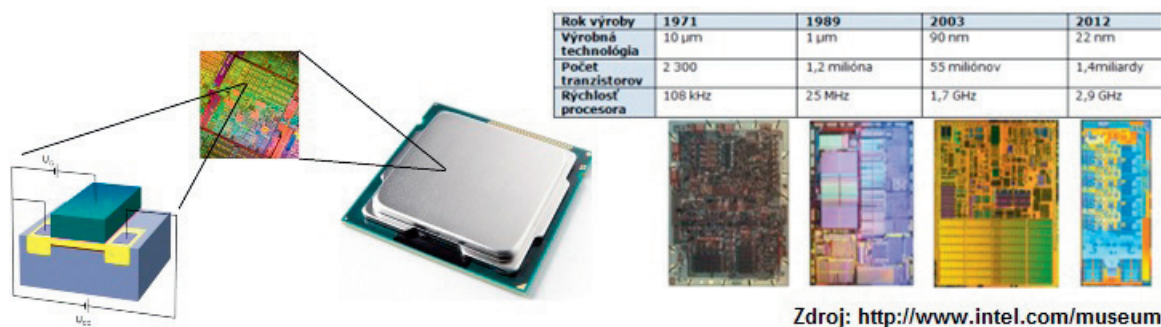
Tkanivové a biomateriálové inžinierstvo sa zaoberá vytváraním nových biokompatibilných materiálov a tkanív v laboratórnych podmienkach, ktoré sú následne chirurgicky umiestňované do tela pacienta, alebo podporou regenerácie poškodeného tkaniva priamo v tele pacienta použitím umelých štruktúr alebo implantátov zo živých buniek (obr. 44), čo sa využíva najmä pri hojení poškodených tkanív, po transplantáciách orgánov alebo implantácii umelých orgánov, napr. umelých kĺbov.



Obr. 44 Proces prípravy nového tkaniva

2.3.2 Nanoelektronika

Sektor informačných a komunikačných technológií zaznamenal za posledné desaťročia dramatický vzostup [1, 8]. Bolo potrebné, aby sa zvýšila výkonnosť počítačov, čo sa podarilo vďaka výrobe tranzistorov pomocou nových výrobných technológií. Nanotechnológie ponúkajú postupy na výrobu tranzistorov v stále menších rozmeroch (obr. 45) a zvyšovanie ich počtu (v súčasnosti až niekoľko miliárd!) na jednom čipe, čím sa zvyšuje výkon procesora.



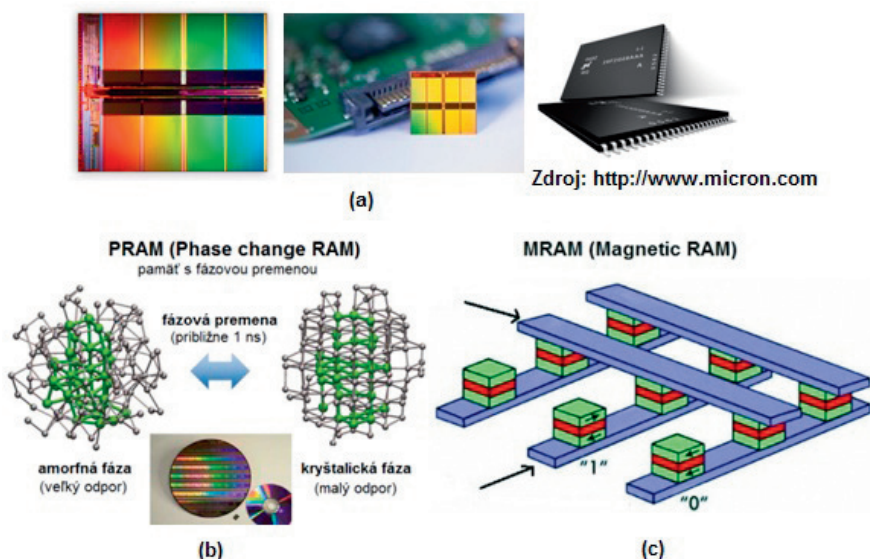
Obr. 45 Porovnanie výrobných technológií, počtu tranzistorov a rýchlosti procesorov

Procesory a ďalšie nanoelektronické prvky sa vyrábajú nanolitografickými technikami (pozri kap. 2.1) v „ultračistých“ priestoroch (obr. 46), tisíckrát čistejších, ako sú operačné sály, pretože akékoľvek drobné nečistoty, prachové častice či mikróby môžu ovplyvniť funkčnosť procesora.



Obr. 46 Čisté priestory firmy Micron (vľavo) a Ústavu elektroniky a fotoniky FEI STU v Bratislave (vpravo)

Nanotechnológie ovplyvňujú aj **pamäťové technológie** (obr. 47). SSD disky využívajúce flash tranzistory umožnili ďalšiu miniaturizáciu v oblasti počítačovej techniky – zaberajú menej miesta, majú nižšiu spotrebu, vyššiu odolnosť a ponúkajú rýchlejší prístup k uloženým dátam.

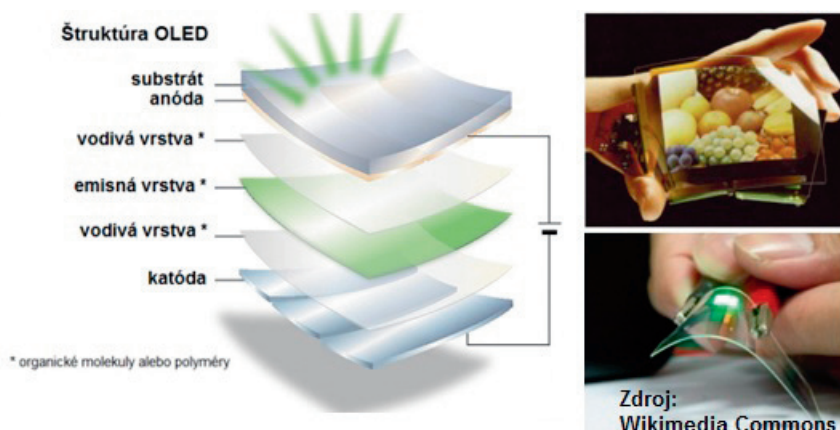


Obr. 47 Nové pamäťové technológie: (a) NAND flash pamäte vyrábané 34 nm a 16 nm technológiou, (b) pamäť PRAM s fázovou premenou, (c) magnetická pamäť MRAM

Perspektívne koncepcie predstavujú pamäte PRAM (Phase-change memory) využívajúce fázovú premenu materiálu. Fázová premena prebieha aj v prepisovateľných DVD diskoch – ich špeciálna vrstva zmení účinkom tepelného šoku z laserového impulzu svoju fázu lokálne z „kryštalickej“ na „amorfnú“, a tým zmení aj svoje reflexné vlastnosti, takže sa dá zapísať čitateľná bitová štruktúra. Dlhšie a silnejšie pôsobenie lasera potom spätne zmení amorfné miesta na kryštalické a DVD sa dá znovu zapisovať. V pamätiach PRAM fázová zmena neprebíha opticky, ale elektronicky. Krátke elektrické impulzy menia materiál na amorfný s vysokým elektrickým odporom, dlhšie impulzy ho menia opäť na kryštalický s nízkym odporom. Pri samotnom procese čítania informácie sa teda zisťuje odpor pamäťových prvkov. PRAM by mohla umožniť aj vysokú hustotu zápisu (jeden terabit dát veľkosti poštovej

známky!). Svoje uplatnenie v elektronike nachádzajú už aj prvky využívajúce spintroniku, ktoré okrem elektrických vlastností elektrónu využívajú aj jeho magnetické vlastnosti, teda spin. Pevné disky disponujú tenkovrstvovými čítacími hlavami, ktoré na základe obrovského magnetického odporu (GMR – giant magnetoresistance) odhalia veľmi malé magnetické domény a umožňujú veľmi vysokú hustotu zápisu. Ďalším príkladom využitia spintroniky môžu byť magnetické pamäte MRAM ukládajúce informáciu v spine magnetických vrstiev.

Elektricky vodivé polyméry predstavujú perspektívne materiály kombinujúce elektrické vlastnosti kovov, príp. polovodičov s výhodami polymérov, ako je malá hmotnosť, ľahká spracovateľnosť, odolnosť voči korózii a chemickým vplyvom či nízka cena. Ich objavom sa vytvoril priestor pre úplne nové odvetvie, tzv. „plastovú“ elektroniku. Technológie na báze polymérov a tenkých vrstiev organických molekúl vykazujúci schopnosť elektroluminiscencie majú perspektívne využitie napr. v nových typoch displejov a svetloemitujúcich prvkov a zariadení, ako sú organické/polymérne svetloemitujúce diódy (OLED/PLED – organic/polymer light-emitting diodes), svetloemitujúce elektrochemické články (LEC – light-emitting electrochemical cells) alebo svetloemitujúcich FET tranzistorov (LEFET – light-emitting field effect transistors), ktoré môžu priniesť do elektroniky tenšie, ľahšie a flexibilné displeje s dobrou kvalitou obrazu a menšou spotrebou energie ako LCD displeje.



Obr. 48 OLED displeje

Ďalší vývoj v oblasti informačných a komunikačných technológií prekročí hranice toho, čo si dnes predstavujeme pod pojmom „elektronika“ – existujú vízie, že elektronika bude zakomponovaná do nášho oblečenia alebo do nášho okolitého prostredia, vytvárajúc tak multifunkčnú inteligentnú sieť.

2.3.3 Nano okolo nás

Aktivita Nanorama-Loft

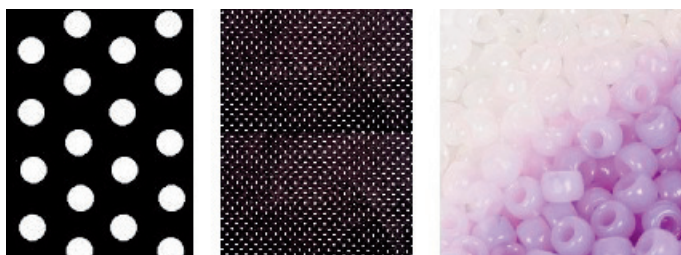
Niekedy využívame nové technológie v našom okolí bez toho, aby sme si priame prepojenie na „nano“ uvedomovali. Základný prehľad nám môže ponúknuť aktivita Nanorama-Loft, v ktorej sa pohybujeme po byte a hľadáme v ňom 42 rôznych nanoproduktov, ktoré sú bežne dostupné na trhu. Táto jednoduchá, aplikačne orientovaná, ale vizuálne príťažlivá hra vznikla ako súčasť švajčiarskej národnej nanoedukačnej platformy Swiss Nano-Cube a je voľne dostupná online prostredníctvom ich webstránky <http://www.swissnanocube.ch/en/home/>.

V súčasnosti je už na trhu dostupných viac ako 1 000 druhov nanoproduktov [5]. Stretnúť sa s nimi môžeme aj v predmetoch každodennej potreby [1]. **Kozmetické výrobky** využívajú nanočastice na transport vitamínov a ďalších dôležitých látok aj do hlbších vrstiev kože, čím ju vyživujú, chránia pred starnutím alebo zabezpečujú jej obnovu. Nanočastice chránia pokožku pred UV žiarením v opaľovacích krémoch. Môžeme ich nájsť aj v prípravkoch zubnej hygieny, telových dezodorantoch a sprejoch, šampónoch či v produktoch dekoratívnej kozmetiky.

Čistiace a ošetrojúce prípravky uľahčujú každodennú starostlivosť o domácnosť. Nanotechnológie sa stávajú súčasťou prostriedkov na pranie, ošetrovanie okien, podláh, nábytku, sanity.

Aktivita Opaľovací krém (obr. 49)

Opaľovacie krémy „vďaka“ svojej ochrannej schopnosti obsahu častíc schopných absorbovať dopadajúce ultrafialové žiarenie – samotný termín „ochranný faktor“ predstavuje počet týchto častíc v jednotkovom objeme krému (čím viac častíc, tým väčší protektívny účinok). Na experiment použijeme „magické“ koráliky obsahujúce špeciálny pigment citlivý na ultrafialové žiarenie, ktoré sa dajú zakúpiť na internete. Niekoľko korálikov rozdelíme do dvoch plastových vrecúšok. Na jedno vrecúško nanesieme vrstvu opaľovacieho krému. Obe vrecúška potom vystavíme na niekoľko minút pôsobeniu slnečného žiarenia (alebo ožiarime pomocou prenosnej UV lampy), čím dôjde v dôsledku pohlteného žiarenia k sfarbeniu korálikov, ktoré nemali ochrannú vrstvu opaľovacieho krému. Nanotechnológie umožňujú pripravovať opaľovacie krémy, ktoré obsahujú nanočastice, ktoré (v porovnaní s väčšími časticami) pokrývajú celú plochu rovnomernejšie v súvislej vrstve aj pri menšom množstve nanoseného krému, pričom zaisťujú rovnakú ochranu. Navyše sú takéto krémy v dôsledku nanorozmerov použitých častíc transparentné a nevytvárajú na pokožke bielu vrstvu.



Obr. 49 Optické porovnanie chránenej plochy pri použití väčších, resp. menších častíc a zmena sfarbenia „magických“ korálikov pri ožiarení

Nanotextílie a výrobky z nich je možné nájsť v rôznych aplikáciách, kde sa vyznačujú najmä odolnosťou voči vode, špine, ohňu alebo statickej elektrine. Aerogél im dodáva izolačné vlastnosti aj v extrémnych teplotných podmienkach. Nanočastice striebra v ponožkách a topánkach pôsobia proti mikróbom a proti zápachu. Zakúpiť si môžeme špeciálne športové odevy, ktoré dokážu meniť svoju pevnosť pri nárazoch. Elektricky vodivé textílie umožňujú elektrické vyhrievanie, zabudovanie miniatúrnych senzorov alebo flexibilných solárnych článkov priamo do výrobku.

Aktivita Superhydrofóbné povrchy (obr. 50)

Pomocou vzorky nanotextílie (resp. textílie, ktorú povrchovo ošetríme nanosprejom) môžeme demonštrovať lotosový efekt (pozri kapitolu 1.2). Tento efekt sa uplatňuje jednak pri povrchovej ochrane textílie voči účinkom vody, jednak aj pri ochrane pred znečistením, čo uľahčí následné čistenie (a v konečnom dôsledku ušetrí naše financie aj životné prostredie) – na otestovanie môžeme na nanotextílii vyrobiť škvrny napríklad od oleja, kečupu alebo fixiek a pokúsiť sa ich odstrániť čistou vodou. Ochranná, tzv. superhydrofóbná (vodooodpudivá) vrstva môže byť aplikovaná aj na iné materiály, ako je drevo, koža, keramika alebo betón. Veľmi efektná je demonštrácia superhydrofobicity použitím tzv. magického piesku (môžeme zakúpiť v hračkárstve alebo na internete). Magický piesok nanesieme do misky a kvapkadlom naň kvapkáme kvapky vody, ktoré piesok nezmacajú, ale voľne sa po ňom kotúľajú. Piesok môžeme aj postupne sypať do nádoby s vodou, pričom zostáva stále suchý, o čom sa môžeme presvedčiť pri jeho vyberaní z vody pomocou lyžice.



Obr. 50 Superhydrofóbný povrch nanotextílie (vľavo) a magického piesku (vpravo)

Tenisové rakety, golfové palice, bicykle, rybárske prúty, lukostrelecké šípy a ďalšie športové potreby využívajú hlavne materiály z uhlíkových nanotrubic a nanočastíc oxidu kremičitého, ktoré dodávajú potrebnú ľahkosť, pružnosť alebo pevnosť.

Nanotechnológie našli už svoje uplatnenie aj v **potravinárskom priemysle**. Vitamíny, živiny a ochucovadlá sú pridávané do jedál a nápojov formou nanočastíc. Obalové technológie využívajú nanovrstvy s ochranou proti UV žiareniu, vlhkosti, baktériám, oxidu uhličitému a kyslíku.

Nanosenzory umiestnené na obaloch môžu signalizovať čerstvosť zabalených potravín, ich vhodnú teplotu alebo prípadnú kontamináciu nebezpečnými baktériami.

Aktivita Antimikrobiálne účinky striebra

Na jednoduchý experiment preukazujúci účinky striebra potrebujeme dve rovnaké uzatvárateľné misky na potraviny. Vnútro jednej ošetríme strieborným koloidom, ktorý zakúpime v lekárni. Do misiek vložíme vhodné rýchlokaziace sa potraviny a uložíme na týždeň do chladničky. Po týždni je rozdiel v kvalite uskladnených potravín jednoznačne badateľný.

Bohatou aplikačnou sférou nanotechnológií je automobilový priemysel. Nanokompozitné materiály zložené z nanočastíc a polymérov sú mimoriadne ľahké, no silnejšie než oceľ. Konštruktérom ponúkajú možnosti, ako vyrobiť „ľahké“ automobily s dlhšou životnosťou a vyššou úsporou paliva. Vylepšené autolaky ponúkajú karosérii ochranu proti škrabancom, žiarivý a dlhotrvácny lesk, ako aj samočistiace schopnosti. Tenkovrstvové filmy na oknách odpudzujú vodu aj mastné škvrny, sneh, ľad, hmyz či iné nečistoty („neviditeľné“ stierače). Nanočastice ako prísady do oleja znižujú trenie v motore, ktorý má potom vyššiu účinnosť a šetrí palivo. Vlastnosti pneumatík významnou mierou ovplyvňujú pridávané nanočastice, ktoré napomáhajú, aby pneumatiky vydržali dlhšie, mali lepšiu priľnavosť k vozovke a kládli menší odpor.

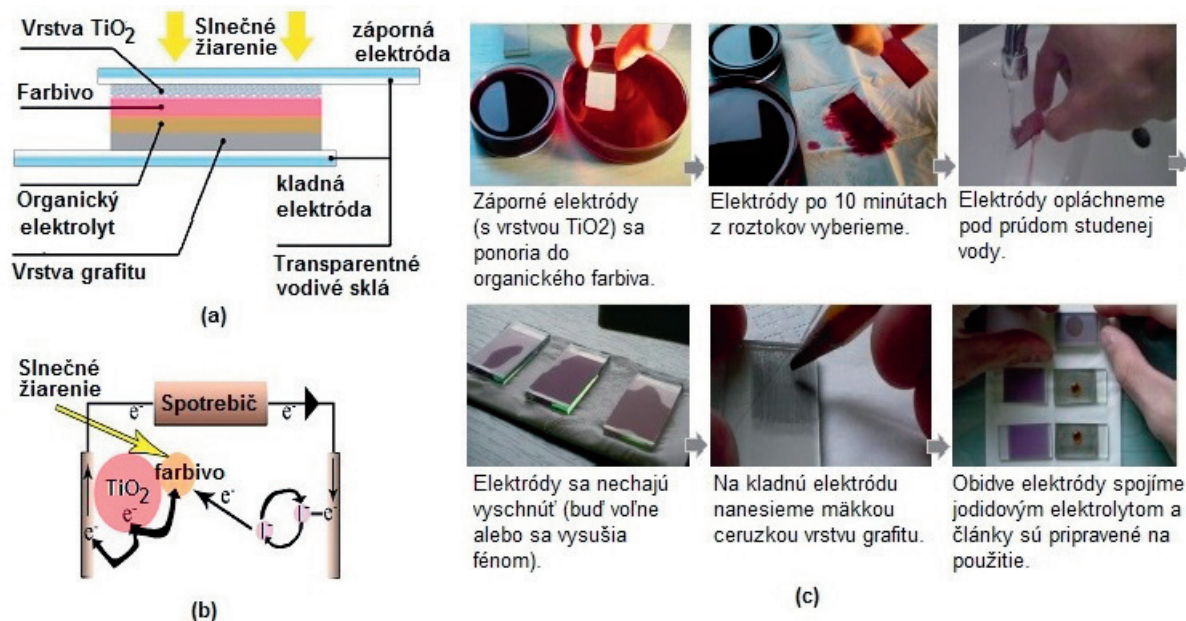
Významnú úlohu majú nanotechnológie aj v stavebnom priemysle. Izolačné okná, ktoré znižujú tepelné straty, využívajú nanočastice oddelené nanopórmami vyplnenými vzduchom. Nanovrstva z nehrdzavejúcej ocele nanosená na záclonách či žalúziách pohlcuje infračervené žiarenie, blokuje šírenie tepla aj svetla cez okná, čím znižuje izbovú teplotu a v horúcich dňoch šetrí náklady na klimatizáciu. Tenšie steny domov je možné dosiahnuť vďaka izolačným vlastnostiam aerogélu. Ochranné nátery stien chránia materiály pred zmenou farby vplyvom UV žiarenia, dodávajú im samočistiace schopnosti, robia ich odolnými voči vode, graffiti alebo dokonca aj ohňu. Kvalitu betónu je možné zlepšiť pridávaním uhlíkových nanotrubic a ďalších nanomateriálov. Betón je pevnejší, trvácnejší, rýchlejšie tvrdnúci, ale aj schopný samoopravy drobných defektov.

Nanomateriály sa využívajú v technológiách na filtráciu a čistenie vzduchu a vody – zachytávajú a ničia choroboplodné zárodky, rôzne organické nečistoty, ale aj ťažké kovy alebo molekuly oxidu uhličitého. Nanotechnológie pomáhajú vylepšovať a hľadať lacnejšie a efektívnejšie zdroje elektrickej energie, ako sú napríklad vylepšené palivové články s vyššou efektivitou, výkonnejšie batérie s väčšou kapacitou a menšou hmotnosťou či nové typy solárnych článkov – ľahšie, flexibilné, priesvitné, lacnejšie.

Aktivita Grätzelove články (obr. 51)

Grätzelov článok (nazývaný aj Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC) bol vynájdený skupinou profesora Michaela Grätzela vo Švajčiarsku v roku 1991. Ide o kombináciu molekúl farbív slúžiacich na zachytávanie svetla a nanočastíc oxidu titaničitého v úlohe polovodiča. Jav, ktorý sa v ňom odohráva, bol pomenovaný ako „umelá fotosyntéza“. Tento termín je akýmsi synonymom pre technológie na základe DSSC, teda solárneho článku využívajúceho prírodné farbivá. Prírodný list je nahradený pórovitou vrstvou oxidu titaničitého a chlorofyl vrstvou farbiva. Molekula farbiva absorbuje časť svetla (fotón). Energia obsiahnutá v tomto fotóne je prenesená na jeden elektrón v molekule farbiva a elektrón sa stane mobilným. Disponuje takou energiou, že je schopný prejsť vrstvou TiO_2 až k spotrebiču. Po odovzdaní svojej energie spotrebiču

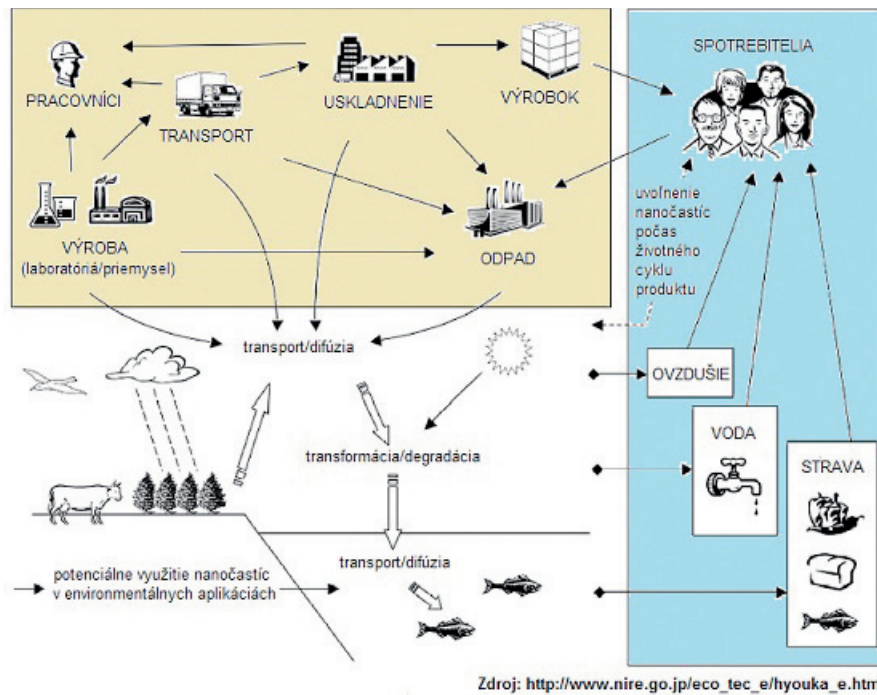
sú elektróny absorbované kladnou elektródou a následne sa vrátia na svoje pôvodné miesto cez vrstvu iónov v elektrolyte do molekúl farbiva, ktorým chýba elektrón. Na účinnejší prenos elektrónov sa používa katalyzátor – vrstva grafitu (napr. z ceruzky) nanesená na vodivej vrstve kladnej elektródy. Hotový set na výrobu Grätzelových článkov môžeme zakúpiť na internete a v laboratóriu experimentovať s rôznymi farbivami (ibištekový čaj, kurkuma, brusnicová alebo čučoriedková šťava a iné).



Obr. 51 Grätzelov článok: (a) štruktúra, (b) princíp činnosti, (c) postup pri konštrukcii

2.4 Etické, legálne a sociálne aspekty využívania nanotechnológií

Po počiatočnom všeobecnom nadšení a vizionárskych myšlienkach o možnostiach nanotechnológií už vedci v súčasnosti varovne zdvíhajú ukazovák, pretože ako každá nová technológia aj nanotechnológie predstavujú nesporne veľký prínos, ktorý je však sprevádzaný potenciálnymi environmentálnymi a zdravotnými rizikami [5, 9]. Nanotechnológie a nanomateriály v rôznej podobe boli na svete od nepamäti. Sú súčasťou živej aj neživej prírody – jednotlivé organizmy v sebe obsahujú nanostroje a nanoštruktúry, ktoré sa bežnými procesmi dostávajú do pôdy, vody a vzduchu (napríklad vo vzduchu v miestnosti bežnej veľkosti je bežne 10^3 až 10^6 nanočastíc rôzneho typu a pôvodu). Do životného prostredia sa však stále vo väčších množstvách dostávajú nanočastice ako odpady z použitých nanovýrobných (obr. 52). Umelo vytvorené nanočastice môžu byť aj nebezpečné, a to jednak kvôli svojim rozmerom (čím sú častice menšie, tým hlbšie do tela môžu preniknúť, a tým viac škody napáchať), jednak kvôli svojim katalytickým schopnostiam, ktorými ovplyvňujú priebehy bežných fyziologických procesov.



Obr. 52 Nanomateriály/nanočastice a ich životný cyklus v životnom prostredí

Aktivita nanočastíc a ich mobilita vo všeobecnosti závisí od ich veľkosti, tvaru, rozpustnosti a ďalších vlastností, preto je zložité definovať nejaký materiál ako nebezpečný. Nanočastice majú tendenciu k agregácii a aglomerácii do väčších celkov, takže ich potenciálna nebezpečnosť sa môže postupom času meniť. Mnohé potenciálne riziká ešte stále nie sú známe, a preto je nutné nanomateriálom a štúdiu ich toxicity venovať patričnú pozornosť. Je potrebné zaoberať sa aj problematikou odpadov z produkcie a využívania nanotechnológií a vymyslieť nové postupy likvidácie takéhoto odpadu, aby nebolo ohrozené životné prostredie ani ľudia.

Okrem spomínaných zdravotných a environmentálnych aspektov sa ozývajú aj hlasy, že nanotechnológie môžu rozšíriť priepasť medzi vyspelými a rozvojovými krajinami, podobne ako je to v prípade „digitálneho“ rozdelenia sveta, pretože zatiaľ to naozaj vyzerá tak, že väčšina možností využitia nanotechnológií vyhovuje vyspelým krajinám, spomeňme napr. opaľovacie krémy, počítače, športové potreby. Tento trend však nemusí pokračovať, pretože pri správnom využívaní by úžitok z nanotechnológií mohli mať všetci. Ide hlavne o oblasti ako nanomedicína, energetika či informačné a komunikačné technológie. Výhodou nanotechnológií totiž je, že ich stačí len navrhnuť a samotná výroba už môže byť pomerne lacná, a teda výsledné produkty dostupné všetkým.

Klimatické zmeny a zvyšujúci sa dopyt po lacnejších energetických zdrojoch predstavujú globálne problémy ľudstva. Nanotechnológie tu ponúkajú hneď niekoľko sľubných riešení. Výskum sa orientuje na nové typy solárnych článkov, ktoré by boli lacnejšie a efektívnejšie ako doterajšie. Nové druhy svetelných zdrojov môžu pomôcť znížiť energetické nároky. Vylepšené konštrukčné materiály v automobilovom priemysle umožnia zníženie spotreby paliva. Nanočastice je možné využiť na čistenie a detoxikáciu vody, čo umožní prístup k pitnej vode aj v oblastiach, kde je to v súčasnosti problém.

Vďaka nanotechnológiám je možné vyrábať menšie, výkonnejšie a rýchlejšie elektronické zariadenia. Ďalšia miniaturizácia môže do budúcnosti viesť k označovaniu všetkého, čo kúpime, identifikačnými štítkami s veľkosťou niekoľko nanometrov, čo nám umožní získať prehľad o všetkom, čo kúpime. Môže to znížiť aj počet krádeží a zvýšiť našu osobnú bezpečnosť, no existujú aj obavy z možnej straty súkromia jednotlivcov.

Spolu s novými príležitosťami pre nanotechnológie prichádza aj zodpovednosť a je potrebné, aby sme našli spôsob ich bezpečného využívania a zároveň im umožnili ďalší rozvoj, aby sa pre nás mohli stať užitočné. Dôležitú úlohu v tom zohrávajú vlády jednotlivých štátov, ktoré musia zabezpečiť bezpečný pokrok v nanotechnológiách, napr. zadávaním výskumných projektov a prijímaním zákonov, ktoré zabezpečia tak ochranu zdravia, bezpečnosti a životného prostredia, ako aj vedecký pokrok. Časť zodpovednosti je aj na pleciach samotných výrobcov nanoproduktov, ktorí by mali zabezpečiť, aby ich výrobky boli nielen prospešné, ale aj bezpečné. Nuž a v neposlednom rade istú mieru zodpovednosti máme aj my ako spotrebitelia a užívatelia nanotechnológií, obzvlášť mladá generácia, ktorá rastie do „nanobudúcnosti“. Preto je nevyhnutné poskytnúť jej objektívne a vedecky podložené informácie, aby sa nestala len obeťou reklamných spotov (alebo „anti-nano“ názorových skupín...) a mohla sa aktívne zapojiť do debaty o nanotechnológiách v spoločnosti.

3/ Didaktické prístupy k začleňovaniu problematiky nanovedy a nanotechnológií do vyučovania

Nanoveda a nanotechnológie ponúkajú učiteľom nový nástroj, ako priniesť atraktívnu vedu a technológiu do tried. Nanotechnológie sa už v súčasnosti využívajú v mnohých zariadeniach, ktoré žiaci dennodenne používajú, ako napr. počítače, mobilné telefóny, iPody. V budúcnosti bude dostupných stále viac a viac výrobkov, ktoré nejakým spôsobom využívajú nanotechnológie alebo nanomateriály. Preto presun „nano“ do školských tried znamená priniesť najnovšie vedecké poznatky a začať hovoriť o ich perspektívach a možnostiach. Na základe odporúčaní a medzinárodných skúseností s nano-edukáciou by sa žiaci mali začať učiť o nanovede a nanotechnológiách už na druhom stupni ZŠ, aj keď popularizačno-náučné nanoaktivity by mali smerovať už k deťom vo veku od 5 rokov (tab. 1).

Tab. 1 Prehľad základných odporúčaní pre obsah a spôsob komunikácie o nanovede a nanotechnológiách (podľa *Report from the Workshop: Communication Outreach in Nanotechnology: from recommendations to action*) [10]

Veková kategória Ciele aktivít a ústredné myšlienky	Aktivity
Deti (5-13 rokov) - stimulovať zvedavosť - ovplyvniť rodičov „Nano je super“ „Nano je zábavné“ „Nano je zaujímavé“	- výstavy v kultúrnych centrách, vedeckých múzeách - aktivity v školách - hry, kreslené filmy - nano prehliadky, divadlá, festivaly - internet, TV, rozhlas - priateľský sprievodca, maskot, sympatická postavička, ktorá ukáže deťom nanosvet
Mládež (14-18 rokov) - stimulovať záujem - podporovať klasický postoj a stimulovať ich, aby sa stali zodpovednými občanmi „Nano je trendy“ „Nano je zábavné“ „Nano je intelektuálna výzva“ „Môžete niečo zmeniť“	- internetové portály, podcasty, nové médiá - organizované diskusie - odporúčania a vyjadrenia celebrit o vede - návštevy známych vedcov v školách - festivaly a divadlá - súťaže (video a umelecká tvorba) - interaktívne zábavné aplikácie – experimenty - návštevy laboratórií a ukážky experimentov
Mládež (19-22 rokov) - stimulovať záujem o vedeckú kariéru a prehĺbiť záujem o príležitostiach vo vede - vychovať zodpovedných občanov „Nano je budúcnosť“ „Nano je zaujímavé a predstavuje ambiciózne profesionálne príležitosti“ „Môžete niečo zmeniť“	- dni otvorených dverí vo výskumných laboratóriách - internet a filmy - súťaže - divadlá, hry, konferencie, prehliadky

V rámci EÚ prebehli za posledné desaťročie viaceré pilotné nanoedukačné školské projekty (napr. Time for Nano, NANOYOU, Nanochannels, Nanopinion) do značnej miery ovplyvnené predošlými výsledkami práce a materiálmi z nanocentier z USA (zoznam vybraných nanoedukačných centier a projektov spolu s ich internetovými adresami je v prílohe B). V rámci spomínaných projektov boli spracované aj metodické a edukačné materiály (obr. 53) vhodné pre vekovú skupinu 11- až 19-ročných žiakov, ktoré tvoria základ odporúčaného nanokurikula (tab. 2) [6, 11].



Obr. 53 Portál projektu NANOYOU s metodickými a edukačnými materiálmi v slovenskom jazyku (dostupné online na <http://www.nanoyou.eu>)

Tab. 2 Odporúčané nanokurikulum pre druhý stupeň ZŠ a SŠ (podľa NANOYOU in School: Communicating NANOTEchnology to European YOUth) [11]

Oblasť	Témy
Nanoveda	javy a vlastnosti
	charakterizačné techniky
	prírodné inšpirácie
Nanotechnológia	výrobné postupy
	aplikácie
ELSA	etické, legálne a sociálne aspekty využívania nanotechnológií

Jedna z otázok, ktoré si učiteľ musí zodpovedať, je, ako vložiť nanovedu do konvenčného kurikula tradičných vedeckých disciplín – chémie, fyziky alebo biológie (tab. 3 a 4). Nanoveda nepredstavuje úplne novú vednú disciplínu. Je to len pomenovanie oblasti výskumu fenoménov a procesov na úrovni nanorozmerných objektov – tieto objekty a javy tvoria súčasť bádania v mnohých klasických vedných

oblastiach, sú základom štúdia väčšiny prírodovedných disciplín (chémie, biochémie, fyziky). Avšak zostrojenie nových zariadení schopných skúmať nanosvet a manipulovať s nanoobjektmi, ako aj objavy nových nanomateriálov vyústili v zmenu pohľadu na metódy a spôsoby, ako sú materiály vyrábané, a v ich nové možnosti využitia. Preto je možné charakterizovať nanovedu skôr ako evolučný krok v tradičných vedeckých disciplínach. Nanotechnológie však môžu priniesť revolučné aplikácie a nástroje do života celej spoločnosti a výrazným spôsobom ju v budúcnosti ovplyvniť.

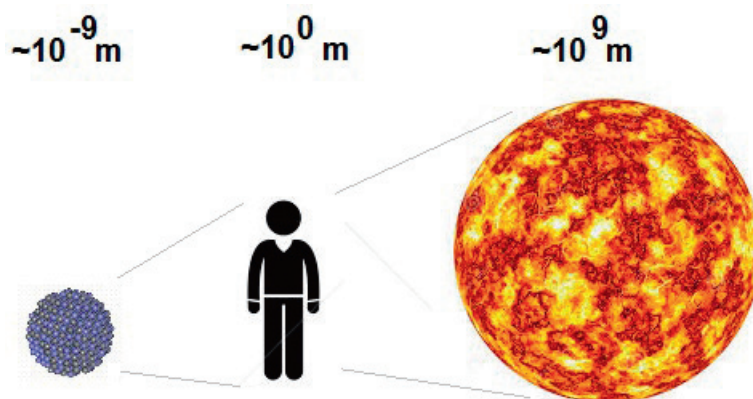
Tab. 3 Možnosti začlenenia nanovedy a nanotechnológií do kurikula predmetov ZŠ a SŠ (podľa ISCED 2 a ISCED 3) [12, 13, 14, 15]

Vzdelávacia oblasť	Predmet	Vhodné témy zo Štátneho vzdelávacieho programu
Človek a príroda ISCED 2	Fyzika	Skúmanie vlastností kvapalín, plynov a pevných telies
	Chémia	Zloženie látok
	Biológia	Organizácia živej hmoty organizmov, dedičnosť a premenlivosť organizmov
Človek a príroda ISCED 3A ISCED 3C	Fyzika	Vlastnosti kvapalín a plynov, elektromagnetické žiarenie, častice mikrosveta
	Chémia	Chemická väzba a štruktúra látok
	Biológia	Stavba a organizácia tela živých organizmov
Odborné vzdelávanie ISCED 3C	Technické a technologické vzdelávanie	Materiály a technológie, fyzikálna podstata javov elektrotechniky a ich využitie

Tab. 4 Prepojenie nanovedy a nanotechnológií na kľúčové kompetencie žiakov ZŠ a SŠ (podľa ISCED 2 a ISCED 3) [12, 13, 14, 15]

Vybrané rozvíjané kľúčové kompetencie žiakov
Komunikatívne a sociálno-interakčné spôsobilosti - orientovať sa, získať, rozumieť a aplikovať rôzne informácie
Intrapersonálne a interpersonálne spôsobilosti - overovať získané poznatky, kriticky posudzovať názory, postoje a správanie druhých
Schopnosť tvorivo riešiť problémy - zhodnotiť význam rozmanitých informácií, samostatne zhromažďovať informácie, vytriediť a využiť len tie, ktoré sú pre objasnenie problému najdôležitejšie

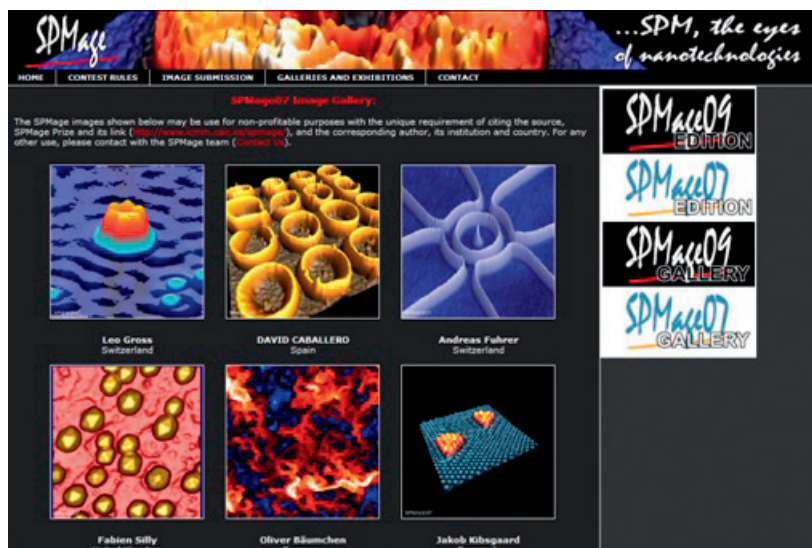
Definícia nanovedy a nanotechnológií spravidla prináša so sebou definíciu nanometra (nm) ako miliardtiny metra. Aj keď existuje veľa objektov, ktoré je možné uviesť ako príklady (napr. šírka DNA sú 2 nm), ich mentálna vizualizácia je veľmi ťažká dokonca aj pre dospelých. Preto najdôležitejšou časťou pri výučbe musí byť pochopenie významu dimenzionality (obr. 54), ktorá determinuje javy a procesy nanosveta. Aj preto má didaktika nanovedy a nanotechnológií svoje špecifiká. Zdôrazňuje prístup založený na oboznamovaní sa s nosnými konceptmi pomocou objektov, ktoré žiaci poznajú. Využiť môžeme experimenty, pri ktorých sa odlišujú vlastnosti nanomateriálov od vlastností materiálov v makroobjektoch (pozri napríklad aktivitu Magnetické kvapaliny – kapitola 2.2.2), ako aj bádateľské aktivity (pozri napríklad aktivitu Reaktivita – kapitola 1.1). Pri aplikačne zameranom prístupe môžu žiaci v škole priamo skúšať vlastnosti nanovýrobných a nanomateriálov komerčne dostupných na trhu (pozri napríklad aktivitu Superhydrofóbne povrchy – kapitola 2.3.3).



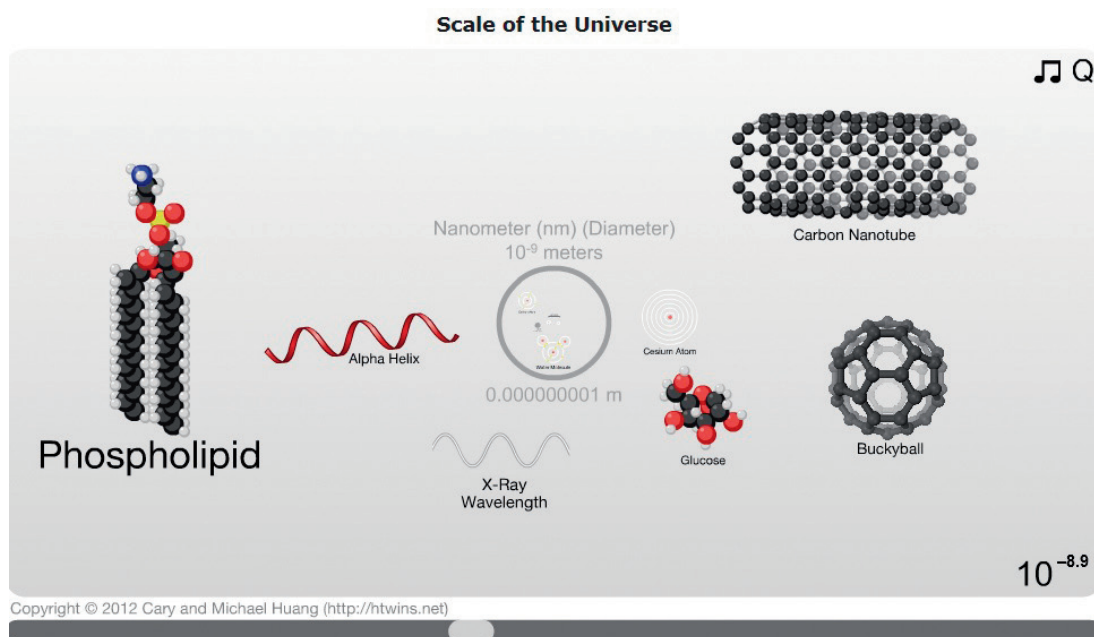
Obr. 54 Ukážka vizualizácie dimenzionality – nanoobjekty sú v porovnaní s človekom také malé, ako človek v porovnaní so Slnkom

Na podporu vizualizácie sú vhodnou pomôckou aj obrázky získané pomocou rôznych druhov mikroskopov, najmä STM a AFM mikroskopov (obr. 55). Využiť sa dajú taktiež nástroje ponúkajúce interaktívny zoom (obr. 56). Čerpať môžeme z ponuky kratších videí a animácií dostupných na kanáli YOUTUBE (kompletný zoznam odporúčaných videí z tejto príručky je v prílohe A).

Pre prácu so žiakmi sú k dispozícii (so slovenskými alebo českými titulkami) veľmi kvalitne a zaujímavovo spracované dve oficiálne videá Európskej komisie NanoInLife a Nanotechnology, ako aj séria 14 krátkych videí zo série Nanotechnology success stories from European Research (v angličtine), prezentujúcich výsledky nanovýskumu v rôznych oblastiach elektroniky, sensoriky, obnoviteľných zdrojov energie, regeneratívnej medicíny a ďalších. Všetky videá sú dostupné v elektronickej knižnici Európskej komisie (http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/e-library_en.html).

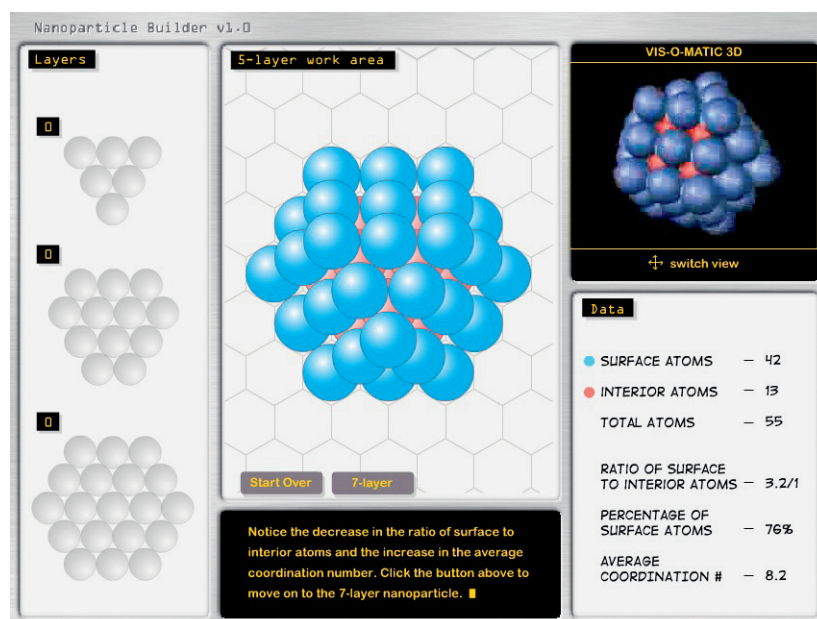


Obr. 55 Ukážka webovej galérie obrázkov z nanosveta (voľne dostupné online na <http://www.icmm.csic.es/spmage/>)

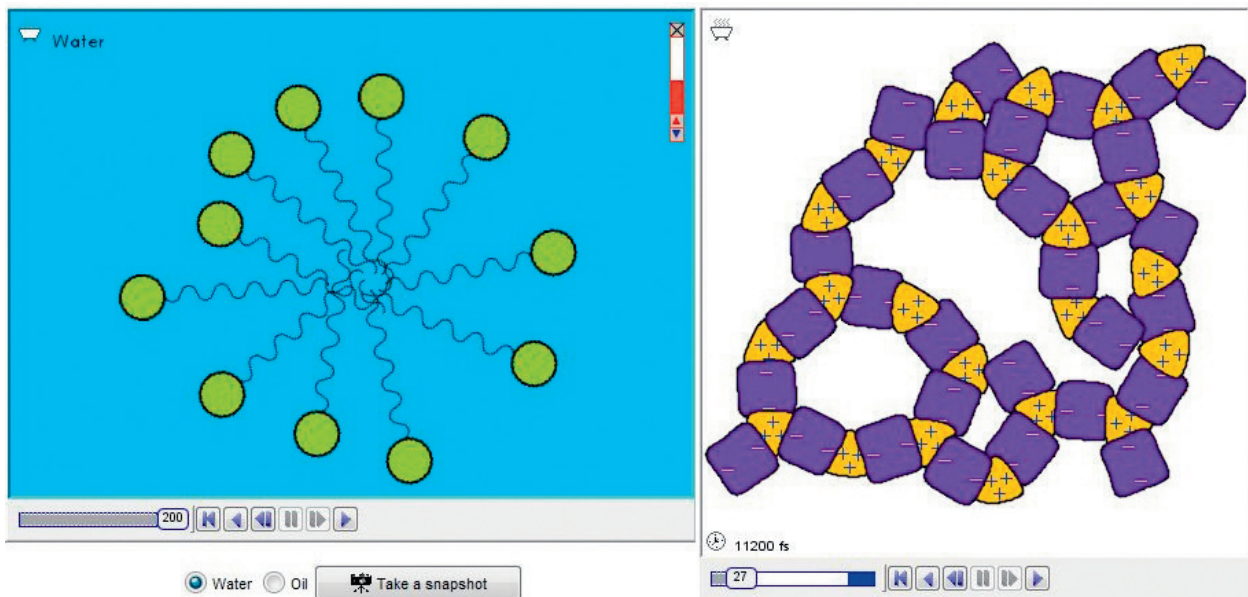


Obr. 56 The Scale of the Universe (voľne dostupné online na <http://scaleofuniverse.com/>)

Moderné digitálne technológie ponúkajú pre výučbu nanotechnológií rozličné typy nanosimulátorov. K jednoduchším, jednoúčelovým typom patrí **Nanoparticle Builder** (obr. 57), (voľne dostupný online na http://www.mcrel.org/nanoleap/nano_final.swf) z amerického edukačného projektu **A NanoLeap into New Science**, pomocou ktorého môžu žiaci vytvárať rôzne veľké nanočastice a pozorovať zmenu v počte atómov nachádzajúcich sa na ich povrchu vzhľadom na ich celkový počet atómov. Kolekcia veľmi dobrých, jednoducho použiteľných simulátorov je dostupná v rámci projektu **Molecular Workbench** (obr. 58) voľne dostupnom online na <http://mw.concord.org/> (viď aj aktivitu MWB modul: STM mikroskop – kapitola 1.4).

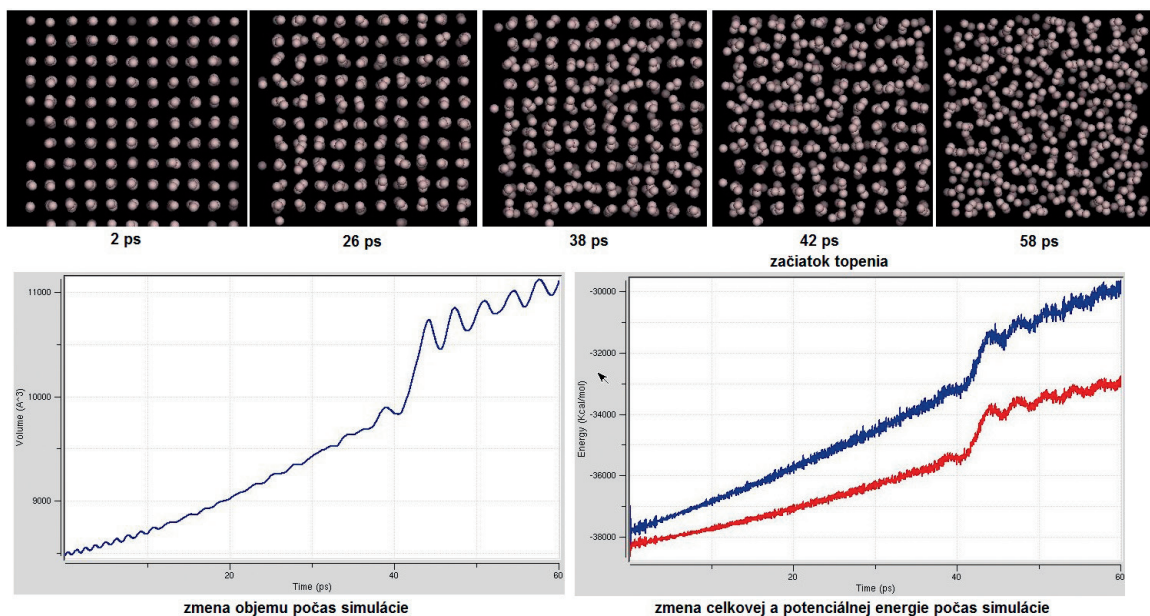


Obr. 57 Prostredie simulátora Nanoparticle Builder



Obr. 58 Ukážky simulácií procesov samoorganizácie – tvorba micel (vľavo) a elektrostatická samoorganizácia, tzv. ESA (vpravo)

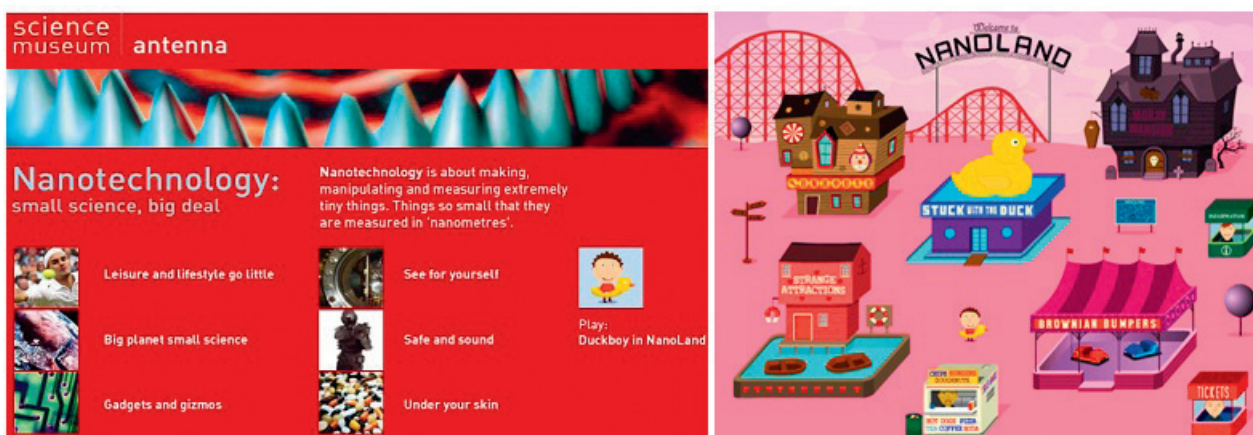
Portál **nanoHUB.org** poskytuje mimoriadne kvalitné nanosimulačné online nástroje na profesionálnej úrovni, ktoré sa využívajú hlavne pri výučbe a v rámci výskumu na univerzitách v USA, ale aj v iných štátoch sveta. Vznikol ako platforma pre Network for Computational Nanotechnology z iniciatívy Purdue University a University of Illinois. Prístup na portál je bezplatný, vyžaduje sa len prvotná registrácia. Aj keď sú nástroje a materiály z tohto portálu určené prioritne pre vysokoškolskú výučbu, niektoré z nich je možné využiť aj na podporu vizualizácie u stredoškolákov, napríklad Crystal Viewer Tool alebo nanoMATERIALS Simulation Toolkit (obr. 59).



Obr. 59 Priebeh procesu topenia (na atomárnej úrovni) namodelovaný v nanoMATERIALS Simulation Toolkit

Ich výhodou je pomerne intuitívne ovládanie a fakt, že simulátory sú hneď po spustení pripravené na simuláciu vďaka prednastaveným parametrom. Pri ďalších simuláciách je možné tieto parametre podľa potreby modifikovať a priamo porovnávať získané výsledky aj s výsledkami starších simulácií (vďaka internej pamäti programu).

Podľa časových a organizačných podmienok môžeme vo vyučovaní využiť aj edukačné webstránky s edukačnými animáciami a hrami, ktoré pokrývajú viaceré tematické oblasti. Sú určené hlavne pre vekovú kategóriu žiakov základných škôl. **DuckBoy in NanoLand** (obr. 60a) je súčasťou online výstavy **Nanotechnology: small science, big deal** (voľne dostupné online na <http://www.sciencemuseum.org.uk/antenna/nano/>). Slúži na oboznámenie sa detí s fenoménmi a javmi nanosveta pomocou piatich hier. Cieľom je pochopiť fungovanie a správanie sa objektov v prostredí, v ktorom dominujú iné interakcie, než ktoré poznáme z nášho makrosveta. Aj **NanoZone** (obr. 60b) vznikla ako online súčasť rovnomennej nanovýstavy (voľne dostupné online na <http://www.nanozone.org/>). Okrem vysvetlenia nosných nanokonceptov obsahuje množstvo zaujímavých hier, napr. z oblasti biomedicínskych aplikácií sú to hry, v ktorých žiaci zachraňujú pomocou rôznych nanotechnológií choré kravy (aktivita GreenMilk), krysu (aktivita SaveRatty) alebo zajaca (aktivita VirusWorker).



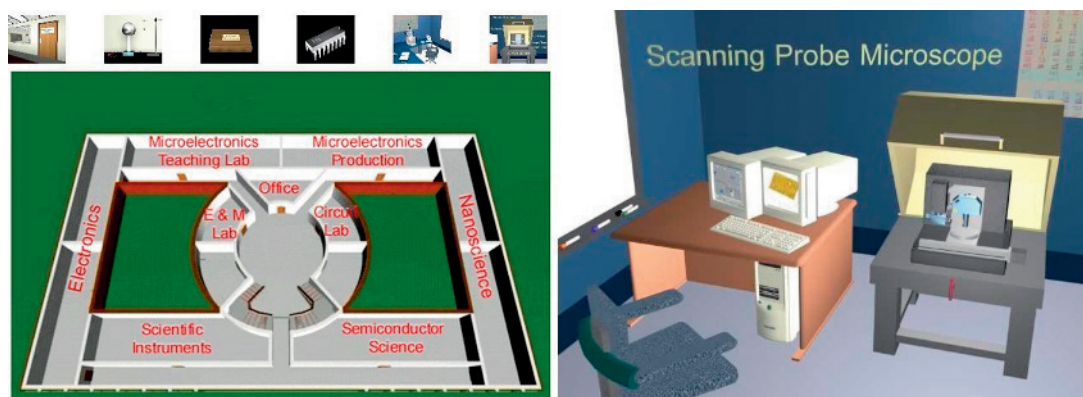
(a)



(b)

Obr. 60 Online edukačné prostredia: (a) NanoLand, (b) NanoZone

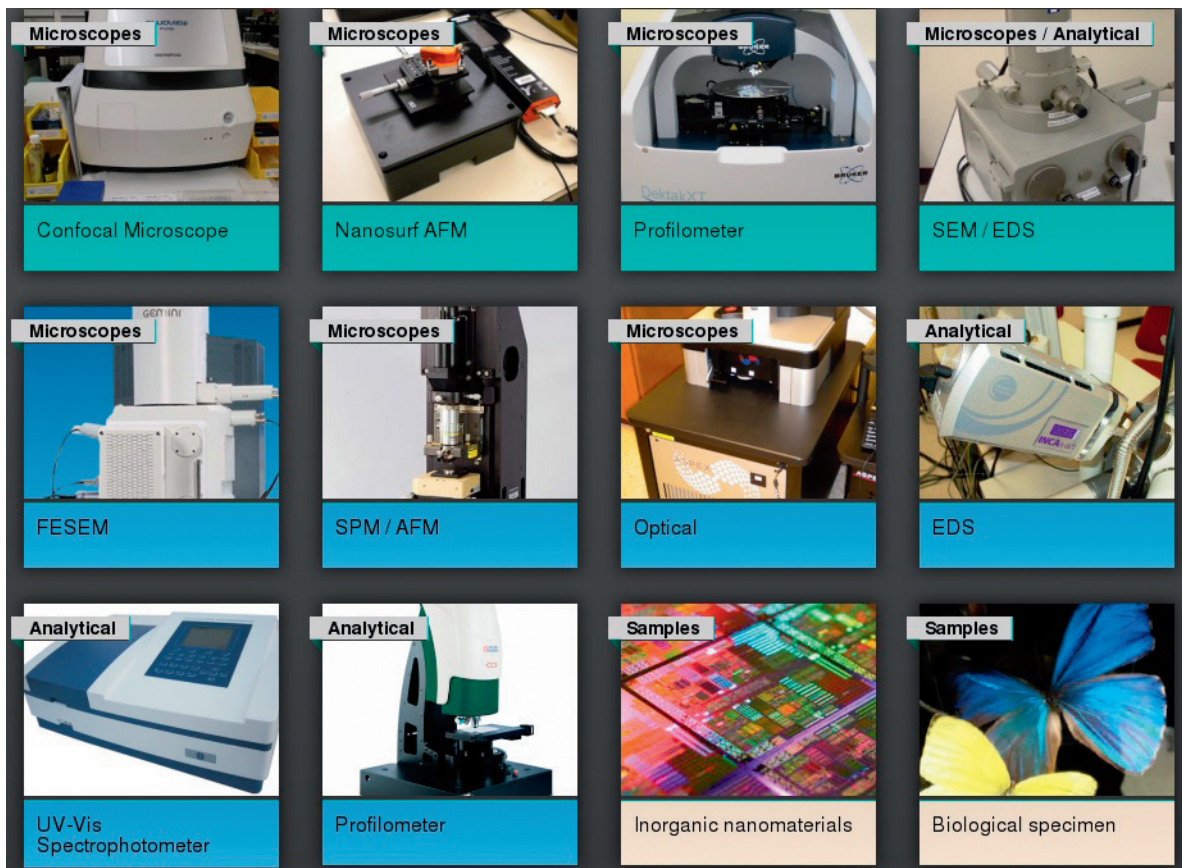
Pre starších žiakov sú určené stránky ponúkajúce samostatné animované a interaktívne tutoriály, ktoré pomáhajú pochopiť fungovanie niektorých prístrojov a nanotechnologických postupov. Jedna z najkvalitnejších a najbohatších stránok z tejto kategórie je **The University of Virginia Virtual Lab** (obr. 61) (dostupné online na <http://virllab.virginia.edu/VL>), špecializovaná hlavne na mikroelektroniku a technológie výroby mikro/nanoelektronických prvkov.



Obr. 61 Pohľad na celé virtuálne laboratórium (vľavo) a ukážka z tutoriálu o skenovacím sondovom mikroskope (vpravo)

Exkurzie na vedecké a výskumné pracoviská patria k populárnym učebným aktivitám. V prípade nanotechnológií však narážame na problém – vybavenie pracovísk je síce na špičkovej úrovni, avšak žiaci vidia v laboratóriách väčšinou LEN prístroje (ako rôzne veľké „skrinky“ a „škatule“), nie priamo „nano v akcii“, a tak pre nich nanosvet ostáva stále vzdialený. Na priamu laboratórnu aktivitu skupiny žiakov v týchto laboratóriách spravidla nie je priestor (a ani čas). Niektoré laboratóriá preto začali v rámci nových edukačných projektov ponúkať už aj **vzdialený prístup k laboratórnym prístrojom**, najmä k mikroskopom a analytickým prístrojom (obr. 62). Školy môžu poslať svoje zhotovené vzorky poštou alebo si dohodnú použitie pripravených vzoriek, ktoré ponúka laboratórium. Následne je potrebné dohodnúť si s laboratóriom spoločný termín a prostredníctvom videokonferenčného systému sa v danom čase spojiť s laborantom, ktorý zabezpečuje obsluhu prístrojov pri manipulácii so vzorkami. Prostredníctvom webového rozhrania potom žiaci už sami obsluhujú prístroje (podľa inštrukcií laboranta).

Trendom v oblasti digitálneho vzdelávania sa v posledných rokoch stávajú tzv. **virtuálne exkurzie**, v rámci ktorých môžu žiaci prechádzať virtualizovanými priestormi laboratórií, v ktorých krok za krokom simulujú jednotlivé technologické postupy. Veľmi dobre prepracované je prostredie **NanoVerse** (obr. 63), ktoré ponúka jednak možnosť „prezrieť“ si laboratórne priestory s predstavením ich prístrojového vybavenia, jednak možnosť absolvovať v nich tri kompletné technologické moduly – výrobu solárnych článkov, flexibilnej elektroniky a prípravu nanočastíc na liečbu rakoviny (voľne dostupné online na <http://www.nanoscience.cam.ac.uk/Media/>).



Obr. 62 Ukážka ponuky prístrojov v laboratóriu so vzdialeným prístupom (dostupné online na <http://nano4me.org/>)



Obr. 63 Laboratórne priestory v prostredí NanoVerse

Záver

Prebiehajúca reforma vzdelávania v základných a stredných školách umožňuje školám a učiteľom upravovať a prispôbovať vzdelávací obsah aj formy jeho sprístupňovania. Je na nás učiteľoch, aby sme podľa možností zabezpečili žiakom čo najaktuálnejšie poznatky s ohľadom na neustále sa vyvíjajúce nové technológie prichádzajúce na trh. Tento učebný materiál by byť učiteľom nápomocný pri sprístupňovaní problematiky nanovedy a nanotechnológií v rámci prírodovedných alebo odborných technických predmetov využitím netradičných vyučovacích postupov a podporiť tak modernizáciu obsahu vyučovania v súlade s najnovšími poznatkami vedy a techniky, aby sa zvýšila motivácia žiakov k ďalšiemu štúdiu prírodovedných a technických odborov na stredných, resp. vysokých školách.

Nie je nevyhnutné prejsť všetkými v učebnom zdroji uvedenými aktivitami, no bude úspechom, ak sa učitelia „otvoria nanosvetu“ a začnú o ňom učiť, aby sa doň mohli žiaci aspoň na pár hodín pozrieť. Pretože, ako zaznelo na úvodnom stretnutí učiteľov pilotných škôl projektu NANOYOU v Bruseli:

„Pred dvadsiatimi rokmi sme si nevedeli predstaviť svet, ktorému vládnu počítače a mobilné telefóny. O dvadsať rokov nás čaká svet, ktorému budú vládnuť nanotechnológie. To je smer, ktorý nikto z nás už nezmení. Ale môžeme a MUSÍME na to zodpovedne pripraviť našich študentov, lebo to bude svet, v ktorom budú žiť.“

Zoznam bibliografických odkazov

- [1] BOYSEN, E., BOYSEN, N. 2011. *Nanotechnology for Dummies*. Indianapolis : Wiley Publishing, Inc., 2011. ISBN 978-0-470-89191-9.
- [2] SCHULENBURG, M. 2007. *Nanotechnológia: Inovácia pre svet zajtraška*. Luxemburg : Úrad pre úradné publikácie Európskych spoločností, 2007. ISBN 92-79-00886-2.
- [3] BERG, J. C. 2010. *An Introduction to Interfaces & Colloids: The Bridge to Nanoscience*. Singapore : World Scientific, 2010. ISBN 978-981-4293-07-5.
- [4] FILIPOVÁ, Z. et al. 2012. *Biosyntéza nanomateriálů*. Olomouc : Univerzita Palackého, 2012. ISBN 978-80-244-3202-1.
- [5] HOŠEK, J. 2010. *Úvod do nanotechnologie*. Praha : ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04555-8.
- [6] FILIPPONI, L., SUTHERLAND, D. 2010. *NANOYOU Teachers Training Kit in Nanoscience and Nanotechnologies* [online]. [cit. 11-02-2014]. Aarhus : iNANO Aarhus University, 2010. 275 s. Dostupné na internete: <<http://nanoyou.eu/sk/nano-educators/teacher-training-kits/6-nano-educators.html>>.
- [7] JONES, M. G. et al. 2007. *Nanoscale Science: Activities for Grades 6-12*. Arlington : NSTA press, 2007. ISBN 978-1-93353-105-2.
- [8] WILLIAMS, L., ADAMS, W. 2007. *Nanotechnology Demystified*. New York : McGraw-Hill, 2007. ISBN 978-0-071-46023-1.
- [9] FILIPOVÁ, Z. et al. 2012. *Rizika nanomateriálů*. Olomouc : Univerzita Palackého, 2012. ISBN 978-80-244-3201-4.
- [10] Report from the Workshop: *Communication Outreach in Nanotechnology...* [online]. 2007. [cit. 15-02-2014]. Zost. M. Bonazzi, J. Palumbo. Brusel : European Commission, 2008. 47 s. Dostupné na internete: <<http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/consultation.htm>>.
- [11] *NANOYOU in School: Communicating NANOTEchnology to European YOUth – Lesson modules* [online]. [cit. 15-02-2014]. Dostupné na internete: <<http://nanoyou.eu/sk/component/content/article/82-teachers-guide/613-nanoyou-teachers-guides.html>>.
- [12] *ŠVP pre 2. stupeň základných škôl (ISCED 2)* [online]. [cit. 04-02-2014]. Dostupné na internete: <<http://www.statpedu.sk/sk/Statny-vzdelavaci-program/Statny-vzdelavaci-program-pre-2-stupen-zakladnych-skol-ISCED-2.alej>>.

- [13] *ŠVP pre gymnáziá (ISCED 3A)* [online]. [cit. 04-02-2014]. Dostupné na internete: <<http://www.statpedu.sk/sk/Statny-vzdelavaci-program/Statny-vzdelavaci-program-pre-gymnaziaISCED-3a.alej>>.
- [14] *ŠVP pre OVP (ISCED 3A, ISCED 3C)* [online]. [cit. 04-02-2014]. Dostupné na: <<http://www.siov.sk/svp-pre-ovp/21658s>>.
- [15] *ŠVP na SOŠ pre všeobecné vzdelávanie (ISCED 3A, ISCED 3C)* [online]. [cit. 04-02-2014]. Dostupné na internete: <<http://www.siov.sk/svp-na-sos-pre-vseobecne-vzdelavanie/21653s>>.

Príloha A

Zoznam internetových odkazov na odporúčané videá

- Aké je malé nano?** – <http://youtu.be/bQzFpP4FSN4>
- Nanokocka** – <http://youtu.be/rXLVramKwmI>
- Horiaca oceľ** – <http://youtu.be/v7M18IObc6c>
- Nohy gekóna** – <http://youtu.be/OoYeIsSkafI>
- Lotosový efekt** – <http://youtu.be/X9a6LjCprC8>
- Opál** – <http://youtu.be/FoTp35fjMtA>
- SEM mikroskop** – <http://youtu.be/IDieBCXEBw8>
- AFM mikroskop** – <http://youtu.be/t5czJq8JpG4>
- Fotolitografia** – http://youtu.be/0_vtdBXyGPw
- Nanoimprinting** – <http://youtu.be/K3Xcs6SG9js>
- LB technika** – <http://youtu.be/j8yqyRr2VQg>
- Zlatý koloid** – http://youtu.be/mQd8RlrC_jA
- Nanovlákná Nanosan-Sorb** – <http://youtu.be/xEf8vnrqLEao>
- Kvapalné kryštály** – <http://youtu.be/YkPOmZ8bl7A>
- Nenewtonovské dilatnante kvapaliny** – <http://youtu.be/S5SGiwS5L6I>
- Magnetické kvapaliny** – <http://youtu.be/kL8R8SfuXp8>
- Pamäťové kovy** – <http://youtu.be/JKBM9my5eOA>
- Biosenzor** – <http://youtu.be/E3lWwJF8gl8>
- Cielený transport liečiva** – <http://youtu.be/RBjWwlnq3cA>
- Tkanivové inžinierstvo – regenerácia kostí** – <http://youtu.be/2dliz6osFTk>
- Superhydrofóbne nátery** – <http://youtu.be/WeEaDKWf8xY>

Príloha B

Zoznam internetových stránok vybraných nanoedukačných centier a projektov

A NanoLeap into New Science <http://www.mcrel.org/nanoleap/>
ASDN.NET (Atomic Scale Design Network) <http://www.asdn.net/>
CNEU (Center for Nanotechnology Education and Utilization) <http://www.cneu.psu.edu/>
CPN Stanford (Center for Probing the Nanoscale) <http://teachers.stanford.edu/>
DiscoverNANO <http://discovernano.org/>
nano4me.org <http://nano4me.org/>
nanoHUB.org <http://nanohub.org/>
NANOchannels <http://nanochannelsfp7.eu/>
NanoKIDS <http://nanokids.rice.edu/>
NanOpinion <http://nanopinion.eu/>
Nanotechnology Wonderville <http://www.wonderville.ca/nanotechnology>
NANOYOU (NANOtechnology for YOUth) <http://nanoyou.eu/>
NanoZone <http://nanozone.org/>
NCLT (Nanotechnology Center for Learning and Teaching) <http://community.nsee.us/>
Swiss Nano-Cube <http://www.swissnanocube.ch/>
whatisnano.org <http://www.whatisnano.org/>