

# Úvod do nanotechnologií

LUCIE KOLÁŘOVÁ – ZUZANA TKÁČOVÁ

Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva FEI STU, Bratislava, SLOVENSKO

*Slyším a zapomínám.*

*Vidím a pamatuji si.*

*Dělám a chápou.*

Čínské přísloví

Nanotechnologie jsou všude kolem nás. Spoustu zajímavých příkladů praktického uplatnění nanotechnologií najdeme v přírodě i v lidské historii. Široké spektrum elektronických, farmaceutických, kosmetických i textilních výrobků je vytvořeno nanotechnologiemi nebo obsahují nanomateriály. Nanotechnologie jsou dnes již součástí našeho každodenního života, i když o tom mnohdy ani nevíme, nebo si to neuvědomujeme. Tento vědní obor je opravdu na výsluní, což dokládá i ochota mnohých států na světě investovat obrovské množství peněz do nanotechnologického výzkumu. Díky tomuto rychlému rozvoji vzrůstá i potřeba toho, aby veřejnost pochopila, jaké možné výhody nebo rizika jim mohou nanotechnologie přinést. Některé produkty vytvořené nanotechnologiemi nám mohou usnadnit život, bohužel některé nanomateriály mohou mít negativní dopad na naše zdraví a životní prostředí.

Důležitou roli v tomto procesu hraje i vzdělávání a informovanost učitelů a žáků základních a středních škol. Učitelé by měli mít znalosti o základních konceptech (klíčových pojmech) nanovědy a nanotechnologií, aby je byli schopni začlenit do předmětů, které vyučují. Nanotechnologie by neměly být chápány jako zcela nový vědní obor, ale jako oblast integrující poznatky z různých oborů, jako jsou fyzika, chemie, biologie a věda o materiálech. Učitelé by měli vnímat jejich interdisciplinární povahu a propojení jednotlivých základních konceptů napříč všemi přírodovědnými předměty. Poznatky o nanotechnologiích by neměly být součástí běžného kurikula jen jako doplněk zajímavých aplikací nových technologií.

Před deseti lety začaly některé státy USA vytvářet výukové materiály a začleňovat nové poznatky do výuky na základních a středních školách (viz [1]). S menším zpožděním započaly tyto snahy i v Evropské unii for-

mou různých projektů. Jako příklad můžeme uvést projekt *NANOYOU* [2], jehož cílem bylo informovat mladé lidi ve státech EU o nanotechnologiích a jejich aplikacích a podporovat jejich účast na dialogu o etických a sociálních aspektech nanotechnologií. Dalším zajímavým projektem je *Time for Nano* [3], který si klade za cíl seznámit širokou veřejnost a zvláště mládež s benefity a riziky nanotechnologií.

Na internetu najdeme celou řadu materiálů vhodných pro výuku v anglickém jazyce. Bohužel, i když se o to snažily i mnohé projekty na vysokých školách v České republice, výukových materiálů v českém jazyce, ze kterých by mohli učitelé čerpat, je jen velmi málo. Jako úvodní informaci pro učitele fyziky, ale i pro žáky středních škol lze doporučit publikaci [4].

Tento článek nabízí učitelům základní orientaci k problematice začleňování poznatků o nanotechnologiích do výuky.

## Nanohistorie

Některý ze žáků se může oprávněně ptát, kdy vlastně nanotechnologie vznikly. Zajímavé je, že ač považujeme tento obor za nový, má velmi staré kořeny. Vědci dnes díky možnostem, které nanotechnologie nabízejí, zjistili, že už některé starodávné artefakty obsahují nanomateriály. Nejstarší „nanotechnologové“ tak byli právě starověcí a středověcí mistři a umělci z různých koutů světa, kteří ani netušili, že materiály, které připravují, vděčí za své unikátní vlastnosti právě přítomnosti nanokrystalů a nanočástic.

Zmínit můžeme nanokrystal galenitu v pigmentu na barvení vlasů ve starověkém Egyptě, nanokrystal z zlata a stříbra obsažené ve skle Lykurgových pohárů z období Římské říše, které jim dodávají zelenou nebo červenou barvu v závislosti na osvětlení, nebo nanotrubičky a nanodráty v damascénské oceli používané na Středním východě na výrobu pevných a ostrých mečů. Také barevné skleněné výplně oken – vitráže, které se vyráběly ve středověku a jsou vidět v mnoha kostelích, jsou vytvořeny ze skla s příměsí kovových nanočástic, kterým vděčí za své rozmanité barvy.

V polovině 19. století se staly předmětem bádání koloidní systémy. *Michael Faraday* byl prvním vědcem, který vedl systematické studie vlastností koloidů s kovovými částicemi, zejména se zlatem.

Důležitým vědeckým počinem v oblasti přístrojového vybavení bylo v roce 1931 sestavení prvního elektronového mikroskopu, které se připisuje *Ernstu Ruskovi* a *Maxi Knollovi*, ale nakonec jen Ruska za něj získal v roce 1986 Nobelovu cenu.

Za počátek moderní historie nanotechnologií se většinou uvádí rok 1959, kdy v Kalifornském technologickém institutu v USA (Caltech) zazněla přednáška *Richarda Feynmana* „There is plenty of room at the bottom, an invitation to enter a new field of physics“, která pojednávala o možnostech využití světa atomů a manipulace s atomy.

Pojem nanotechnologie poprvé použil až v roce 1974 *Norio Taniguchi*, který navrhl toto označení pro obrábění s tolerancí na jeden atom nebo molekulu. K jednomu z nejdůležitějších objevů nanotechnologií dochází v roce 1981, kdy *Gerd Binnig* a *Heinrich Rohrer* zkonstruovali skenovací tunelovací mikroskop (STM – *Scanning Tunneling Microscope*), schopný vidět jednotlivé atomy. Za tento počín dostali v roce 1986 Nobelovu cenu za fyziku. Ve stejném roce se týmu *Gerda Binniga*, *Calvina Quata* a *Christopha Gerbera* podařilo zkonstruovat mikroskop atomárních sil (AFM – *Atomic Force Microscope*), který mohl na rozdíl od STM zobrazit i nevodivé vzorky. O rok dříve se podařilo *Haroldu Krotoovi*, *Richardu Smalleymu* a *Robertu Curlovi* syntetizovat fullerén  $C_{60}$ , za což jim v roce 1996 byla udělena Nobelova cena za chemii.

Za zmínku stojí také rok 2003, kdy profesor *Oldřich Jirsák* z Katedry netkaných textilií Technické univerzity v Liberci vynalezl unikátní technologii *Nanospider*, která umožňuje průmyslovou výrobu netkaných textilií tvořených nanovláknem, tj. vlákny o průměru 20 nm až 500 nm.

Z velkého množství objevů na poli nanotechnologií bychom ještě závěrem připomněli alespoň rok 2010, kdy *Andre Geim* a *Konstantin Novoselov* získali Nobelovu cenu za fyziku za průlomové experimenty s uhlíkovým materiálem grafenem.

## **Základní koncepty nanotechnologií**

Při studiu nanotechnologií narazíme na základní koncepty, mezi něž patří *velikost a změna velikosti a poměr povrchové plochy k objemu*. Pochoopení těchto konceptů je předpokladem, abychom se mohli věnovat dalším, již pokročilým konceptům nanotechnologií.

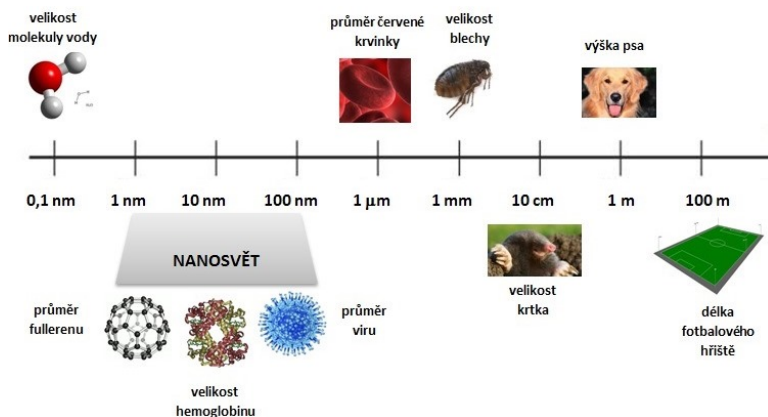
### ***Velikost a změna velikosti***

Může se zdát, že tento koncept je vhodný spíše do výuky matematiky, ukazuje se však, že jeho pochoopení je důležité pro všechny přírodní vědy, nejen pro nanotechnologie. Pomáhá také žákům uvědomit si, jak užitečná je matematika a její propojení s fyzikou, chemií, astronomií, geologií, geografii a historií.

*Nano* pochází z řeckého slova *νᾶνος* [nános], což znamená trpaslík. Předpona *nano* představuje miliardtinu. V případě délky je to jedna miliardtina metru, tj. jeden nanometr. Nanotechnologie se tedy zabývá objekty a jevy v rozsahu přibližně 1 nm až 100 nm (*nanoškála*). Jako nanomateriál označujeme materiál, jehož alespoň jeden rozměr dosahuje velikosti v uvedeném rozmezí, tzn. přibližně 1 nm až 100 nm.

Každý objekt má velikost, kterou definujeme pomocí tří rozměrů tj. šířky, hloubky a výšky. Určit velikost objektu můžeme jeho porovnáváním se srovnávacím objektem (*etalonem*).

### POROVNÁNÍ VELIKOSTI RŮZNÝCH OBJEKTŮ



Obr. 1 Velikosti různých objektů

Velký rozsah velikostí je užitečné si rozdělit do škál (stupnic) nebo „světů“ (makro, mikro, nano, ...) (obr. 1). Každou škálu nebo „svět“ můžeme charakterizovat typickými objekty, nástroji pro zpřístupnění objektů a modelem popisujícím chování látky v dané škále. Hranice mezi „světy“ nejsou ostře definovány, ale jsou rozmazané. Škála je důležitá pro vysvětlení různých jevů. Na základě zkušeností z makrosvěta, ve kterém funguje klasická fyzika, se snažíme předpovídat chování materiálu. Jenže když přecházíme z makrosvěta přes nanosvět do světa atomů, schopnost klasické fyziky předpovídat chování látky začne selhávat. V nanosvětě a světě atomů platí totiž jiná pravidla. K vysvětlení potřebujeme kvantovou mechaniku. Je důležité si také uvědomit souvislost sil se škálou. Gravitační síly, které převládají v makrosvětě, se v nanosvětě stávají zanedbatelně malé a dominantními se stávají síly elektromagnetické.

Vlastnosti charakterizují povahu materiálu, jak se chová, jak reaguje a interaguje s okolím, a pro jaké aplikace může být využit. Vlastnosti materiálu v nanoškále jsou často nečekané a odlišné od těch dobře známých u objemového materiálu. Mnoho let je oxid titaničitý přidáván do opalovacích krémů, avšak bílá vrstva, kterou krém zanechával, nebyla pro zákazníky žádoucí. Když se částice oxidu titaničitého zmenší na velikost 10 nm až 100 nm, mají jiné optické vlastnosti. Krém obsahující nanočástice se jeví průhledný, ale stále chrání před UV zářením. Určité nanomateriály vykazují třeba lepší mechanické vlastnosti než běžné konstrukční materiály, např. uhlíkové nanotrubičky patří mezi nejpevnější materiály.

I malá změna velikosti objektu může způsobit relativně velké změny jeho povrchu a ještě větší změny jeho objemu. Když zdvojnásobíme délku hrany krychle, její povrch se zvětší čtyřikrát a její objem dokonce osmkrát. Vlastnosti látky závisící na objemu se budou měnit rychleji než vlastnosti, které závisí na povrchu. Pro zajímavost, kdyby gazela s dlouhýma a štíhlýma nohama vyrostla do velikosti slona, pod vahou těla by se zlomily její nohy. Zatímco hmotnost gazely je úměrná jejímu objemu, pevnost gazelích nohou roste pouze s plochou průřezu jejích kostí.

### ***Poměr povrchové plochy k objemu***

Když se velikost materiálu blíží velikosti nanočástic, dochází k obrovskému nárůstu specifické povrchové plochy ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) a to má souvislost s vlastnostmi jako jsou teplota tání, rychlost reakce, vztlínání, adheze. Proto jsou v nanosvětě některé vlastnosti materiálů výraznější. Když např. krychli o hraně 1 m, objemu  $1 \text{ m}^3$  a povrchu  $6 \text{ m}^2$  budeme dělit na menší a menší krychličky o hraně 1 nm a objemu  $1 \text{ nm}^3$ , bude celkový povrch všech krychliček z původní krychle  $6\,000 \text{ km}^2$ . To je plocha o něco větší, než je Moravskoslezský kraj, který má rozlohu  $5\,500 \text{ km}^2$ .

Atomy na povrchu nanomateriálu se účastní menšího počtu vazeb než atomy uvnitř a mají tak ve srovnání s nimi přebytek energie. Jelikož mají povrchové atomy větší energii, jsou více chemicky reaktivní. Dělení materiálu na menší části vede k větší povrchové ploše a na povrch se tedy dostane více atomů ve vyšším energetickém stavu.

Velikost povrchové plochy závisí také na tvaru materiálu – krychle o stejném objemu jako koule má větší povrchovou plochu.

### **Náměty na nanoaktivity do výuky fyziky**

Nanotechnologie můžeme do výuky zařadit různými způsoby. Uvedeme několik příkladů.

## ***Nanohistorikové aneb pátrání v písemných pramenech po historii nanotechnologií***

„Detektivní“ aktivita s možností využití internetu je vhodná pro samostudium žáků a jejich přípravu na hodinu věnovanou nanotechnologiím, nebo zadání domácího úkolu po úvodní hodině nanotechnologií k prohloubení základních poznatků.

Žákům zadáme různé pojmy související s historií nanotechnologií, ke kterým si mají najít na internetu nebo v doporučené literatuře další informace, které zpracují ve formě malého plakátku. V další hodině žáci sestaví časovou osu nanotechnologií, kterou lze využít při další výuce.

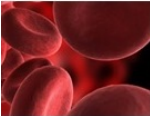
Vhodnými náměty pro poznání historie a vývoje nanotechnologií mohou být např.: egyptská modrá – pigment používaný Egypťany před tisíci lety, Lykurgovy poháry – poháry ze 4. stol. n. l. měnící barvu podle osvětlení, damascénská ocel – materiál se zvláštní vnitřní strukturou používaný k výrobě sečných zbraní, vitráže v kostelích, *Ernst Ruska* – tvůrce prvního elektronového mikroskopu, „Tam dole je spousta místa“ – výrok *R. Feynmana* z roku 1959 o možnostech využití světa atomů, Mooreův zákon – předpoklad exponenciálního růstu počtu tranzistorů v integrovaných obvodech, *Gerd Binnig* – vynálezce vzorkovacího tunelového mikroskopu, objev fullerenu  $C_{60}$  – zvláštní struktury molekuly tvořené atomy uhlíku, objev AFM – mikroskopu atomárních sil, *Sumio Iijima* – vynálezce uhlíkových nanotrubiček, Nanospider – technologie výroby netkaných textilií z nanovláken, Nobelova cena za experimenty s grafenem, atd.

### ***Pexeso velikostí***

Představa nanometru je pro mnohé žáky obtížná. Pro seznámení s malými velikostmi je vhodná hra, kterou můžeme nazvat Pexeso velikostí. Vybereme si několik velikostí např. od 1 metru až k 1 angströmu<sup>1</sup> a k nim přiřadíme vhodné objekty. Vytvoříme si sadu kartiček s velikostmi a sadu s objekty (viz [5]). Žáci pak hledají k dané velikosti správný objekt. S většími objekty nemívají problém. Ten nastává u menších objektů, jako je např. červená krvinka, virus, molekula vody atd., které už pouhým okem nevidíme a tedy běžně se s nimi neseťkáváme. Ke společné frontální kontrole správnosti řešení můžeme použít některou z mnohých na internetu dostupných interaktivních pomůcek, tzv. *nanozoomů* (např. *Scale of Universe* [6]) nebo video *Powers of Ten* dostupné na YouTube.

---

<sup>1</sup>Angström, značka Å ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m} = 0,1\text{ nm}$ ) je jednotka délky, která nepatří do soustavy SI. Používá se výjimečně v některých oborech fyziky mikrosvěta, popř. k vyjadřování hodnot vlnových délek ve spektrometrii.

$10^{-6}$ m  (1 mikrometr)	červená krvinka  
----------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Obr. 2 Ukázka kartičky pexesa

### ***Miliarda a jedna miliardtina***

K získání představy o přibližné velikosti jedné miliardtiny použijeme jednoduchou matematickou představu. Když si chceme vizualizovat měřítko 1 : 1 000 000 000, vezmeme si jeden list papíru a „miliardu listů“ papíru. 10 listů papíru má přibližně tloušťku 1 mm, 1 000 listů bude mít 10 cm, 1 000 000 listů bude mít 100 m a 1 000 000 000 listů bude mít 100 km, což je přibližně cestovní vzdálenost mezi Olomoucí a Ostravou. Jeden list z jedné miliardy listů nám představuje jednu miliardtinu.

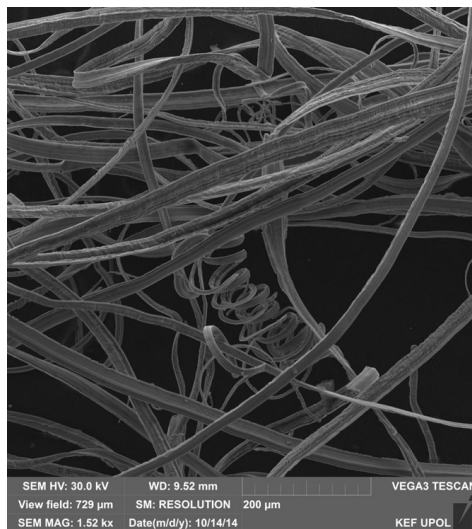
### ***Když se věci zmenšují***

Velmi efektními a na realizaci v podmínkách běžné třídy jednoduchými demonstracemi můžeme ukázat vliv změny velikosti objektů na jejich vlastnosti. K prvnímu experimentu použijeme velmi jemnou ocelovou vlnu typu 0000 (s průměrem ocelových vláken  $50 \mu\text{m}$ ) (obr. 3), kterou zapálíme. Na rozdíl od oceli, jak ji známe v našem makrosvětě, se tato jemná ocelová vlna lehce zapálí. Používá se dokonce jako zapalovač. Hoří, i když je mokrá, a na zapálení stačí jedna jiskra.

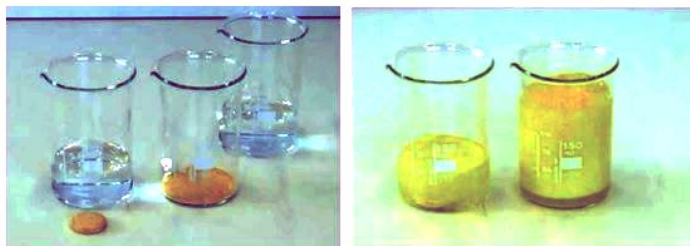
Ocelová vlna hoří velmi bouřlivě a jiskry z ní vylétávají do okolí. Proto je dobré použít k experimentu jen malé množství ocelové vlny, kterou uchopíme do pinzety. Na stůl položíme nehořlavou podložku a experiment provádíme nad miskou s vodou, ve které na konci vlnu bezpečně uhasíme. Ke zvýšené reaktivitě a hořlavosti ocelové vlny dochází v důsledku zmenšování velikosti jednotlivých vláken, přičemž se zvyšuje jejich povrch. Větší povrchová plocha znamená více atomů materiálu nacházejících se na povrchu a právě tyto povrchové atomy zodpovídají za reaktivitu materiálu.

Pokud nemáme ocelovou vlnu, můžeme tento jev ukázat na dvou šumivých tabletách, které rozpustíme v kádinkách s vodou (obr. 4). Do jedné kádinky vhodíme celou tabletu a do té druhé tabletu rozdrcenou na jemný prášek (lepší je rozdrcenou tabletu zalít stejným množstvím vody, do které

vhazujeme celou tabletu). V obou případech je objem tablety stejný, rozdíl je jen ve velikosti jednotlivých částic, které budou ve vodě reagovat.



Obr. 3 Snímek ocelové vlny z elektronového mikroskopu



Obr. 4 Reakce šumivých tablet

Zvětšování povrchové plochy si mohou žáci prakticky vyzkoušet na krájení kostky sýru s hranou 1 cm. Nejprve vypočítají povrch této kostky, což je  $6 \text{ cm}^2$ . Postupně krájí původní kostku na 8 stejných kostek s poloviční délkou hrany a opět spočítají celkový povrch všech kostiček. Postup můžeme ještě jednou zopakovat. Objem zůstává stejný (složením kostiček získáme původní kostku), při výpočtu však žáci zjistí postupně výrazný nárůst povrchové plochy.



Všechny tyto aktivity jsou jednoduché na přípravu a u žáků oblíbené. Mnozí z nich jsou výsledky překvapení, protože nemají představu, jak malé jsou pro nás objekty neviditelné pouhým okem, nebo jak velká je jedna miliarda. Také rozdíl v reakci celé a rozdrobené šumivé tablety vyvolává údiv na jejich tvářích, protože nepředpokládají, že se reakce bude lišit. Aktivity byly vyzkoušeny českými i slovenskými žáky v běžné výuce na střední škole nebo v rámci výukového programu „Co se děje v nanosvětě“ v Interaktivním muzeu vědy Pevnost poznání v Olomouci.

Koncept velikosti můžeme zařadit do výuky hned v úvodních hodinách fyziky do učiva o fyzikálních veličinách a jednotkách. Pro žáka bude užitečné, když si pod jednotlivými čísly bude moci představit i objekty. Druhý koncept, poměr povrchové plochy k objemu, je možné připojit k prvnímu a propojit tyto dva základní koncepty. Žáci tak budou připraveni pro výuku dalších zajímavých konceptů nanotechnologií a jejich možných aplikací. Druhou možností je vložit tento koncept do úvodu molekulové fyziky.

Začleněním nanotechnologií do výuky fyziky můžeme motivovat studenty k většímu zájmu o přírodovědné a technické obory a dáme jim možnost posouzení informací, které se na ně hrnou z médií, a rozlišit tak ty seriózní od těch klamných.

**Poděkování.** Děkujeme Mgr. Tomáši Ingrovi za pořízení snímku ocelové vlny.

## Literatura

- [1] <http://www.nano.gov/education-training/teacher-resources>.
- [2] <http://www.nanoyou.eu>.
- [3] <http://www.timefornano.eu>.
- [4] Kubínek, R.: Nanotechnologie. In: Lepil, O. a kol.: Fyzika aktuálně, příručka nejen pro učitele. Prometheus, Praha, 2009, s. 129–153.
- [5] How Big Is It? Center for probing nanoscale, Stanford University, dostupné na: <http://teachers.stanford.edu/activities/HowBigIsIt/HowBigIsIt-ActivityGuide.pdf>.
- [6] The Scale of the Universe, dostupné na: <http://scaleofuniverse.com>.
- [7] Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., Krajcik, J. S.: The big ideas of nanoscale science & engineering: a guidebook for secondary teachers. NSTApress 2009.
- [8] Tkáčová, Z., Lavický, T.: Základy nanovědy a nanotechnologií pro učitelov. Metodicko-pedagogické centrum v Bratislave, Bratislava, 2014.
- [9] Kolářová, L.: Úvod do nanovědy a nanotechnologií. 1. vyd., Vyd. Univerzity Palackého, Olomouc, 2014.
- [10] Blonder, R., Sakhnini, S.: Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. Chem. Educ. Res. Pract. **13** (2012), 500–516.