

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra učitelství a didaktiky chemie



Mgr. Zdeňka Hájková

**Návrh implementace nových poznatků z interdisciplinárního oboru
„nanotechnologie“ do výuky přírodovědných předmětů na SŠ
a příspěvek k edukaci studentů učitelství chemie v tomto oboru**

Nanotechnology: Implementation of contemporary progress into science
education at secondary school and in education of future chemistry teachers

Rigorózní práce

Vedoucí práce: RNDr. Petr Šmejkal, Ph.D.

Praha 2011

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou rigorózní práci vypracovala samostatně, s použitím veškeré citované literatury. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním. Tato rigorózní práce vznikla rozšířením mé diplomové práce „Návrh implementace nových poznatků z interdisciplinárního oboru „nanotechnologie“ do výuky přírodovědných předmětů na SŠ“. Tato práce jako celek nebyla využita jako závěrečná práce k získání jiného nebo obdobného druhu vysokoškolské kvalifikace.

V Praze dne 9. ledna 2011

.....

Zdeňka Hájková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce, RNDr. Petru Šmejkalovi, Ph.D., za vstřícný přístup ke konzultování mých postupů při psaní této práce, jeho zájem, rady, připomínky a čas, který práci věnoval. Dále děkuji RNDr. Danielu Nižňanskému, Ph.D., za půjčení literatury o nanomateriálech. Moje poděkování patří i učitelkám RNDr. Ivoně Trejbalové z Malostranského gymnázia v Josefské a RNDr. Jiřině Kolkové z Gymnázia Elišky Krásnohorské za umožnění realizace projektu „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“. RNDr. Evě Stratilové Urválkové děkuji za fotodokumentaci k projektu uskutečněnému na Gymnáziu v Josefské. Paní učitelce RNDr. Ivetě Žabové z Gymnázia Opatov bych chtěla poděkovat za možnost realizovat s žáky její třídy exkurzi zaměřenou na moderní mikroskopické techniky a RNDr. Antonínu Fejfarovi, CSc. z Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky (FÚ AV ČR) pak děkuji za pomoc s organizací této exkurze a její laskavé vedení. Ráda bych také poděkovala RNDr. Renatě Šulcové, Ph.D. za vstřícný postoj k uskutečnění exkurze na FÚ AV ČR s vysokoškoláky (se studenty pátého ročníku učitelství chemie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze) a za pořízení fotografií během exkurze. V neposlední řadě patří můj velký dík mému manželovi, Václavu Hájkovi, za technickou pomoc a psychickou podporu při tvorbě práce a poskytnutí potřebného zázemí pro dokončení studia i po narození našeho prvního potomka.

ABSTRAKT

Tato rigorózní práce se zabývá možnými způsoby implementace zajímavých a důležitých poznatků z oblasti „nanosvěta“ do výuky přírodovědných předmětů na střední škole. K tomuto účelu byly zpracovány následující materiály: výukový text (zároveň slouží coby teoretický podklad práce, který shrnuje základní informace o nanotechnologii a nanovědě), dále multimediální PowerPointová prezentace, návrh projektu „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“, návrh exkurze, motivační a osvojovací mezipředmětové úlohy s tematikou „nano“, dva testy zaměřené na nanotechnologii a pokročilé typy mikroskopii (elektronovou mikroskopii a mikroskopii skenující sondou) a jednoduché demonstrace. Navržený projekt byl testován na dvou pražských gymnáziích. Realizována a vyhodnocena byla také exkurze. Oboje se u žáků setkalo s průměrným ohlasem. Práci doplňuje CD s prezentací a tiskovými verzemi projektu, pre-, posttestu a pracovních listů k exkurzi, mezipředmětových úloh a testových položek. Na CD jsou uloženy také fotografie a žákovské výstupy z realizace projektu. Práce dále obsahuje vyhodnocení dotazníku „Učit (se) o „nano“ – ANO nebo NE?“ a věnuje se ještě problematice vzdělávání studentů učitelství chemie v oboru nanotechnologie.

Klíčová slova:

nanosvět, nanotechnologie, nanověda, nanočástice, nanostruktury, mikroskopie skenující sondou (SPM), skenovací tunelová mikroskopie (STM), mikroskopie atomárních sil (AFM), nanomateriály, nanoelektronika, nanooptika, nanobiotechnologie a bionanotechnologie; výuka nanotechnologie, výuka nanovědy, výukový text, prezentace, projekt, exkurze, pracovní listy, mezipředmětové úlohy, testy, demonstrace

ABSTRACT

This rigorous thesis is focused on possible ways how to implement interesting and important findings from the field called “nanoworld” into the curriculum of science subjects at secondary school. For this purpose the following materials were prepared: an educational text (which also serves as a theoretical base that summarises basic information about nanotechnology and nanoscience), a multimedia PowerPoint presentation, a concept of a project “When you say NANOTECHNOLOGY...”, a concept of an excursion, motivational and developing interdisciplinary tasks with the theme “nano”, two tests aimed at nanotechnology and advanced microscopy techniques (electron microscopy and scanning probe microscopy) and simply demonstrations. The proposed project was tested at two grammar schools in Prague. The excursion was also realized and evaluated. Both the project as well as the excursion met with an average response from students. This thesis is accompanied by a CD with the presentation and print versions of the project, pre-test, post-test and worksheets for the excursion, interdisciplinary tasks and test items. In addition, the CD contains photos and students work from the realization of the project. Furthermore, this thesis includes the questionnaire “Teach (learn) about “nano” – YES or NO?” (with summarized responses) and then deals with the education of nanotechnology for university students who are preparing to be chemistry teachers.

Keywords:

nanoworld, nanotechnology, nanoscience, nanoparticles, nanostructures, scanning probe microscopy (SPM), scanning tunneling microscopy (STM), atomic force microscopy (AFM), nanomaterials, nanoelectronics, nanooptics, nanobiotechnology and bionanotechnology; education of nanotechnology, education of nanoscience, educational text, presentation, project, excursion, worksheets, interdisciplinary tasks, tests, demonstrations

OBSAH

Seznam zkratk	9
Použitý software	10
I. Úvod	11
II. Cíle práce.....	12
III. Proč a jak zavádět „nano“ do výuky na SŠ	13
IV. Výukové materiály a náměty pro praxi	15
IV.1. Literární rešerše zpracovaná jako výukový text	15
1. Vítejte v nanosvětě.....	16
2. Co je to nanotechnologie?	18
2.1. Definice nanotechnologie a nanovědy	18
3. Vlastnosti a výroba nanočástic a nanostruktur	20
3.1. Vlastnosti nanočástic, nanostruktur a nanomateriálů.....	20
3.2. Výroba nanočástic a nanostruktur	22
4. Historie – počátky nanotechnologie	23
4.1. Stopy dávných „nanotechnologů“	23
4.2. Průkopníci nanotechnologie.....	24
5. Inspirace z přírody.....	26
5.1. Strategie vytváření biologických struktur	26
5.2. Příklady přírodních nanotechnologií	28
6. Jak nahlédnout do nanosvěta?	30
6.1. Elektronová mikroskopie (EM).....	30
6.1.1. Objevy vedoucí ke konstrukci elektronových mikroskopů.....	31
6.1.2. TEM a SEM – principy funkce a použití elektronových mikroskopů	32
6.2. Mikroskopie skenující sondou (SPM).....	33
6.2.1. Skenovací tunelová mikroskopie (STM)	35
6.2.2. Mikroskopie atomárních sil (AFM)	36

6.2.3. Aplikace SPM	37
7. Aplikace nanotechnologie	39
7.1. Nanomateriály	39
7.1.1. Nanočástice	40
7.1.2. Polymerní nanovlákná.....	42
7.1.3. Nanoporézní materiály	43
7.1.4. Uhlíkové nanomateriály	43
7.2. Nanoelektronika a nanooptika.....	47
7.2.1. Spintronika	48
7.2.2. Kvantové tečky.....	49
7.3. Nanobiotechnologie a bionanotechnologie	49
7.3.1. Příklady nanobio- a bionanotechnologie.....	52
8. Budoucnost nanotechnologie – přísliby vs. obavy.....	54
9. Shrnutí aneb Co si odnést z vyprávění o „nano”	56
IV.2. Prezentace	58
IV.3. Projekt	59
IV.3.1. Když se řekne NANOTECHNOLOGIE.....	59
IV.3.2. Poznámky k projektu	70
IV.4. Exkurze	73
IV.4.1. Exkurze do nanosvěta aneb Výlet za EM a SPM	73
IV.4.2. Pretest.....	74
IV.4.3. Řešení pretestu	75
IV.4.4. Přípravné pracovní listy	76
IV.4.5. Řešení přípravných pracovních listů.....	81
IV.4.6. Pracovní listy pro exkurzi	86
IV.4.7. Řešení pracovních listů pro exkurzi.....	89
IV.4.8. Posttest	92

IV.4.9. Řešení posttestu	94
IV.5. Mezipředmětové úlohy	96
IV.5.1. Mezipředmětové úlohy s tematikou „nano“	96
IV.5.2. Řešení mezipředmětových úloh s tematikou „nano“	101
IV.6. Testové položky	105
IV.6.1. Test – nanotechnologie	105
IV.6.2. Řešení testu – nanotechnologie.....	107
IV.6.3. Test – mikroskopy	107
IV.6.4. Řešení testu – mikroskopy	108
IV.7. Jednoduché demonstrace s tematikou „nano“	109
V. Ověření vybraných výukových materiálů	115
V.1. Poznámky z realizace projektu	115
V.1.1. Malostranské gymnázium v Josefské	115
V.1.2. Gymnázium Elišky Krásnohorské	118
V.1.3. Celkové zhodnocení projektu	120
V.2. Poznámky z realizace exkurze (včetně vyhodnocení testů a pracovních listů)	122
V.2.1. Výsledky pretestu	122
V.2.2. Poznámky k přípravným pracovním listům.....	123
V.2.3. Poznámky k realizaci exkurze	123
V.2.4. Výsledky vyplňování pracovních listů pro exkurzi	124
V.2.5. Poznámky k úlohám v pracovních listech pro exkurzi	124
V.2.6. Výsledky posttestu	125
V.2.7. Poznámky k úlohám v posttestu	127
V.2.8. Celkové zhodnocení exkurze	127
VI. Dotazník	128
VI.1. Výsledky dotazníkového šetření 1	130
VI.2. Výsledky dotazníkového šetření 2	133

VI.3. Souhrnné vyhodnocení dotazníkového šetření	136
VII. Učit o „nano“ studenty učitelství chemie?	137
VII.1. Přednáška s prezentací a test.....	138
VII.2. Exkurze	140
VIII. Závěr.....	141
IX. Použitá literatura.....	145

SEZNAM ZKRATEK

AFM	mikroskopie atomárních sil, mikroskop atomárních sil
DP	domácí příprava
EM	elektronová mikroskopie, elektronový mikroskop
FÚ AV ČR	Fyzikální ústav Akademie věd České republiky
GMR	obří magnetický odpor (gigantická magnetorezistence)
NT	nanotechnologie
PřF UK	Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
RVP	Rámcový vzdělávací program
SEM	skenovací elektronová mikroskopie, skenovací elektronový mikroskop
SM	světelná mikroskopie, světelný mikroskop
SPM	mikroskopie skenující sondou, mikroskop se skenující sondou
SŠ	střední škola
STM	skenovací tunelová mikroskopie, skenovací tunelový mikroskop
ŠVP	školní vzdělávací program
TEM	transmisní elektronová mikroskopie, transmisní elektronový mikroskop
VH	vyučovací hodina
VŠ	vysoká škola

POUŽITÝ SOFTWARE

K vytvoření a prezentaci práce byl použit následující software:

- ACD/ChemSketch 10.00 (Advanced Chemistry Development, Inc., Kanada)
- Adobe Reader 9 (Adobe Systems Incorporated, USA)
- GIMP 2.6 (Open Source)
- Inkscape 0.47 (Open Source)
- Microsoft Office PowerPoint 2007 (Microsoft Corporation, USA)
- Microsoft Office Word 2007 (Microsoft Corporation, USA)
- OpenOffice.org 3.1 (Open Source)
- QuickTime Player 7.60.92.0 (Apple Inc., USA)

I. ÚVOD

Nanotechnologie. Objevuje se ve sci-fi románech, vědci o ní mluví jako o oboru 21. století a v současnosti je to výzkumný směr s vůbec největším nárůstem finanční podpory (1). Více než 30 států již zahájilo národní programy výzkumu a vývoje nanotechnologie (2). Vládní a průmyslové organizace jsou totiž přesvědčeny o velkém ekonomickém přínosu nanotechnologie a jejím potenciálu změnit současné výrobní postupy.

Nanotechnologie je příslibem pro celou šíři lidských činností, počínaje elektronikou a výpočetní technikou a konče využitím nových materiálů unikátních vlastností v péči o zdraví a při ochraně životního prostředí. Na trh již byly uvedeny nejrůznější nanotechnologické produkty, mezi nimi například konstrukční prvky pro elektroniku, výrobky pro medicínu (např. bandáže, srdeční chlopně), nepoškrabatelné nátěry, sportovní nářadí (např. tenisové rakety a míčky), textilie odolné proti pomačkání a zašpinění, opalovací a kosmetické krémy atd. (2). Spolu s biotechnologiemi a informačními technologiemi patří nanotechnologie k tzv. „nastupujícím technologiím“ (3).

Nanotechnologie i samotná předpona „nano“ jsou dnes velmi často užívané pojmy. O popularitě nanotechnologie mezi odbornou i laickou veřejností svědčí bezpočet internetových stránek a množství článků v různých časopisech (od ABC po Science či Nature). Ačkoliv nanotechnologie v mnoha ohledech silně ovlivňuje moderní společnost, jen málokdo dokáže odpovědět na otázky typu: co je to nanotechnologie, kdy tento obor vznikl a kdo byli jeho průkopníci či kde všude nachází nanotechnologie uplatnění. Většina lidí má pouze mlhavou představu o významu nanotechnologie – přínosu i rizikách, které s sebou nese.

Obecně u vývoje každé nové technologie platí, že teprve ve chvíli, kdy jsou zvládnuty mnohé otázky technologické a aplikační, se postupně hledá cesta k zavedení problematiky do škol. Metodika výuky se tedy rozvíjí až s časovým zpožděním po rozvoji technologie, návrhu a aplikací a v určitém pohledu je to tak správné (4). Nanotechnologie je dnes dynamicky se rozvíjejícím oborem, s jehož aplikacemi se můžeme setkat doslova na každém kroku. Přesto jí na školách doposud nebyla věnována odpovídající pozornost. Tato práce si proto klade za cíl navrhnout způsob, jakým by tento interdisciplinární obor mohl být začleněn do výuky na střední škole (SŠ). Předkládaná rigorózní práce nemá být pouze teoretickým pojednáním o nanovědě a nanotechnologii a jejich významu, ale několika praktickými náměty by měla přispět ke snadnějšímu praktickému zavedení „nanopoznatků“ do výuky přírodovědných předmětů na SŠ – měla by tedy být jakýmsi „vodítkem“, které by pedagogové při výuce mohli použít. Práce by také měla přispět k edukaci učitelů a studentů učitelství chemie o „nano“.

II. CÍLE PRÁCE

Prvním cílem této rigorózní práce je zpracovat téma „nanotechnologie“ tak, aby bylo uchopitelné a využitelné pro pedagogy vyučující na středních školách (SŠ). To znamená vytvořit takové výukové materiály a navrhnout takové náměty pro praxi učitele, aby na jejich základě mohly být vyučovány nové poznatky z nanotechnologie a nanovědy v přírodovědných předmětech v souladu se zaváděnými Rámcovými vzdělávacími programy (RVP), s důrazem na mezipředmětové vztahy. Předkládanými výukovými materiály budou:

- literární rešerše zpracovaná jako výukový text
- prezentace
- návrh projektu
- návrh exkurze s testy a pracovními listy
- motivační a osvojovací mezipředmětové úlohy s tematikou „nano“
- testové položky
- jednoduché demonstrace s tematikou „nano“

Druhým cílem mé práce je ověřit některé z vytvořených materiálů pro výuku v praxi na několika pražských SŠ. Konkrétně budou realizovány a následně vyhodnoceny projekt „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“ a dále pretest, pracovní listy a posttest k exkurzi „Exkurze do nanosvěta aneb Výlet za EM a SPM“. V rámci projektu budou ověřeny testové položky týkající se nanotechnologie.

Třetím cílem práce je formou dotazníkového šetření zmapovat názory na výuku o „nano“ na úrovni:

- středních škol (SŠ)
- vysokých škol (VŠ) připravujících studenty na profesi učitele chemie na SŠ

Respondenty budou studenti učitelství chemie a středoškolští učitelé přírodovědných předmětů.

Posledním, čtvrtým cílem práce je navrhnout a na jednom příkladu v praxi ověřit, jakým způsobem lze s nanotechnologií seznámit budoucí učitele chemie, tedy současné vysokoškolské studenty chemie se zaměřením na vzdělávání.

III. PROČ A JAK ZAVÁDĚT „NANO“ DO VÝUKY NA SŠ

Jak již bylo zmíněno, ačkoliv se dnes v běžném životě můžeme setkat s řadou nanotechnologických aplikací (nová elektronická zařízení, katalytické systémy, krémy v kosmetice, oblečení atd.), poznatky z oblasti nanosvěta a nanovědy obvykle na českých středních školách (SŠ) vyučovány nejsou. Na vysokých školách je situace odlišná – na řadě z nich (např. na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze, Českém vysokém učení technickém v Praze, Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci, Technické univerzitě v Liberci, Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava, Vysokém učení technickém v Brně) se již přednáší o nanomateriálech, nanostrukturách, mikro- a nanotechnologiích, nanoelektronice, mikroskopii atomárních sil apod. Některé ze zmiňovaných vysokých škol již dokonce otevřely bakalářský či/a magisterský studijní obor Nanotechnologie (resp. Nanomateriály). Osobně si proto myslím, že vzhledem k narůstajícímu významu nanovědy a nanotechnologie, by se základy těchto oborů měli být seznámeni alespoň ti středoškolští žáci, kteří mají zájem dále pokračovat ve studiu přírodovědných a technických oborů.

Vzhledem k v současnosti zaváděným Rámcovým vzdělávacím programům (RVP) mají školy v dnešní době možnost aktivně se spolupodílet na vytváření kurikula a zahrnout do něj nové poznatky objevené na poli vědy, techniky, průmyslu atd. Na základě RVP školy vytváří vlastní školní vzdělávací programy (ŠVP). Jejich součástí by mělo být alespoň elementární přiblížení nových, perspektivních oborů a odvětví, jakými jsou bez pochyby i nanotechnologie a nanověda.

Jak již bylo deklarováno, jedním z hlavních cílů této práce je přispět ke středoškolskému vzdělávání v oblasti nanotechnologií. Vyučovat o nanotechnologii je náročné zejména proto, že se jedná o silně interdisciplinární obor, který vyžaduje zvládnutí mnoha různých oblastí lidského poznání a jejich syntézu. Nanotechnologie má výrazný průřezový a multidisciplinární charakter – vychází z přírodovědných disciplín a inženýrských přístupů. Pro nanotechnologii je charakteristická víceoborovost a překrývání, případně úplné vymizení hranic mezi participujícími vědeckými odvětvími. Biochemik si tu podává ruku s materiálovým inženýrem, fyzik s lékařem, farmaceut s teoretickým matematikem a chemik s astrofyzikem (5).

Z výše uvedeného vyplývá, že není jednoduché odpovědět na otázku, jakým způsobem by měla být výuka nanotechnologie implementována do středoškolského kurikula. Nicméně je zřejmé, že by měla být jeho součástí. Cílem této práce není navrhnout jeden univerzální způsob, který by střední školy měly následovat, ale spíše poskytnout řadu různorodých námětů, které daná škola a daný pedagog může dále modifikovat podle aktuálních potřeb.

V následující části rigorózní práce budou podrobně rozebrány jednotlivé návrhy, jak implementovat „nano“ do výuky na SŠ. V tabulce 1 je uveden stručný přehled možného použití předkládaných výukových materiálů. Je na rozhodnutí pedagoga, který materiál si vybere a kolik času danému tématu věnuje. Učitel samozřejmě může využít více materiálů. Téma nanotechnologie se dá pojmout komplexně – např. realizací navrhovaného projektu. Je však možné vybrat si pouze určitý jev, přístroj či aplikaci z oblasti nanosvěta. Např. výuku o světelné a elektronové mikroskopii lze rozšířit o mikroskopii skenující sondou (SPM). K tomu je možné použít příslušné snímky z vytvořené prezentace a případné zájemce o podrobnosti odkázat na přečtení odpovídající kapitoly ve výukovém textu. Učitel může výklad navíc zpestřit jednoduchou demonstrací principu funkce přístroje SPM nebo navrženou exkurzí, před kterou žáci za domácí úkol vypracují přípravné pracovní listy. Poté lze vědomosti žáků ověřit testem.

Výukový materiál	Charakteristika	Časová dotace	V rámci předmětu
Literární rešerše zpracovaná jako výukový text	textový podklad pro výuku, pro učitele	2 – 4 vyučovací hodiny (VH)	přírodovědný seminář, příp. v menším časovém rozsahu ve fyzice, chemii, biologii
Prezentace	multimediální doplněk výukového textu		
Návrh projektu	tvorba časopisu; podpora interdisciplinarity a posílení klíčových kompetencí	4 – 5 VH + cca 5 hodin domácí přípravy (DP)	přírodovědný seminář, fyzika, chemie, biologie
Návrh exkurze	pretest	½ VH	přírodovědný seminář, fyzika
	přípravné pracovní listy	1 – 2 DP (+ 1 VH)	
	pracovní listy pro exkurzi + realizace exkurze	2 – 3 VH	
	posttest	½ VH	
Mezipředmětové úlohy	motivační a osvojovací	jedna úloha cca 15 minut	přírodovědný seminář, fyzika, chemie, biologie, geologie
Testové položky	evaluace	½ VH na 1 test	přírodovědný seminář, fyzika
Demonstrace	jednoduché způsoby, jak názorně přiblížit nanosvět a práci v něm	jedna demonstrace cca 5 – 15 minut	přírodovědný seminář, fyzika, chemie, biologie, matematika

Tabulka 1: Návrh možných způsobů implementace poznatků z nanotechnologie a nanovědy do středoškolského kurikula. Učitel může předkládané materiály libovolně kombinovat. Navržené časové dotace jsou pouze orientační a vycházejí ze zkušeností autorky.

IV. VÝUKOVÉ MATERIÁLY A NÁMĚTY PRO PRAXI

IV.1. LITERÁRNÍ REŠERŠE ZPRACOVANÁ JAKO VÝUKOVÝ TEXT

Jedním z cílů této rigorózní práce je seznámit samotné učitele s fascinující oblastí nanosvěta, přiblížit jim základy, na kterých stojí nanověda a nanotechnologie, a uvést příklady nanotechnologických aplikací – tedy stručně řečeno předložit jakýsi souhrnný přehled dosavadních poznatků v oblasti nanovědy a nanotechnologie. Ačkoliv je na internetu dostupná řada materiálů pojednávajících o nanotechnologii, jejich velká část je psána v angličtině (jazyce, kterému vládnou ne zcela všichni kantoři v ČR) a jedná se většinou pouze o dílčí pojednání určitého aspektu nanotechnologie (např. fullereny, nanočástice, mikroskopii atomárních sil apod.).¹ Tato rešerše by měla být jednou z prvních „vlaštovek“, která alespoň v omezené míře zaplní chybějící místo komplexně psané české práce o nanotechnologii a nanovědě a bude použitelná pro pedagogy působící na středních školách.²

V teoretické, rešeršní části této práce budou uvedeny základní informace o současném stavu a předpokládaném vývoji nanotechnologie. Nejprve budou představeny základy nanosvěta a definovány termíny nanotechnologie a nanověda. Poté budou popsány vlastnosti nanočástic a nanostruktur a nastíněna historie nanotechnologie. Přiblíženy budou přírodní nanotechnologie a techniky a metody studia objektů nanosvěta. Dále budou uvedeny specifické aplikace nanotechnologie, a to zejména ty, které se používají již dnes. Zmíněny budou také možnosti, jakými by se nanotechnologie mohla využívat v budoucnosti. Upozorněno bude i na možná rizika a etické a sociální důsledky plynoucí z využívání této nové technologie.

Teoretická část této práce nemá být vysoce odbornou rešerší, ale věcně správným, populárně psaným přehledem toho nejdůležitějšího a nejzajímavějšího z oblasti nanotechnologií. Obsahuje poznatky vhodné pro implementaci do středoškolské výuky na základě nově zaváděných RVP a zvláště mezipředmětových vztahů. Vzhledem k dynamice vývoje nanotechnologie a její šíři je třeba chápat předkládanou rešerši pouze jako úvod do této problematiky. V případě hlubšího zájmu doporučuji přečíst si práce uvedené v kap. IX. Použitá literatura.

¹ Text o nanomateriálech použitelný pro výuku na SŠ v češtině zpracoval Ambrož (80). Další práce, které se zabývají určitou částí nanotechnologie a z nichž mohou pedagogové čerpat, budou citovány v rešerši.

² V rešeršní části práce se nachází velké množství poznámek majících doplňující, rozšiřující, ale i vysvětlující charakter. Pro nanotechnologii a nanovědu je typická průřezovost a interdisciplinarita. I když se mnohé poznámky jeví z pohledu odborníka jako triviální, ne každý učitel fyziky nebo chemie ví, co jsou to biogenní minerály či cytoskelet a podobně ne každý učitel biologie rozumí tomu, co se chápe pod pojmem tunelový jev. Cílem poznámek je co možná nejkomplexněji dokreslit obsah textu zaměřeného na nanotechnologii a nanovědu a usnadnit porozumění všem pojmům čtenáři, kterým může být učitel fyziky, chemie, biologie nebo kdokoli jiný, kdo bude mít zájem dozvědět se něco o vzrušující oblasti nanosvěta.

1. VÍTEJTE V NANOSVĚTĚ

Oblast nanosvěta je území částic a struktur, které se nachází mezi světem jednotlivých atomů a makrosvětlem. Rozsah velikostí, o němž je zde řeč, je v intervalu mezi asi 1 nm až 100 nm.³ V minulosti se tato oblast netěšila přílišnému zájmu, ale od poloviny dvacátého století vzrůstá její význam. Jak je zřejmé z obr. 1, svět v rozměru nanometrů je nesmírně malý.



Obrázek 1: Pro srovnání. Struktura o rozměru 100 nm je svojí velikostí v takovém poměru k fotbalovému míči, jako je fotbalový míč k zeměkouli. Převzato z (2).

Předpona nano- pochází z řeckého slova „nanos“, které znamená trpaslík. Jedná se o první část složených slov mající význam malost, drobnost, trpaslictví. Ve vědeckém slova smyslu se předpona nano- používá pro vyjádření miliardtiny celku, tj. 10^{-9} . V případě jednoho nanometru (1 nm) tedy jde o miliardtinu metru (10^{-9} m), neboli miliontinu milimetru (10^{-6} mm). Pro lepší představu velikosti nanometru uvádím, že lidský vlas je široký asi 80 000 nm (tj. 80 μ m) a průměr molekuly vody je pouze asi 0,3 nm.

Nanočástice a nanostruktury se obvykle definují jako subjekty o velikosti v rozmezí od 1 do 100 nm. Zatímco atomy jsou menší než nanometr⁴ (do jednoho nanometru se „vejde“ asi šest atomů uhlíků, či deset atomů vodíku), velikost mnoha molekul, tj. skupin atomů použitých chemickou vazbou, sahá od nanometru výše. Některé molekuly jsou tedy nanostrukturami. Mohou obsahovat desítky až stovky atomů.

Mezi přirozené nanostruktury patří např. bílkoviny (obvykle se vyskytují v rozměrech mezi 4 až 50 nm) či DNA (široká asi 2 nm). Také viry (typicky s rozměry od 20 do 200 nm) by se daly označit jako nanočástice. Velikost organel a buněk (prokaryotních i eukaryotních) rozměrově přesahuje rámec nanosvěta⁵. Z obr. 2 je patrné, že mnoho biologických materiálů

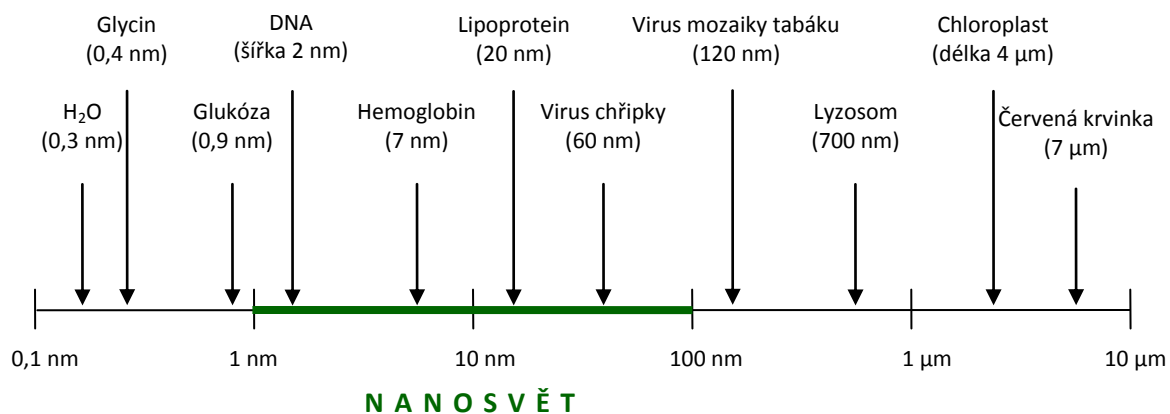
³ V některých pramenech je udáván rozměrový obor cca 0,1 – 100 nm.

⁴ Velikost atomů se pohybuje v řádu angströmů ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$).

⁵ Eukaryotní, např. rostlinné a živočišné buňky jsou obvykle velké 5 – 20 μ m. Velikost prokaryotních buněk (tj. bakterií a sinic) se nejčastěji pohybuje mezi 1 – 10 μ m. Organely, tj. ohraničené útvary eukaryotních buněk, mají rozměry v rozmezí desetin až jednotek mikrometrů.

lze klasifikovat jako nanostruktury či nanočástice. Podrobnější informace budou uvedeny v kap. 5. Inspirace z přírody.

Ve snaze napodobit přírodu člověk vytváří umělé nanostruktury – například jedoelektro-
nové tranzistory, které dnes měří pouze asi 20 nm, uhlíkové nanotrubičky o průměru
cca 1,2 nm či nanoprášky a nanočástice používané v kosmetických a opalovacích krémech
(2).



Obrázek 2: Porovnání velikosti (bio)molekul, virů, organel a buňky. Nakresleno podle (6) a (2).

2. CO JE TO NANOTECHNOLOGIE?

Termín nanotechnologie je dnes používán v souvislosti s technologiemi pracujícími v nanosvětě. Zjednodušeně by se tedy dalo říct, že nanotechnologie je technologií, která má co do činění s „malými“ věcmi. Nanotechnologie je multi-, inter- a transdisciplinární obor, který se celosvětově intenzivně rozvíjí nejen ve vědě, ale i ve výzkumu a v praxi. Aplikace nachází v elektronice, výpočetní technice, medicíně, strojírenství, stavebnictví, chemickém průmyslu, kosmetice, oděvnictví, sportu, potravinářství, ochraně životního prostředí, kosmickém výzkumu, vojenství a mnoha dalších oblastech. Jedná se o velmi perspektivní a dynamicky se rozvíjející obor.

Pole nanotechnologie je velmi široké. Do současnosti bylo publikováno tisíce článků, postupně vznikají monografie a internetové stránky pojednávající o nanotechnologiích. Z velkého množství dostupných online informací doporučuji českou webovou stránku <http://www.nanotechnologie.cz> (7), široce pokrývající tuto oblast.

2.1. DEFINICE NANOTECHNOLOGIE A NANOVĚDY

V současnosti neexistuje jednotná, všeobecně uznávaná definice nanotechnologie. Navíc se nanotechnologie obvykle odlišuje od nanovědy a je obtížné vymezit mezi nimi přesnou hranici. Nanotechnologie a nanověda nejsou nové vědecké disciplíny, ale spíše nové, prolínající se oblasti soustřeďující klasické vědní obory jako jsou fyzika pevných látek, chemie, molekulární biologie atd.

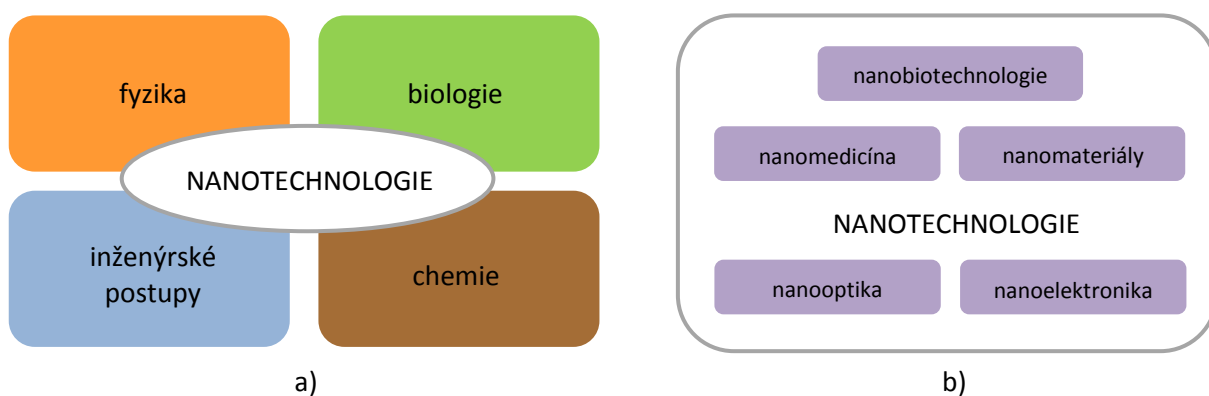
Pro nanotechnologii a nanovědu je typické, že zahrnují různé oblasti lidských činností, jež mají společné v zásadě pouze jedno: práci s hmotou v měřítku nanometrů. Ačkoliv mezi termíny nanotechnologie a nanověda neexistuje ostré rozhraní, v této práci jsou rozlišovány v následujícím slova smyslu:

Nanotechnologie je výzkum a technologický vývoj na atomové, molekulární nebo makromolekulární úrovni, v rozměrové škále přibližně 1 – 100 nm. Je to též vytváření a používání struktur, zařízení a systémů, které mají v důsledku svých malých nebo intermediárních rozměrů nové vlastnosti a funkce. Je to rovněž dovednost manipulovat s objekty na atomové úrovni (2). Na základě výše uvedeného vyjádření lze říci, že ***jako nanotechnologie se označuje soubor různých technologií a postupů, které mají společný cíl: řízenou manipulaci s atomy, molekulami nebo jejich malými skupinami vytvářet materiály, zařízení a funkční systémy s výjimečnými vlastnostmi, vyplývajícími z vlastností hmoty v rozměru nanometrů.***

Nanověda se zabývá výzkumem jevů a materiálových vlastností na nanometrické úrovni

(6). Nanověda tedy vytváří teoretickou základnu pro následné praktické využití získaných poznatků pomocí nanotechnologie.

Definice pojmů nanotechnologie a nanověda se u různých autorů více či méně liší. Podobně se liší i používání těchto termínů v jednotném či množném čísle. Pokud uvažujeme o nanotechnologii jako o interdisciplinárním oboru, který v sobě pojí poznatky z různých přírodovědných (zejména fyzikálních a chemických) disciplín a inženýrských přístupů, použijeme jednotného čísla. Pakliže se na nanotechnologie díváme z pohledu široké řady jejich možných aplikací, je vhodnější použití tohoto pojmu v plurálu. Uvedenou rozdílnost přístupů dokumentuje obr. 3. Obdobně se užívá označení nanověda, resp. nanovědy.



Obrázek 3: Nanotechnologie v jednotném a množném čísle. Použití singuláru (a), resp. plurálu (b) je dáno úhlem pohledu autora.

3. VLASTNOSTI A VÝROBA NANOČÁSTIC A NANOSTRUKTUR

Hmota v měřítku nanometrů může mít nové, unikátní vlastnosti zcela odlišné od vlastností pozorovaných v makrosvětě. Studium vlastností a výrobou nanočástic a nanostruktur se zabývají různé obory nanovědy a nanotechnologie, zejména nanofyzika a nanochemie.

Nanofyzika studuje fyzikální (tedy optické, elektrické, magnetické a mechanické) vlastnosti nanočástic a nanostruktur a jevy probíhající na úrovni nanometrů (např. tunelový jev – viz kap. 6.2.1. Skenovací tunelová mikroskopie (STM), efekt obřího magnetického odporu (GMR)⁶ apod.). Nanochemie je zaměřena na přípravu nanočástic a nanostruktur a popis jejich chemických a fyzikálně-chemických vlastností (tj. studium struktury, chemické vazby a reaktivity). Jak již bylo uvedeno, získané poznatky následně cíleně využívá nanotechnologie pro tvorbu nových materiálů, nástrojů, zařízení a systémů.

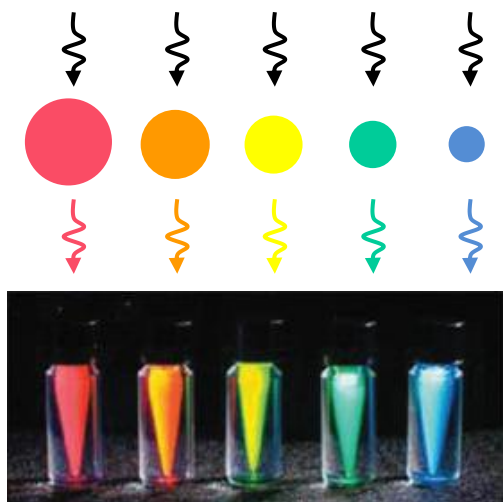
3.1. VLASTNOSTI NANOČÁSTIC, NANOSTRUKTUR A NANOMATERIÁLŮ

Nanočástice a nanostruktury jsou natolik malé, že jejich chování ovlivňují atomové síly, vlastnosti chemických vazeb a kvantové jevy. U velmi malých částic se začíná projevovat jejich vlnová povaha (5). To vše má za následek projev neobvyklých fyzikálních, chemických a biologických vlastností, které jsou využitelné v praxi. V následujících odstavcích zmíním několik příkladů toho, jak charakteristická rozměrová oblast nanosvěta ovlivňuje vlastnosti nanočástic, nanostruktur a nanomateriálů. Informace o využití těchto vlastností budou uvedeny dále, především v kapitolách 4.1. Stopy dávných „nanotechnologů“ a 7.1. Nanomateriály.

O vlastnostech materiálů rozhoduje nejen chemické, ale i strukturní složení. Pokud je alespoň jeden rozměr struktury materiálu v rozměrové oblasti $10^{-9} - 10^{-7}$ m, objevují se významné změny ve vlastnostech tohoto nanomateriálu ve srovnání s podobnými materiály, složenými ze struktur větší velikosti. U nanočástic a nanomateriálů byly pozorovány změny mechanických vlastností, a to pevnosti (např. uhlíkové nanotrubičky jsou stokrát pevnější než ocel, ale šestkrát lehčí), tvrdosti (nanočástice používané v metalurgii jsou zodpovědné za zvyšování tvrdosti a životnosti kovů (2)), tažnosti, superplasticity apod. Dále dochází ke změnám vlastností magnetických, elektrických, optických (např. oblast, ve které dochází k maximální absorpci fotonů, se liší pro různě velké částice, a proto se v závislosti na velikosti mohou čas-

⁶ Efekt obřího magnetického odporu (gigantická magnetorezistence, GMR) magnetických multivrstev byl objeven roku 1988. Jedná se o kvantově-mechanický jev, kdy ve velmi tenkých ferromagnetických vrstvách (např. 1 nm železa), oddělených nemagnetickým materiálem (např. chromem nebo mědí), dochází vlivem působení vnějšího magnetického pole k prudké změně elektrického odporu. Změna vodivosti může být až tisícinásobná. Tento objev umožnil výrazně zvýšit množství dat ukládaných na harddisky. Roku 2007 za něj získali Nobelovou cenu za fyziku Francouz Albert Fert a Němec Peter Grünberg (narozený v Plzni) (32), (62) a (71).

tečky zlata jevit jako červené, modré nebo zlaté (8)) a řady dalších. Tyto změny vlastností jsou důsledkem charakteristické malé velikosti nanostruktur, případně vyplývají z jejich vysoké uspořádanosti či prostorové orientace (5).



Obrázek 4: Optické vlastnosti nanokrystalů. Pět roztoků s nanokrystalů různé velikosti bylo excitováno UV zářením stejné vlnové délky. Barva roztoků je určena rozměry nanočástic. Upraveno podle (6).

Již ve starověkém Římě byly známy a využívány baktericidní vlastnosti stříbra (pilo se ze stříbrných pohárů, do vody se házely stříbrné mince). Dnes víme, že nanočástice stříbra (přesněji shluky atomů stříbra a stříbrných kationtů o rozměru 5 – 15 nm) jsou vysoce toxické nejen pro bakterie, ale i pro houby a kvasinky (6).

Dále bylo také zjištěno, že změny v teplotách tání kovů jsou funkcí velikosti jejich částic. S klesající velikostí částic dochází k poklesu bodu tání až o několik set stupňů. Například rozdíl v teplotě tání zlata v kompaktním stavu a ve formě nanočástic o velikosti 2 nm je 1000 stupňů (9).

Přímým důsledkem zmenšení velikosti je obrovský nárůst povrchové plochy částic. Zvětšení povrchové plochy (na jednotku hmotnosti) má za následek zvýšenou chemickou reaktivitu. Proto se nanomateriály jako třeba zeolity používají jako výborné katalyzátory (2).

Shrňme nyní nejdůležitější dosud uvedené poznatky. Pokud hovoříme o nanosvětě, máme na mysli oblast částic a struktur, které se rozměrově pohybují přibližně v intervalu mezi 1 nm až 100 nm. Nanočástice a nanostruktury považujeme za základní stavební jednotky nanomateriálů. Zkoumáním jejich vlastností se zabývá nanověda a praktickému využití leckdy nových a neobvyklých vlastností hmoty v rozměru nanometrů se věnuje nanotechnologie. Hranice nanotechnologie a nanovědy se nedají vymezit zcela přesně, lze však říci, že se jedná o interdisciplinární obory zahrnující oblasti z fyziky, chemie, inženýrství a biologie (10).

3.2. VÝROBA NANOČÁSTIC A NANOSTRUKTUR

„Nanovýroba“ zkoumá a vyvíjí metody výroby částic, struktur a systémů v nanorozměrech. Způsoby nanovýroby mohou být v principu rozděleny do dvou skupin: na „top-down“ (odshora dolů) a „bottom-up“ (odzdola nahoru). První postup výroby se někdy označuje jako fyzikální, druhý jako chemický. Společnou snahou obou postupů je kontrolovaně vytvářet nanočástice a nanostruktury stejného tvaru a velikosti.

V současnosti převládají výrobní postupy top-down, kdy do nanosvěta pronikáme z makrosvěta. Začínáme se strukturami vytvořenými člověkem, se kterými se dobře manipuluje, a cíleně se snažíme zmenšovat jejich velikost. V každém kroku miniaturizace se vytváří produkt o něco menší, než byl předcházející, a to tak dlouho, až vznikne struktura, která je dostatečně malá na to, aby byla nositelkou nové unikátní vlastnosti nebo funkce. Současné top-down technologie pracují na dolní hranici v rozměrech 10 – 100 nm (11). Používají litografii⁷, leptání a další procesy, které jsou postupným vývojem (založeným na rozsáhlém a nákladném výzkumu) zdokonalovány a posouvají se detaily do menších a menších rozměrů (4).

Výrobní postupy bottom-up začínají se stavbou funkčního nanostrukturního celku u nejmenších částic hmoty, u jednotlivých atomů a molekul. Z nich se skládají součástky, které tvoří další složky komplikovanějších systémů. Metody bottom-up se přirozeně uplatňují v přírodě při vytváření biologických struktur (viz kap. 5.1. Strategie vytváření biologických struktur). To lidi inspirovalo ke snaze vytvářet tímto způsobem nanostruktury umělé. Jejich velikost se dnes pohybuje pouze v rozmezí asi 2 – 10 nm. Bottom-up metody využívají kontrolované chemické reakce a jsou proto levnější než litografické metody. Často se také využívá přirozené schopnosti jednotlivých složek vzájemně se rozpoznávat, strukturovat, samosestavovat a samoorganizovat. Bottom-up metody se stále ještě nacházejí ve stadiu vývoje, očekává se však, že v budoucnu naleznou ve výrobě velké uplatnění. Už dnes se používají např. pro výrobu uhlíkových nanotrubic a kvantových teček⁸ (11).

⁷ Jako litografie se označuje soubor metod určených k přesnému chemicko-fyzikálnímu opracování vybraných částí povrchu materiálu. K lokální úpravě materiálu dochází pomocí tzv. masky. Litografie se používá např. pro hromadnou výrobu integrovaných obvodů.

⁸ Kvantové tečky jsou klastry (shluky) obsahující několik set až několik tisíc atomů polovodičového materiálu (CdSe, CdTe apod.). Jedná se v podstatě o fluorofory, tj. látky, které absorbují světelné záření, které v závislosti na své velikosti emitují na jiné vlnové délce; (menší kvantové tečky emitují na kratší vlnové délce jako je třeba modrá, zatímco větší tečky emitují na delší vlnové délce jako je např. červená). Používají se *in vivo* a *in vitro* k označování proteinů a nukleových kyselin (6). Jako velmi perspektivní se jeví možnosti jejich využití v nanoelektronice a nanooptice (více v kap. 7.2.2. Kvantové tečky).

4. HISTORIE – POČÁTKY NANOTECHNOLOGIE

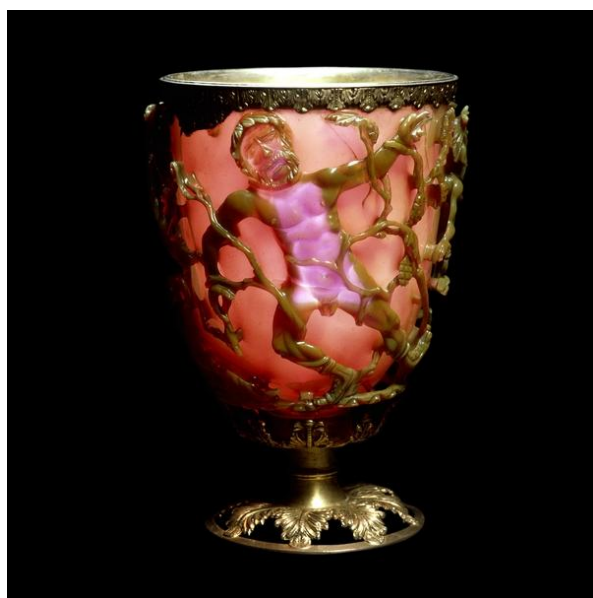
4.1. STOPY DÁVNÝCH „NANOTECHNOLOGŮ“

Na příkladu antibakteriálních vlastností stříbra bylo vidět, že některé vlastnosti nanočástic člověk využívá takřka od nepaměti. V této kapitole se podíváme na dva „staré“ příklady využití vlastností a jevů z oblasti nanosvěta. Uvedeny budou technologie, které se používaly velmi dávno – v dobách, kdy jejich uživatelé zřejmě neznali jejich podstatu a nepoužívali předponu nano- v dnešním slova smyslu.

Asi ze 4. století našeho letopočtu pochází Lykurgovy poháry, které lze vidět v Britském muzeu v Londýně. Pojmenovány byly podle mytologického thráckého krále Lykurga, který je zobrazen na vlysu na pohárech. Tyto poháry jsou příkladem speciálního typu tzv. dichroického skla, které mění barvu v závislosti na umístění světleného zdroje. Pozorujeme-li poháry v odraženém, např. denním světle, jsou zelené (viz obr. 5a). Pokud však zdroj světla umístíme dovnitř pohárů, jsou červené (viz obr. 5b) (12). Chemickou analýzou bylo zjištěno, že složení skla těchto pohárů je podobné tomu, jaké je používáno dnes. Za pozorované barevné změny mohou nanokrystaly ze slitiny stříbra a zlata (v molárním poměru 14:1) o velikosti asi 70 nm (13). Poháry byly vyrobeny pravděpodobně v Římě, není však známo, jakou technologii římsí skláři použili.



a)



b)

Obrázek 5: Lykurgovy poháry. Nanočástice zlata a stříbra způsobují unikátní zbarvení skla; v denním světle mají poháry zelenou barvu (a), pokud jsou však osvětleny zevnitř poháru, jsou zbarveny červeně (b). Převzato z (14).

Dalším příkladem toho, kdy bylo v minulosti využito vlastností kovových nanočástic, je lesklá glazovaná keramika z 13. – 16. století vyráběná v Evropě, zejména v Itálii (Umbrii). Zjistilo se, že lesk vyvolává dekorativní kovový film o tloušťce 200 – 500 nm, obsahující stříbrné a měděné nanokrystaly rozptýlené v matrici bohaté na sloučeniny křemíku, přičemž ve vnější vrstvě filmu o tloušťce 10 – 20 nm se kovy nenachází. Stříbrné nanokrystaly jsou odděleny od měděných a vytváří agregáty o průměru 5 – 100 nm. Optické vlastnosti této kompozitní struktury závisí jak na rozměru částic, tak na matrici. Lesklá glazovaná vrstva byla zřejmě prvním kovovým nanostrukturním filmem reprodukovatelně vyráběným člověkem (15). Trochu alchymistický popis postupu při výrobě glazury se zachoval v hrnčířské příručce „Li tre libri dell'arte del vasaio“ (tj. Tři knihy o umění hrnčířském), napsané italským řemeslníkem Ciprianem Piccolpassem roku 1557: „Soli mědi a stříbra se smíchaly s octem, okrem a jílem a touto směsí se natřely nádoby, které už na povrchu měly jednu vrstvu glazury. Jedinečného efektu lesklého povrchu dosáhly nádoby přesně regulovaným vypálením.“ (16)

4.2. PRŮKOPNÍCI NANOTECHNOLOGIE

Ačkoliv vlastností hmoty závisících na velikosti člověk využívá po staletí, ještě v polovině minulého století se zdálo být nepravděpodobné, že bychom mohli být schopni cíleně ovládat hmotu na atomární či molekulární úrovni. Většina vědců totiž byla přesvědčena o tom, že atomy v prostoru nelze přesně lokalizovat a je proto nemožné je záměrně využívat jako stavební jednotky pro zařízení, která by byla použitelná v praxi.

Koncem 50. let 20. století se však našli jednotlivci, kteří předpovídali možnost práce s atomy a konstrukci zařízení o molekulárních rozměrech. Jedním z prvních byl Arthur von Hippel, elektroinženýr z Massachusettského technologického institutu (MIT), který zavedl pojem „molekulární inženýrství“ (17).

Dalším z průkopníků nanotechnologie (třebaže ještě nepoužil tohoto slova)⁹ byl Richard Feynman, nositel Nobelovy ceny za fyziku. Základní myšlenky představil v přednášce „There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics“, přednesené na výročním zasedání Americké fyzikální společnosti na půdě Kalifornského technologického institutu (Caltech) roku 1959. Poukázal zde na skutečnost, že celá živá příroda pracuje na úrovni atomů a molekul a předpovídal, že v budoucnosti člověk dokáže sestavovat miniaturní zařízení schopná manipulovat s jednotlivými atomy. Svým proslovem před-

⁹ Termín nanotechnologie se poprvé objevil roku 1974, kdy ho použil japonský fyzik Norio Taniguchi v souvislosti s výrobními způsoby a měřicí technikou, které umožňovaly výrobu součástek s přesností na nanometry (75).

běhl dobu o několik desetiletí. Řekl mimo jiné: „Zákony fyziky, jak mohu posoudit, nejsou proti možnosti manipulovat s věcmi atom po atomu. Není to pokus porušit žádný zákon, je to něco, co může být v zásadě uděláno; ale v praxi se to zatím nepovedlo, protože jsme příliš velcí.“ (18). Feynman předvídal techniky, které budou schopné vytvořit integrované obvody a dopady, které to bude mít na výpočetní techniku. Představoval si, jak by bylo možné zapsat celou encyklopedii Britannica na špendlíkovou hlavičku a mluvil o používání elektronových mikroskopů pro zapisování obrovských množství informací na velmi malé plochy. Hovořil také o používání mechanických přístrojů pro vytváření dalších přístrojů s větší přesností. Mnoho jeho předpovědí se splnilo a jsou aspekty toho, co dnes nazýváme nanotechnologií. Na jeho počest je každoročně udělována Feynmanova cena za přínos v oboru nanotechnologie.

V 70. letech 20. století navázal na Feynmanovy radikální myšlenky americký fyzik Eric Drexler. Ve svém článku o molekulárním inženýrství předložil představu výroby molekulárních zařízení, jejichž základními stavební kameny by byly proteiny (19). Drexler novou technologii označoval jako „molekulární technologii“¹⁰. Prohlásil, že tato nová technologie bude řízeně a přesně manipulovat s jednotlivými atomy a molekulami a změni náš svět mnohem víc, než si dovedeme představit. Roku 1986 upozornil na její pozitivní i negativní stránky v knize „Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology“ (20), kde rozpracoval myšlenku nanotechnologické revoluce. Popsal svět umělých systémů na molekulární úrovni (nanoroboty, assembly), podobajících se živým organismům, se schopností reprodukce, vzájemné komunikace a sebezdokonalování. Podle Drexlera bude v budoucnu možné sestavit nanoroboty, jež budou schopny postavit s atomovou přesností prakticky cokoli, co jim předem stanovený program zadá – domy, auta, počítače, ale třeba též nukleární zbraně. Drexler rovněž vytvořil pojem „grey goo“, což je scénář hypotetického konce světa, podle něhož se samoreplikující nanoroboty vymknou kontrole a pro vlastní reprodukci spotřebují všechnu hmotu na Zemi. Tento termín je populární v literatuře science fiction (21).

¹⁰ Protože mají molekuly a jejich shluky rozměry řádově v nanometrech, vžil se postupem času pro molekulární inženýrství a molekulární technologii pojem nanotechnologie (2).

5. INSPIRACE Z PŘÍRODY

Lidé objevili svět nanotechnologií teprve v polovině 20. století, ale příroda tajemství nanosvětá zná a používá už celá tisíciletí, a to jak v oblasti živé, tak i neživé přírody. Většina životních procesů probíhá v nanorozměrech (10). Biologické nanosystémy jsou schopny přeměňovat energii, ukládat informace, rozpoznávat, pohybovat se, samostatně se uspořádávat a reprodukovat. Přírodní materiály se samy utvářejí, mohou být hierarchické, multifunkční, kompozitní, adaptivní, samoopravitelné a biodegradabilní (6). V tomto smyslu se příroda pro vědu stává nesmírně bohatým zdrojem inspirací. Neustále probíhají výzkumy orientované na poznání způsobů, jakými příroda vytváří rozmanité struktury. Lidé soustřeďují svůj zájem na vytváření struktur podobných vlastností, které pak uplatní v praktických oblastech, jako jsou medicína, biotechnologie, materiálové inženýrství atd. Obor, který se zabývá napodobováním přírodních materiálů a struktur se nazývá biomimetika (22).

5.1. STRATEGIE VYTVÁŘENÍ BIOLOGICKÝCH STRUKTUR

Základními stavebními prvky přírody jsou atomy. V případě živých organismů tvoří 99 % hmotnosti buněk, nejmenších živých jednotek, uhlík, vodík, dusík, kyslík, fosfor a síra (23). Tyto atomy jsou poutány chemickými vazbami a vytváří molekuly. Vedle vody jsou společným základem všech buněk malé organické molekuly: sacharidy, mastné kyseliny, aminokyseliny a nukleotidy. Tyto jednoduché stavební kameny tvoří podjednotky makromolekul a větších komplexů (polysacharidů, lipidů, proteinů, nukleových kyselin, ribosomů aj.), jež by se daly souhrnně označit jako nanostruktury (viz tab. 2). Mohou se samy sestavovat, organizovat a vytvářet vyšší celky jako membrány, orgány, buňky, tkáně, orgány a konečně celé organizmy.

Z výše uvedeného je zřejmé, že příroda umí vytvářet struktury a systémy výjimečných vlastností prostým sestavováním atomů a molekul hierarchicky způsobem bottom-up. Při tom se uplatňují zejména procesy samosestavování (self-assembly) a samoorganizace (self-organization).

Molekulární samosestavování je spontánní uspořádávání molekul za podmínek termodynamické rovnováhy do strukturovaných, stabilních, nekovalentně spojených agregátů (24). Struktury vzniklé samosestavením mají přesnou strukturu, velikost a tvar. Jejich utváření není

ovlivňováno vnějšími procesy. Příkladem samosestavení může být složení ribosomu z velké a malé podjednotky¹¹.

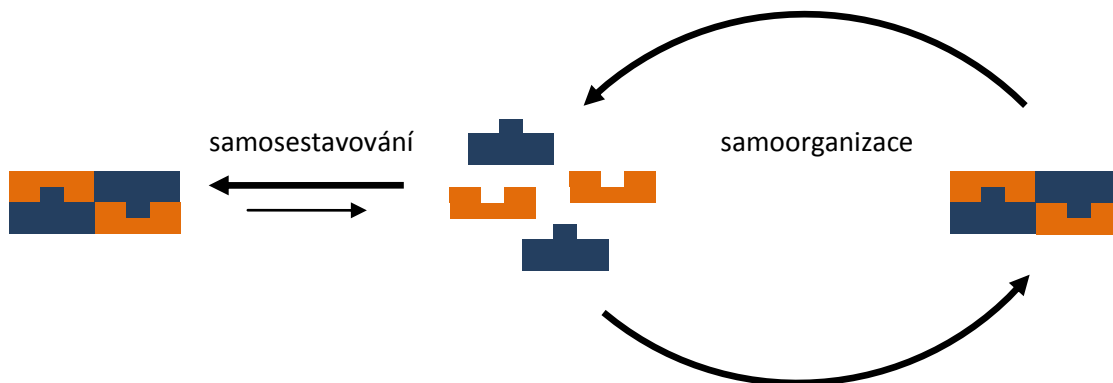
Buněčné nanostruktury	Charakteristika
Polysacharidy	- stavební kameny: monosacharidy, spojené glykosidovými vazbami - lineární nebo větvené biopolymery; tloušťka méně než 2 nm - funkce: strukturní (celulóza, chitin), energetická zásobárna (škrob, glykogen)
Lipidy	- stavební kameny: mastné kyseliny + alkohol nebo odvozené od isoprenu - nízkomolekulární, hydrofobní; délka fosfolipidové molekuly 2 – 5 nm - vytváření lipidových vrstev probíhá ve vodném prostředí samoorganizací (lipidy s válcovým tvarem tvoří rovné dvojné vrstvy nebo kulovité váčky (liposomy); pro lipidy kónického tvaru je nejstabilnější konformací micela¹²) - funkce: strukturní (tvorba buněčných membrán o tloušťce 6 – 10 nm), ochranná (tepelná a mechanická izolace), zdroj energie, rozpouštědla nepolárních látek (např. vitamínů A, D, E, K)
Bílkoviny (proteiny)	- stavební kameny: 20 proteinogenních α-aminokyselin (prolin je α-iminokyselina), rozměr 0,42 nm (Gly) – 0,90 nm (Trp), spojují se peptidovými vazbami - lineární polypeptidová (proteinová) nanovláknina se stáčí a vytváří nanočástice o průměru mezi 4 – 50 nm - funkce: strukturní (kolagen, keratin), biokatalyzátory (enzymy), molekulární motory, nanosenzory (receptory), transportní (kanály, přenašeče, pumpy; hemoglobin), zásobní (ferritin, kasein), signální (hormony, růstové faktory), regulační (v genové expresi), obranná (protilátky, toxiny) atd.
Nukleové kyseliny	- stavební kameny: nukleotidy (tj. dusíkatá báze (A, G, C, T nebo U) + (deoxy)ribóza + fosfát), rozměr 0,81 nm (CMP) – 0,86 nm (GMP), spojují se fosfodiesterovými vazbami ve směru 5' → 3' - DNA je většinou pravotočivá dvoušroubovice, nanovláknina tvořená ze dvou antiparalelních polynukleotidových řetězců; průměr asi 2 nm; asociaci s bazickými proteiny histony tvoří chromosomy (cca 6 x 1,4 μm) - RNA je jednovláknová šroubovice - funkce: DNA – uchování genetické informace, RNA (mRNA, tRNA, rRNA) – exprese genetické informace (transkripce a translace)

Tabulka 2: Charakteristika vybraných buněčných nanostruktur. Polysacharidy, proteiny a nukleové kyseliny jsou makromolekulární látky; vznikají kondenzační reakcí. Lipidy jsou skupinou nízkomolekulárních organických látek, definovanou na základě nerozpustnosti ve vodě a rozpustnosti v tucích a organických rozpouštědlech, jako např. v benzenu. Zpracováno podle (6). Další informace mohou zájemci lze nalézt např. v publikaci Alberts et al. (1998) (23). Využití buněčných nanostruktur v nanotechnologiích bude uvedeno v kap. 7.3. Nanobiotechnologie a bionanotechnologie.

¹¹ Ribosomy jsou molekulové „stroje“, které vyrábějí proteiny. Nacházejí se v cytoplazmě prokaryotních i eukaryotních buněk a v semiautonorních organelách (tj. v mitochondriích a chloroplastech). Jedná se o složité ribonukleoproteinové komplexy (obsahují více než 50 druhů ribosomálních proteinů a několik druhů rRNA) vejcovitého tvaru o velikosti cca 20 x 30 nm (6). Jsou tvořeny velkou a malou podjednotkou, jež se při iniciaci proteosyntézy samosestavují na molekule mRNA, obvykle blízko jejího 5'-konce, a pohybují se k jejímu 3'-konci za současné syntézy proteinu. Malá podjednotka ribosomu zodpovídá za nasednutí tRNA na kodony mRNA a velká podjednotka katalyzuje vznik peptidové vazby mezi aminokyselinou a polypeptidovým řetězcem (23).

¹² Micela a liposom jsou kulovité útvary. Micelu tvoří jedna vrstva molekul fosfolipidů. Liposom (fosfolipidový váček) je tvořen jednou nebo několika lipidovými dvojvrstvami a izolovaným(i) vnitřním(i) kompartmentem(y) obsahujícím(i) vodný roztok. Průměr liposomu bývá cca 25 nm – 1 μ m. Liposomy se používají v biologii, biochemii a nanomedicině (23) a (6).

Samoorganizace, na rozdíl od samosestavení, vyžaduje situaci daleko od termodynamické rovnováhy a je možná pouze v otevřených systémech. Při samoorganizaci se složky uspořádávají do vysoce dynamické, neustále reorganizované struktury. Vytvářené struktury jsou pružné, samoopravitelné a nazývají se disipační¹³. Typickým příkladem samoorganizace je cytoskelet¹⁴ (6). Rozdíl mezi samosestavováním a samoorganizací je schematicky znázorněn na obr. 6.



Obrázek 6: Samosestavování versus samoorganizace. Při samosestavování se jednotlivé složky sestavují do stabilní statické struktury, která je v termodynamické rovnováze. Při samoorganizaci se složky uspořádávají do stále se vytvářející dynamické struktury. Nakresleno podle (6).

5.2. PŘÍKLADY PŘÍRODNÍCH NANOTECHNOLOGIÍ

Nanotechnologie je věda o komplexních a praktických zařízeních nanometrických rozměrů a umění vytvářet je s atomovou přesností (2). Příkladů přírodních nanotechnologií lze nalézt velmi mnoho. V buňce, jakési molekulární „továrně“, pracuje řada biologických nanostrojů, např. již zmiňované ribosomy, receptory membrán, enzymy fungující jako katalyzátory, molekulární kanály¹⁵ a pumpy¹⁶, molekulární motory¹⁷ atd.

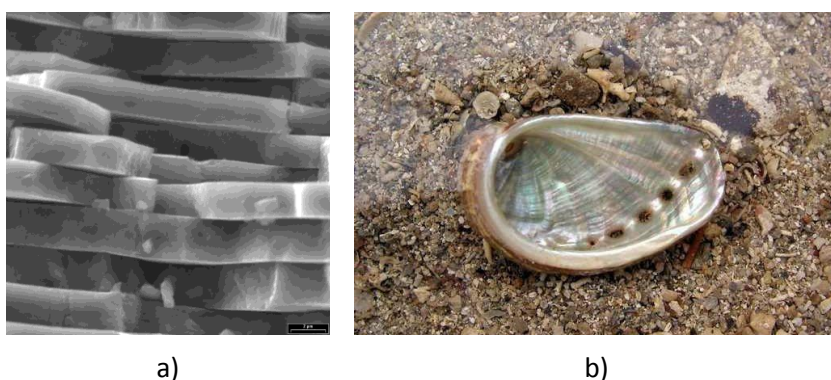
¹³ Biologické systémy patří z termodynamického hlediska mezi systémy disipační. Kterýkoli disipační systém dokáže samovolně zaujmout stav relativně vyšší uspořádanosti a udržovat se v něm na úkor energie, která jím protéká (65).

¹⁴ Cytoskelet je složitá síť proteinových vláken v cytoplasmě eukaryotní buňky, která ovládá tvar a pohyb buňky a umožňuje organelám a molekulám přesun z jednoho místa v cytoplasmě na druhé. Je to vysoce dynamická, samoorganizující se struktura, která je neustále reorganizována během toho, jak buňka mění tvar, dělí se nebo reaguje na změny ve svém okolí. Nejhojnějšími složkami cytoskeletu jsou aktinová vlákna, mikrotubuly a intermediární filamenta (23).

¹⁵ Molekulární kanály jsou transmembránové proteiny umožňující pasivní transport. Jedná se buď o vodné póry (umožňují pasivní pohyb malých, ve vodě rozpustných molekul dovnitř buňky či organely nebo naopak) nebo iontové kanály (umožňují průchod anorganických iontů vhodného náboje a velikosti membránou po spádu jejich elektrochemického potenciálu; mohou být uzavíratelné a otevírat se přechodně v odpověď na specifické podněty – např. změnu membránového potenciálu, vazbu ligandu nebo mechanické podráždění) (23).

¹⁶ Molekulární pumpy jsou přenašečové proteiny, které umožňují aktivní transport látek přes membránu proti gradientu jejich elektrochemického potenciálu. Mohou být poháněny hydrolyzou ATP, tokem Na^+ či H^+ po spádu jejich elektrochemických potenciálů nebo světlem (pouze u rodu *Halobacterium*). Příkladem je sodno-draselná pumpa (Na^+/K^+ -ATPáza) v plazmatické membráně živočišných buněk, která využívá energii z hydrolyzy ATP k aktivnímu čerpání Na^+ z buňky a K^+ do buňky (23).

Příklad nanotechnologie však můžeme nalézt i na pomezí přírody živé a neživé. Formou přírodní nanotechnologie je totiž biomineralizace, proces, při němž organizmy produkují anorganické látky, tzv. biogenní minerály¹⁸, které se stávají součástí jejich organismu a fungují nejčastěji jako opora těla nebo ochrana před predátory. Příroda řídí syntézu těchto minerálů – kontroluje rozměr, tvar, uspořádání krystalů a jejich interakci s organickými sloučeninami, což ovlivňuje výsledné vlastnosti materiálů, jako např. vysokou pevnost, odolnost proti lomu i estetický vzhled (viz např. ulitu ušně – obr. 7). Biomateriály, kompozity biogenních minerálů a organických molekul, jsou v současnosti jednou z hlavních oblastí výzkumu materiálové vědy (6).



Obrázek 7: Ulita ušně mořské (*Haliotis tuberculata*). Ulita plže ušně je tvořena nanokompozitním materiálem (vrstvy nanobloků CaCO_3 (a) + směs proteinů a polysacharidů). Díky tomu je neobyčejně pevná a zevnitř krásně perleťově zbarvená (b). Převzato z (6).

¹⁷ Molekulární motory jsou bílkoviny s enzymovou aktivitou, které přeměňují chemickou energii (obvykle ve formě ATP) na energii mechanickou (pohyb). Tyto biomolekuly mají rozměr cca 2 – 20 nm, tj. jsou o tři řády menší ve srovnání se současnými mikromotory vyrobenými mikrotechnologiemi (např. litografií a povrchovým mikroobráběním). V buňce plní různé funkce, např. transport organel (kinesiny, dyneiny), skládání proteinů a tvorbu kontraktlních svazků (myosiny) apod. Jsou rozhodující pro dělení buněk (kinesiny, dyneiny, myosiny) a jejich pohyb (dynein v řasinkách a bičících) (6) a (23).

¹⁸ Mezi biogenní minerály (biominerály) patří např. CaCO_3 (uhličitan vápenatý, kalcit, aragonit), který tvoří pevné nanostrukturní bloky ve schránkách měkkýšů či ve vaječných skořápkách ptáků. Ve vnitřním uchu savců slouží jeho krystaly (nazývané otolity) jako receptor gravitace. Dalším biominerálem je SiO_2 (oxid křemičitý, křemen), který zpevňuje tělo přesliček. Hydratovaný polymer SiO_2 vytváří např. schránku rozsivek (tzv. frustula). $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (fosforečnan-hydroxid pentavápenatý, resp. $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$, hydroxyapatit) je součástí kostí a zubů, nejtvrdších částí lidského těla. Nanokrystaly Fe_3O_4 (oxidu železnato-železitého, magnetitu) obalené lipidovou membránou tvoří organely zvané magnetosomy. Jejich řetízky fungují jako střelky kompasu a umožňují magnetotaktickým bakteriím orientaci ve vodním prostředí. Ne všechny biominerály jsou však v organizmech žádoucí, např. $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (monohydrát šťavelanu vápenatého) je hlavní složkou močových kamenů (6).

6. JAK NAHLÉDNOUT DO NANOSVĚTA?

Jak již bylo uvedeno, přirozené i umělé nanostruktury mají rozměry pohybující se v řádu nanometrů, tj. velikosti asi jedné tisíciný tloušťky lidského vlasu. Otázkou ale zůstává, jakým způsobem je možné takovéto objekty pozorovat. Jsou viditelné pouhým okem či pouze pomocí mikroskopu? Jaký nástroj je třeba použít k manipulaci s nanočásticemi a nanostrukturami – bude stačit pinzeta? Kdy poprvé se člověku podařilo manipulovat jednotlivými atomy a za jakým účelem? A k čemu je vůbec dobré nahlížet do nanosvěta? Pozorný a zvědavý čtenář nalezne odpovědi na tyto otázky (a možná i na další, které si sám položil) v následujících řádcích této kapitoly.

Lidské oko má omezenou rozlišovací schopnost – umožňuje vnímat odděleně dva body vzdálené od sebe minimálně asi 0,2 mm (23). Lepší rozlišovací schopnost mají optické přístroje, například mikroskopy. Ty zvětšují zorný úhel, pod kterým vidíme určitý předmět, a umožňují tak pozorovat oblasti lidskému oku nedostupné.

Rozlišovací schopnost světelného mikroskopu (SM), který vynalezli koncem 16. století holanďští brusiči čoček, je omezena difrakcí (tj. ohybem) světla, takže pod světelným mikroskopem rozeznáme nejmenší předměty o rozměrech rovných přibližně polovině vlnové délky světla ($\lambda/2$). Budeme-li uvažovat, že vlnová délka viditelného světla λ se pohybuje v rozmezí 400 – 800 nm, znamená to, že pomocí světelného mikroskopu můžeme pozorovat objekty velké minimálně 200 nm, to je například bakterie (25).

Nanosvět virů a molekul a svět jednotlivých atomů byl našemu zraku odhalen až v průběhu 20. století díky objevu přístrojů, jakými jsou např. elektronové mikroskopy (EM) či mikroskopy se skenující sondou (SPM). Tato zařízení umožňují zobrazovat i objekty menší než 1 nanometr. Mají nezastupitelné uplatnění v mnoha vědeckých oborech a přispěly k řadě významných objevů.

6.1. ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE (EM)

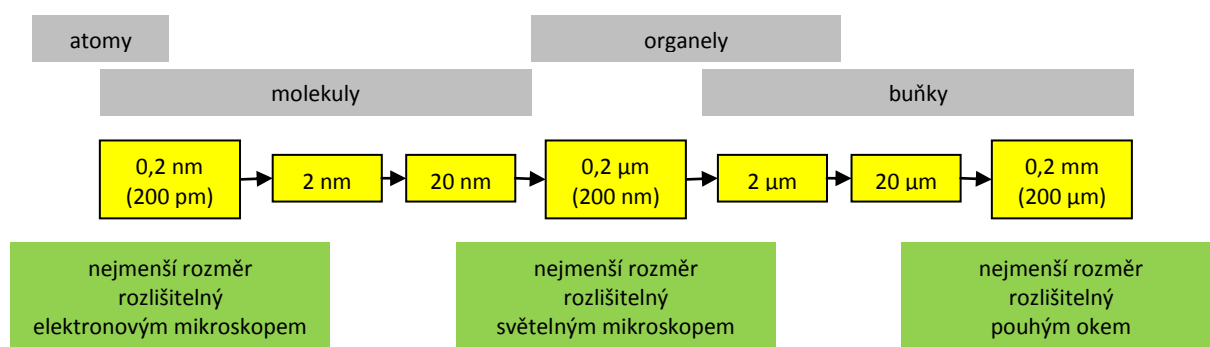
Elektronový mikroskop (EM), stejně jako každý mikroskop, slouží k pozorování a zvětšování velmi malých a blízkých předmětů. Funkčně je EM podobný světelnému mikroskopu (SM). Zásadní rozdíly mezi SM a EM spočívají v tom, že:

- EM k zobrazování předmětů využívá místo světelného paprsku svazek elektronů urychlených pomocí elektrického pole
- EM místo skleněných čoček používá čočky elektromagnetické (tj. různé typy cívek)

Výše bylo zmíněno, že rozlišovací schopnost (daná nejmenší možnou vzdáleností dvou od sebe navzájem odlišitelných bodů) je u SM omezena vlnovou délkou viditelného světla. U EM však lze vlnovou délku elektronů λ regulovat vložení urychlujícího napětí, což dkládá vztah $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}} = \frac{1,226}{\sqrt{U}} [nm]$,

kde h je Planckova konstanta ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$), m je klidová hmotnost elektronu ($m = 9,110 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$), e je náboj elektronu ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) a U je vložené napětí.

Vlnová délka urychlených elektronů tak může být i o několik řádů menší než vlnová délka fotonů viditelného světla. Díky tomu je nejmenší rozměr rozlišitelný EM až tisíckrát menší než u SM – viz obr. 8 (26).



Obrázek 8: Meze rozlišení. Lidské oko je schopno rozlišit dva body vzdálené od sebe minimálně 0,2 mm. Větší rozlišení poskytují např. světelný či elektronový mikroskop. Nakresleno podle (23).

V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop (TEM – Transmission Electron Microscope) a skenující (rastrovací, řádkovací) elektronový mikroskop (SEM – Scanning Electron Microscope, příp. REM). Než se podíváme blíže na oba přístroje, zejména na jejich principy fungování a praktické využití, nastíníme si situaci, ve které byli fyzikové na konci 19. a počátku 20. století.

6.1.1. Objevy vedoucí ke konstrukci elektronových mikroskopů

Konstrukci elektronového mikroskopu předcházela řada dílčích objevů, jejichž závěry byly využity při sestavení tohoto přístroje. První důležitý krok učinil anglický fyzik Joseph John Thomson, který roku 1897 prokázal, že katodové paprsky jsou proudem rychle letících záporně elektricky nabitých částic, které byly později nazvány elektrony (25).

Dalším důležitým mezníkem byl rok 1924, kdy Louis de Broglie vyslovil geniální hypotézu, podle níž lze každé volně se pohybující částici (tedy i elektronu) přiřadit vlnovou délku.

Roku 1927 vlnový charakter elektronu potvrdily pokusy, které nezávisle na sobě provedli Clinton Davisson s Lestrem Germerem a George Paget Thomson s Alexandrem Reidem. Při těchto pokusech byla pozorována difrakce elektronů (26).

Důležitou roli na cestě k elektronovému mikroskopu sehrály také práce Hanse Busche, uveřejněné v roce 1926, které se zabývaly analogií mezi vychylováním paprsku elektronů pomocí magnetických polí solenoidů (cívky) a světla pomocí skleněné čočky (26).

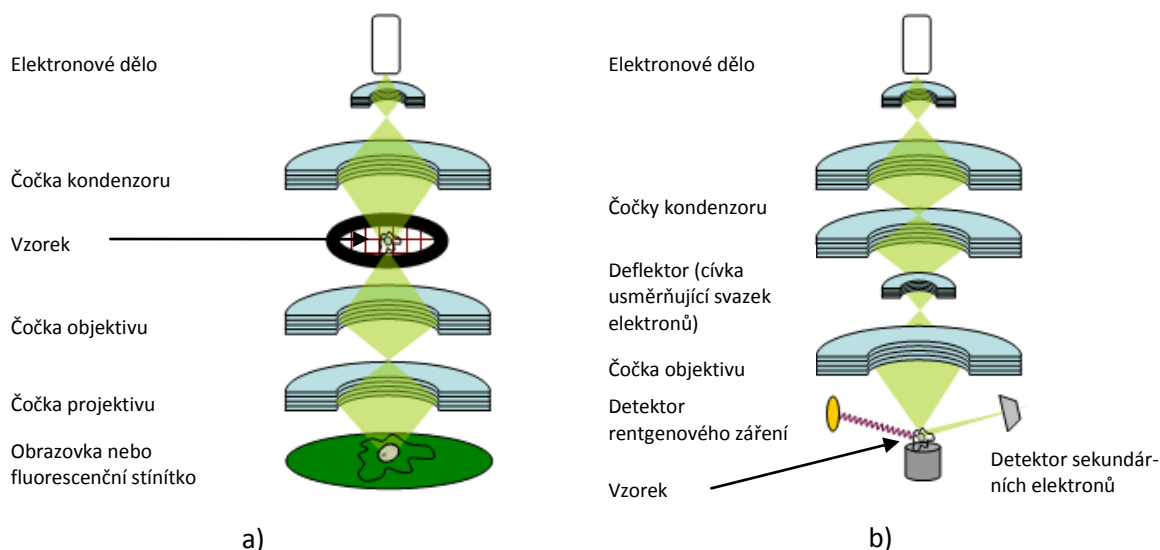
Především díky těmto pokusům se na Vysoké škole technické v Berlíně zrodila myšlenka konstrukce elektronového mikroskopu. A už roku 1931 Ernst Ruska s Maxem Knollem zkonstruovali první elektronový mikroskop, přesněji řečeno první transmisní elektronový mikroskop (TEM). O dva roky později pak Ruska sám zkonstruoval první elektronový mikroskop, který měl lepší rozlišovací schopnost než světelný mikroskop (27). Za tento počín získal roku 1986 Nobelovu cenu. U počátků skenovacího (rastrovacího) elektronového mikroskopu (SEM) stáli ve druhé polovině třicátých let dvacátého století Max Knoll a Manfred von Ardenne. Roku 1942 SEM sestrojil tým vedený americkým vědcem Vladimírem Zworykinem (28).

6.1.2. TEM a SEM – principy funkce a použití elektronových mikroskopů

Transmisní (prozařovací) elektronovým mikroskop je konstrukčně i funkčně velmi podobný světelnému mikroskopu. Z obr. 9 je dobře patrné, že u TEM obraz vzniká prostřednictvím svazku elektronů, které jsou emitovány elektronovým dělem (elektronovou tryskou) a poté, což je podstatné – procházejí vzorkem. Proto lze pomocí TEM pozorovat pouze velmi tenké vzorky (do tloušťky 100 nm). Obraz je zvětšen a zaostřen elektromagnetickými čočkami objektivu a projekтиву (odpovídá okuláru SM) a je zobrazován na obrazovce (případně na fotografickém filmu či fluorescenčním stínítku), jež zviditelňuje dopadající elektrony. Při pozorování biologických objektů se navíc pro zvýšení kontrastu přidávají ke vzorku atomy těžkých kovů (Mo, W, Os). Zobrazovacím prostředím je vakuum, protože ve vzduchu by docházelo k pohlcování elektronů. Rozlišovací schopnost TEM je okolo 0,2 nm; speciálními typy TEM lze dosáhnout meze rozlišení až 0,1 nm. (U biologických objektů a struktur však TEM dosahuje rozlišení pouze asi 2 nm) (23), (6), (26).

Skenující (rastrovací, řádkovací) elektronový mikroskop využívá úzkého, pohyblivého svazku elektronů, který je pomocí elektromagnetického vinutí zaostřený na vzorek a postupně bod po bodu skenuje jeho povrch. Na rozdíl od TEM elektrony u SEM vzorkem neprocházejí, ale interagují s povrchem vzorku (pokrytým tenkou vrstvou těžkého kovu) a vytváří detekova-

telné signály (odražené elektrony, sekundární vyražené elektrony apod.), z nichž je sestavován obraz. Podobně jako TEM i SEM pracuje s vysokým vakuem, aby se zabránilo vlivu atmosféry na primární a sekundární elektrony. SEM poskytuje pozoruhodné 3D obrazy povrchových detailů vzorku s vysokou hloubkou ostrosti. Dosahuje maximálního rozlišení „pouze“ asi 1 nm (23), (26).



Obrázek 9: Schematické nákresy TEM (a) a SEM (b). Upraveno podle (29).

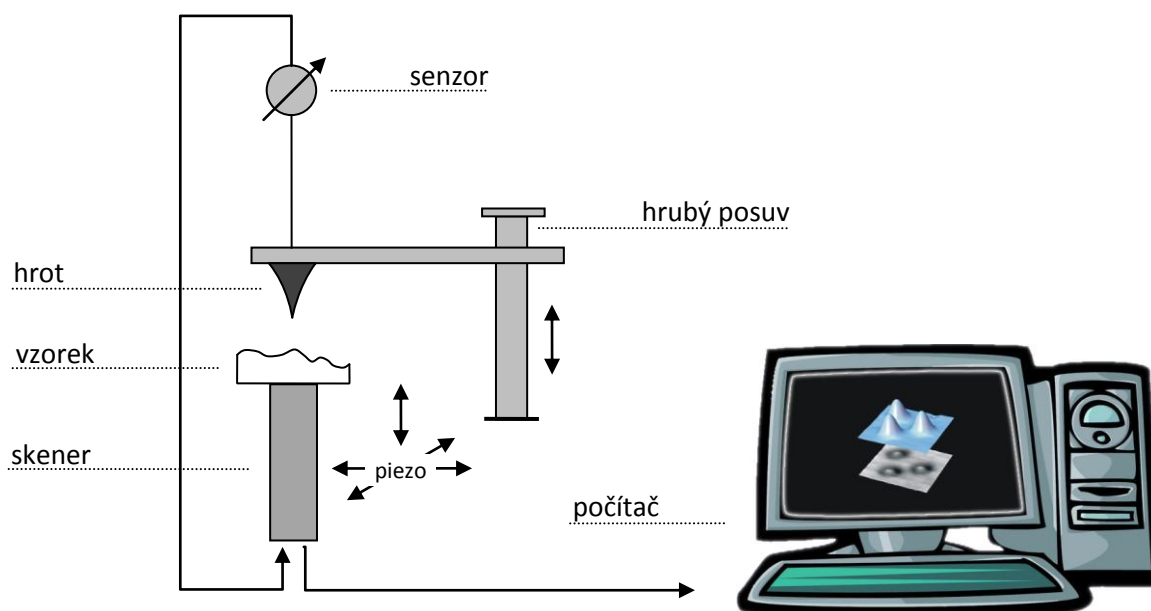
Elektronové mikroskopy se používají v mnoha různých přírodovědeckých odvětvích – v biologii, chemii, fyzice, mineralogii apod. V současné době jsou nepostradatelnou součástí každé moderní biologické laboratoře. Díky elektronovým mikroskopům se dají s vysokou rozlišovací schopností studovat viry, jednotlivé části buněk (např. ribosomy, komplexy protein-DNA) i pochody, které v buňkách probíhají. Elektronová mikroskopie umožňuje studovat také povrch a strukturu krystalů řady materiálů atd. (26).

6.2. MIKROSKOPIE SKENUJÍCÍ SONDOU (SPM)

Během druhé poloviny 20. století byly objeveny přístroje a metody, které způsobily velký rozvoj nanotechnologie. Sestrojena byla zařízení, která umožnila jednotlivé atomy, molekuly a jejich shluky nejen studovat, ale cílenými zásahy ovlivňovat jejich tvar, velikost a uspořádání. Průlomovou událostí byl rok 1981, kdy Gerd Binnig a Heinrich Rohrer v laboratoři IBM v Curychu vynalezli skenovací tunelový mikroskop (STM) (30), (31), přístroj, díky němuž je možné pozorovat jednotlivé atomy a molekuly a dokonce s nimi manipulovat. Za tento objev obdrželi roku 1986 Nobelovu cenu (32). Postupem času byly vytvořeny a zdokonalovány další podobné přístroje a metody. Dnes se soubor experimentálních metod určených k 3D studiu

struktury povrchů s atomárním rozlišením označuje jako mikroskopie skenující sondou (SPM – Scanning Probe Microscopy) (6).

Jak už samotný název napovídá, jednou ze základních částí mikroskopu SPM je sonda (tvořená zpravidla hrotem a raménkem), která postupně bod po bodu snímá povrch zkoumaného předmětu. Sonda se pohybuje v přesně definované síti bodů ve vzdálenosti od několika desetin po několik desítek nanometrů od povrchu vzorku¹⁹. Složením obrazů jednotlivých bodů povrchu pomocí počítače se vytváří trojrozměrný obraz povrchu. Z obrázku 10 jsou patrné další funkční složky přístroje SPM, které tvoří senzor (snímá změnu stavu sondy) a polohovací zařízení (skener; pomocí zpětné vazby mění svoji délku ve směru osy z a dále se piezoelektricky pohybuje v rovině xy a umožňuje tak pohyb vzorku, jenž je na něm upevněný) (33). Další uspořádání mikroskopu a vlastnosti jeho jednotlivých součástí se mění podle druhu metody SPM, kterou tento přístroj využívá²⁰.



Obrázek 10: Schematický náčrt uspořádání mikroskopu SPM. Mikroskop je tvořen mechanickou a elektrickou částí a sondou. Sonda (hrot) interakcí se vzorkem mění svůj stav, který je snímán senzorem a přes obvod zpětné vazby je ovlivňováno prodloužení skeneru. Změna délky je přenášena (zpravidla pomocí změny napětí na skeneru) do počítače, který sestavuje obraz. Nakresleno podle (34).

¹⁹ Díky extrémně malé vzdálenosti hrotu sondy od povrchu vzorku jsou metody SPM velmi citlivé k vibracím a k výchylkám teploty (26).

²⁰ Dnes je používáno několik desítek metod SPM vhodných ke studiu různých vlastností různých typů povrchů. Tyto metody jsou založeny na sledování změn veličin při skenování povrchu vzorku. Jde např. o změny elektrického napětí nebo proudu mezi hrotem a povrchem, změny různých druhů přitažlivých či odpudivých sil mezi hrotem sondy a povrchem, změny tepelné vodivosti, elektrické vodivosti či teploty povrchu vzorku. Mnohdy je více druhů metod SPM sdruženo v jednom přístroji, který umožňuje současný sběr více druhů signálů, a proto i souběžné studium několika různých charakteristik povrchu vzorku. Mimo topografie tedy lze pomocí metod SPM studovat i elektrické, magnetické, elastické, tepelné a další vlastnosti povrchu vzorku (26).

Podle Kubínka et al. (34) a Prnky a Šperlinka (6) k vlastnostem SPM patří:

- není zapotřebí žádného externího zdroje částic (jako jsou elektrony v elektronové mikroskopii nebo světlo ve světelné mikroskopii)
- obraz je vytvářen počítačem na základě postupného měření určité fyzikální veličiny (tunelový proud, atomární síly apod.), která prudce závisí na vzdálenosti mezi sondou a vzorkem
- rozlišení mikroskopu závisí na velikosti sondy a na konkrétním vzorku (není tedy závislé na vlnové délce objektu zprostředkovávajícího interakci)
- 3D obraz je sestavován v reálném čase, což umožňuje studovat dynamické procesy
- možnost zobrazovat v různých prostředích (vakuum, vzduch, kapalina) je výhodou především pro zobrazování biologických vzorků *in vitro* a *in vivo*
- metody nejsou citlivé na chemickou podstatu atomů
- nevýhodou je velké množství artefaktů (např. zobrazení hrotu, zdvojení obrazu)

Nyní se blíže podíváme na dvě z metod SPM: na skenovací (rastrovací) tunelovou mikroskopii (STM – Scanning Tunneling Microscopy) a na mikroskopii atomárních sil (AFM – Atomic Force Microscopy).²¹ Pokud nebude uvedeno jinak, je následující text převzatý z Kubínka a Půlkrábka (26). Odstavce psané písmem o velikosti 10 pt jsou považovány za rozšiřující.

6.2.1. Skenovací tunelová mikroskopie (STM)

Činnost skenovacího tunelového mikroskopu je založena na tzv. tunelovém jevu²², ke kterému dochází mezi dvěma vodivými tělesy – hrotem sondy mikroskopu a povrchem vzorku, vzdálenými od sebe max. 1 nm. Je-li mezi ostrý vodivý hrot a vodivý (nebo alespoň polovo-

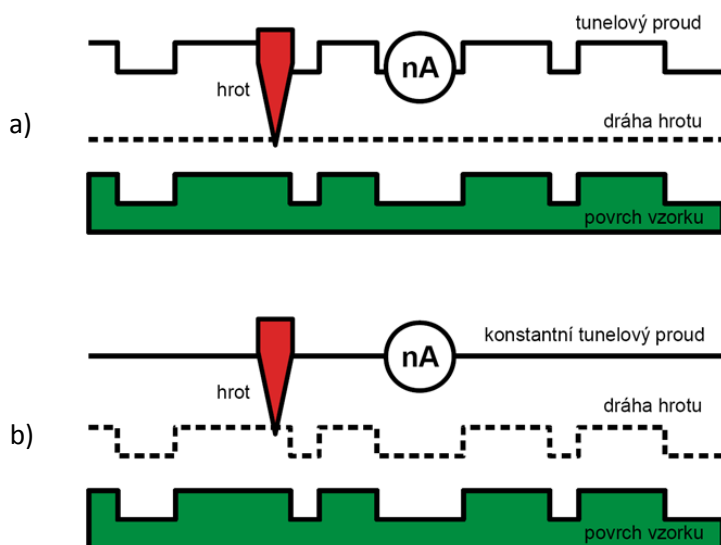
²¹ Těm, kdo by chtěli proniknout hlouběji do problematiky mikroskopie skenující sondou (SPM) a seznámit se i s jejími dalšími metodami, doporučuji pěkné a obsáhlé webové stránky Laboratoře mikroskopie atomárních sil v Olomouci: <http://atmilab.upol.cz> (67). K volnému stažení je zde řada čtivých prací, jejichž úroveň přesahuje rámec střední školy, mohou však pomoci studentům, kteří budou studovat fyzikální, chemické a biologické obory na vysokých školách a budou potřebovat podrobnější informace o metodách SPM.

²² Tunelový jev je typickým projevem vlnové povahy elektronu. V klasické fyzice platí, že částice může překonat určitou bariéru pouze tehdy, pokud k tomu má dostatečnou energii. V mikrosvětě je však podle zákonů kvantové fyziky všechno otázkou pravděpodobnosti. Proto se zde odehrávají jevy, které z hlediska klasické fyziky nemohou nastat. Jedním z nich je i tunelový jev, kdy mikročástice (např. elektrony) mohou s nenulovou pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měly dostatečnou energii – mohou se „protunelovat“ a najednou se ocitnout za překážkou. Pravděpodobnost „protunelování“ je ovšem malá a s narůstající šířkou bariéry prudce (exponenciálně) klesá. Uvedený rozdíl chování částic v mikro- a makrosvětě dobře dokumentuje následující příklad z učebnice fyziky pro gymnázia (25): Z naší životní zkušenosti vzniklo pořekadlo „hlavou zeď neprorazíš“. V kvantové fyzice platí jiná filozofie – budeš-li se o to pokoušet například 10^{20} krát, můžeš proniknout na druhou stranu zdi...

divý) vzorek přivedeno napětí, elektrony se v jednom směru „protunelovávají“ mezerou a obvodem protéká tzv. tunelový proud. Jeho velikost je exponenciálně závislá na vzdálenosti mezi hrotem sondy a povrchem vzorku. Pomocí STM lze dosáhnout věrného atomárního rozlišení (tj. řádově desetin nanometru) i méně (až 0,001 nm).

STM přístroje mohou pracovat ve dvou různých režimech: v režimu konstantní výšky či v režimu konstantního proudu (viz obr. 11). V režimu konstantní výšky se hrot pohybuje ve vodorovné rovině xy nad vzorkem a tunelový proud se mění v závislosti na vzdálenosti povrchu vzorku od hrotu (a na lokálních povrchových elektrických vlastnostech vzorku). Na základě stálého měření velikosti tunelového proudu v jednotlivých bodech se vytváří výsledný obraz. Tento režim umožňuje rychlé snímání obrazu. Je ovšem méně přesný, a proto se používá především u hladkých povrchů.

V režimu konstantního proudu využívá STM zpětné vazby tak, aby byla udržena konstantní hodnota tunelového proudu. V případě, že systém detekuje zvýšení tunelového proudu, je přivedeno odpovídající napětí k piezoelektrickému systému (skeneru), který zajistí oddálení hrotu od povrchu vzorku. Je-li naopak zaznamenáno snížení proudu, systém přiblíží hrot ke vzorku. Výsledný obraz se vytváří na základě sledování vertikálního pohybu skeneru. To se zpravidla uskutečňuje pomocí laserového systému. Tento režim je pomalejší, ale přesnější. Proto se používá k mapování členitějších povrchů. V tomto režimu však může dojít k dotyku hrotu a vzorku a následnému poškození povrchu vzorku.



Obrázek 11: Režimy STM. V režimu konstantní výšky (a) se tunelový proud mění v závislosti na vzdálenosti hrotu sondy mikroskopu od povrchu vzorku. V režimu konstantního proudu (b) se využívá zpětné vazby tak, aby byla udržena konstantní hodnota tunelového proudu. Nakresleno podle (26).

6.2.2. Mikroskopie atomárních sil (AFM)

Mikroskop atomárních sil vynalezli roku 1986 Gerd Binnig, Calvin Quate a Christoph Gerber (35). AFM funguje na základě měření silových interakcí mezi povrchem vzorku a ostrým hrotem sondy (tvořeným např. křemíkem), umístěným na konci pružného raménka (nosník, canti-

lever). Raménko musí mít velmi malou tuhost, aby mohlo reagovat na působení atomárních sil krátkého a středního dosahu (tj. přitažlivých van der Waalsových sil, odpuzivých Pauliho sil aj.) a ohnout se. Při skenování povrchu je ohnutí raménka snímáno citlivým (zpravidla laserovým) snímačem. Na základě tohoto snímání je pak pomocí počítače vytvářen celkový obraz povrchu vzorku. Atomární síly působí nezávisle na vodivosti vzorku – hrot sondy ani povrch vzorku nemusí být vodivé, což je velkou výhodou této metody oproti STM. Na druhou stranu má ale AFM nižší rozlišení²³.

Při práci s AFM se používá kontaktní, nekontaktní a poklepový režim. V kontaktním režimu je udržován jemný mechanický kontakt mezi hrotem a povrchem vzorku. Jejich vzájemná vzdálenost je max. 0,1 nm. Výsledná síla působící mezi hrotem a povrchem je odpuzivá a pohybuje se v rozmezí od 10^{-8} N po 10^{-6} N.

Při nekontaktním režimu AFM raménko s hrotem kmitá v blízkosti povrchu vzorku, přičemž jejich vzájemná vzdálenost kolísá od 1 nm po několik desítek nm. Výsledná síla mezi hrotem a povrchem vzorku je přitažlivá a pohybuje se okolo 10^{-12} N. Nkontaktní režim je výhodnější pro studium měkkých a pružných vzorků, protože při něm nedochází k poškození či kontaminaci povrchu vzorku.

Při poklepovém režimu raménko s hrotem také kmitá v blízkosti povrchu vzorku. Rozkmit raménka je ovšem větší než v předchozím případě. Proto dochází k občasnému dotyku hrotu s povrchem. Obraz topografie povrchu vzorku je tu stejně jako v případě nekontaktního režimu vytvářen prostřednictvím počítače na základě sledování změn rezonanční frekvence a amplitudy kmitů hrotu.

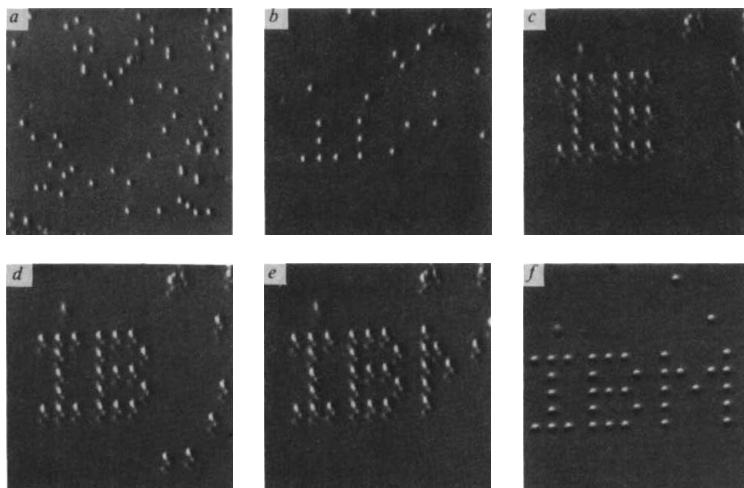
6.2.3. Aplikace SPM

Metody SPM nachází uplatnění v celé řadě fyzikálních i nefyzikálních oborů a technických aplikací. Jsou využívány především ke studiu topografie a vlastností nejrůznějších povrchů a povrchových procesů (chemických reakcí, difúzí, adsorpcí, katalýz apod.). Přístroje SPM se používají v metrologii pro přesná rozměrová měření, určování drsnosti povrchu aj. Lze je využít také k úpravě povrchů na atomové úrovni a tvorbě nanočipů. Technika výroby nanočipů se nazývá nanolitografie a zahrnuje např. řízenou oxidaci části povrchu, vytváření čar v povrchových vrstvách rytím hrotem, nanášení atomů na povrch atd. Metody SPM jsou použitelné i v dalších oborech, například v biologii, kde umožňují zobrazovat proteiny, lipidy, nukleové kyseliny i viry a živé buňky (33).

Jak bylo uvedeno výše, přístroje SPM umožňují nejen atomy a molekuly zobrazovat, ale také s nimi přesně manipulovat. Donald Eigler a Erhard Schweizer publikovali roku 1990 v časopise Nature pokus, ve kterém poprvé cíleně přemístili 35 atomů xenonu a „napsali“ jimi na krystal niklu logo společnosti, pro niž pracovali: IBM (36). S atomy bylo manipulováno

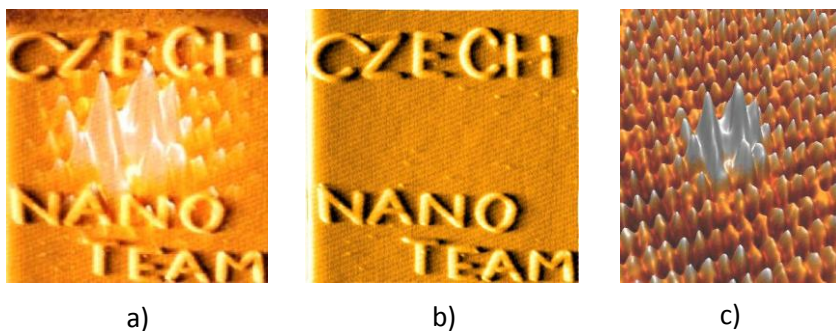
²³ Příčné rozlišení AFM obrazu je určeno dvěma faktory: velikostí obrazu a křivostí špičky hrotu. Ostřejší typy hrotů pro AFM mají poloměr křivosti okolo 5 nm. Při využití těchto hrotů může být dosaženo příčného rozlišení o velikosti 1 až 2 nm. Pomocí AFM tedy nelze dosáhnout věrného atomárního rozlišení (26).

pomocí mikroskopu STM ve velmi vysokém vakuu za teploty blízké absolutní nule (4 K). Pohyb atomů xenonu byl možný díky přitažlivým interakcím působícím mezi hrotem sondy mikroskopu a těmito atomy. Od té doby bylo vytvořeno mnoho podobných nápisů.



Obrázek 12: První „psaní“ s atomy. Logo IBM bylo vytvořeno manipulací s atomy xenonu na povrchu niklu pomocí skenovacího tunelového mikroskopu (STM). Každé písmeno je vysoké 5 nm. Převzato z (36).

Dalším důkazem toho, že přístroje SPM dokážou vytvářet různé umělé nanostruktury, je oficiální logo „Czech Nanoteam“²⁴ (viz obr. 13). Text loga byl „napsán“ lokální oxidací titanu na TiO₂ pomocí hrotu AFM. „Pohoří“ uprostřed loga odpovídá změně nábojové hustoty vyvolané jedním atomem křemíku zabudovaným těsně pod povrchem polovodiče GaAs, což bylo změřeno STM s atomárním rozlišením (37).



Obrázek 13: Czech Nanoteam – oficiální logo. Logo (a) vzniklo fotomontáží textu „Czech Nanoteam“, „napsaného“ lokální oxidací titanu pomocí AFM (šířka čáry je cca 150 nm) (b), a obrázku „nábojového pohoří“ (o rozměru 0,7 nm) vytvořeného atomem křemíku blízko povrchu GaAs a zobrazeného STM (c). Převzato z (38).

²⁴ Czech Nanoteam byl založen roku 2003 jako neformální sdružení 17 vědců (z univerzit v Brně, Olomouci, Praze, Ústí nad Labem a ústavů Akademie věd ČR v Brně a Praze) a dalších cca 150 pracovníků, kteří mají zkušenosti v různých oblastech fyziky nanostruktur a v nanotechnologiích a kteří vytvořením tohoto týmu chtěli překonat roztržičnost, která v oblasti nanotechnologického bádání vládla. Zájemci se o jeho činnosti mohou informovat na webových stránkách <http://www.fzu.cz/~nanoteam/> (37).

7. APLIKACE NANOTECHNOLOGIE

Nanotechnologie je interdisciplinární a průřezová technologie, která se zabývá praktickým využitím nových a neobvyklých vlastností nanočástic a nanostruktur. Zasahuje takřka do všech oblastí lidské činnosti. Pro účely středoškolské výuky budou aplikace nanotechnologie rozděleny do následujících oddílů. O každém bude pojednáno v samostatné kapitole:

- nanomateriály
- nanoelektronika a nanooptika
- nanobiotechnologie a bionanotechnologie

7.1. NANOMATERIÁLY

Jak bylo zmíněno v kap. 3.1. Vlastnosti nanočástic, nanostruktur a nanomateriálů, nanomateriály jsou materiály, jejichž fyzikální a/nebo chemické (příp. i biologické) vlastnosti jsou odlišné od vlastností objemových (bulk) materiálů stejného chemického složení. Stavebními jednotkami nanomateriálů jsou částice a struktury o velikosti cca 1 – 100 nm. Právě díky nim nanomateriály vykazují unikátní nové vlastnosti.

Nanomateriály můžeme charakterizovat podle chemického složení, tvaru, rozměrů, funkčních vlastností apod. Nanočástice v nanomateriálech mohou být oddělené nebo vytvářet shluky (klastry), nanodrátky, nanotrubice, nanovlákná, nanokompozity, tenké filmy nebo vrstvy.

Nanomateriály se již v současnosti uplatňují (nebo se v blízké budoucnosti očekává jejich uplatnění) snad ve všech oborech činnosti člověka – v elektronice (paměťová média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika), zdravotnictví (cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, desinfekční roztoky nové generace, analyzátory, ochranné roušky), kosmetice (opalovací a kosmetické krémy), strojírenství (supertvrdé povrchy s nízkým třením, samočisticí nepoškrabatelné laky, obráběcí nástroje), stavebnictví (nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhezní obklady), chemickém průmyslu (nanotrubice, nanokompozity, selektivní katalýza, aerogely), textilním průmyslu (nemačkávé, hydrofobní a nešpinící se tkaniny), elektrotechnickém průmyslu (vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články), optickém průmyslu (optické filtry, fotonické krystaly a fotonická vlákna, integrovaná optika), automobilovém průmyslu (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel), kosmickém průmyslu (katalyzátory, odolné povrchy satelitů), vojenském průmyslu (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů), ochraně životního prostředí (odstraňo-

vání nečistot, biodegradace, značkování potravin) atd. (39). Z výše uvedeného je zřejmé, že pole využití nanomateriálů je velmi rozsáhlé a do budoucna se jistě bude dále rozšiřovat.

V textu níže budou přiblíženy nejdůležitější a nejzajímavější nanomateriály a jejich použití v praxi. S dalšími informacemi o použití nanomateriálů jsme se již setkali (např. v kap. 3.1. Vlastnosti nanočástic, nanostruktur a nanomateriálů, kap. 4.1. Stopy dávných „nanotechnologů“) nebo se dále setkáme v různých částech této práce (např. v kap. 7.2. Nanoelektronika a nanooptika, kap. 7.3. Nanobiotechnologie a bionanotechnologie).

7.1.1. Nanočástice

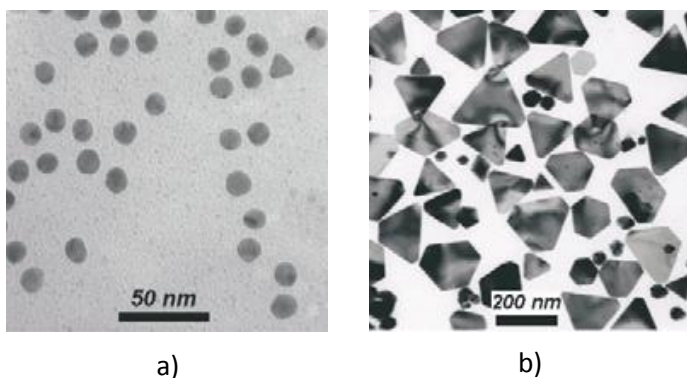
Nanočástice zlata a stříbra

Optické vlastnosti nanočástic zlata a stříbra se využívají nejen k barvení skla (viz kap. 4.1. Stopy dávných „nanotechnologů“), ale také např. v biomolekulárních detekčních metodách, kde nanočástice slouží jako značky k označování nukleových kyselin či proteinů (6).

V poslední době se „nanohitem“ staly speciální ponožky „impregnované“ nanočásticemi stříbra, které na český trh uvedla firma Nanosilver. Kationty stříbra mají vysokou afinitu k negativně nabitým bočním skupinám biologických molekul (jako jsou sulfanyl, karboxyl, fosfáty aj.), které se nachází např. v bakteriálních buňkách. Navázáním iontů stříbra se deaktivují kritické fyziologické funkce bakterií – syntéza stěny buněk, transport přes membrány, syntéza a translace nukleových kyselin, skládání proteinů, transport elektronů v buňce apod. (6). V důsledku toho bakterie umírá. Na rozdíl od antibiotik nezískávají bakterie vůči částicám stříbra odolnost. Kromě antibakteriálních účinků mají ponožky také fungicidní účinky, lépe vstřebávají pot, urychlují hojení ran a oděrek, zlepšují prokrvení nohou, předcházejí omrzlinám, eliminují zápach nohou a jsou antialergenní. Jak uvádí výrobce: „Ponožky jsou vhodné pro každodenní nošení i pro nošení v náročných podmínkách. Zejména je ocení všichni ti, kteří mají problémy s nadměrným pocením nohou“²⁵ (40).

Nanočástice stříbra působí proti širokému spektru mikroorganismů. Jejich antimikrobiálních vlastností se využívá např. i na fasádách domů (proti řasám) a ve vnitřních omítkách (proti plísním) (6). Dále jsou dnes k dostání lednice s antibakteriálním povrchem, dezinfekční masti či zdravotní roušky a náplasti s obsahem stříbrných nanočástic.

²⁵ Více informací o antibakteriálních „nanoproduktech“ firmy Nanosilver naleznete na <http://www.nanosilver.cz> (40).



Obrázek 14: Nanočástice zlata (a) a stříbra (b). Převzato z (13).

Nanočástice oxidu křemičitého, oxidu titaničitého, oxidu železitého a hydroxyapatitu

Oxid křemičitý (SiO_2) se ve formě nanočástic používá v různých kosmetických přípravcích a zubních pastách (6).

Přítomnost nanočástic oxidu titaničitého (TiO_2) na povrchu skla zabraňuje srážení vody a sklo proto zůstává stále suché a „nepotí se“. Toho se dá využít např. pro výrobu nemlživých skel automobilů, brýlí či u koupelňových zrcadel. Také samočisticí vrstvy využívají chemických vlastností nanočástic TiO_2 . Tenká vrstva oxidu titaničitého zde působí jako takzvaný fotokatalyzátor. Když na něj posvítíme ultrafialovým zářením (jež je složkou slunečního světla), dojde k chemické reakci a organické látky (včetně buněčných stěn bakterií) se rozkládají na oxid uhličitý a vodu. Nanočástice oxidu titaničitého tedy mají nejen čistící, ale dokonce antibakteriální a antipachové schopnosti. Mohou být nanесeny na nejrůznější materiály, takže se nabízí jejich využití například u karoserií automobilů, střeš a fasád budov, dopravního značení, v kuchyních, koupelnách či v nemocnicích apod. (41). Nanočástice TiO_2 se již nyní běžně používají v kosmetice v krémech na obličej, v pleťových vodách a opalovacích krémech. S přísadou nanočástic TiO_2 se dnes vyrábějí laky s reflexními vlastnostmi (2).

Nanočástice oxidu železitého (Fe_2O_3) se používají jako základní přísada do rtěnek a líčidel (UV filtr). Tento prášek lze též použít pro detoxikaci a ozdravení kontaminovaného území (2).

Nanočástice hydroxyapatitu ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, resp. $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$) jsou slibnou perspektivou pro tvorbu implantátů kostí a zubů, tvoří totiž biokompatibilní složku kompozitu implantátů a stimulují růst (6).

Magnetické nanočástice

Magnetické nanočástice jsou středem velkého zájmu kvůli možnosti použití v paměťových médiích, spintronice a diagnostické medicíně. Již dnes jsou využívány při analýze krve, moči a jiných tělních tekutin, pro urychlení separace a zlepšení rozlišitelnosti (2).

7.1.2. Polymerní nanovlákná

Polymerní nanovlákná je pojem používaný pro označení vláken s průměrem menším než 1 μm . Vlákná se vyrábějí způsobem zvaným elektrospinning (6), což je proces využívající silného elektrického pole pro zvlákňování vodných roztoků polymerů. Z vytvořených tenkých vláken se dají vyrábět lehké a současně velmi pevné textilie, které jsou porézní. Jejich póry jsou však dostatečně malé na to, aby jimi nemohly projít bakterie či viry. Tyto textilie lze proto použít v laboratořích, chirurgických sálech apod. V medicíně je lze využít jako krycí a ob vazový materiál. Jejich struktura je totiž velmi podobná struktuře buněčné hmoty lidské tkáně – látka propouští kyslík, brání vstupu bakterií a zajišťuje odtok zánětlivého výtoku z krevních a mízních cest. Navíc lze na povrch navázat hojení urychlující léčiva. Kromě toho mohou být tyto textilie využity pro rekonstrukci kůže, kostí, cév, svalů i nervové tkáně, doručování a řízené uvolňování léčiv či buněk. Výborné schopnosti absorpce zvuku těchto nanotextilií se dá využít v průmyslu pro odhlučňování interiérů automobilů, letadel či ve stavebnictví (10).

Česká republika má zásluhou Technické univerzity v Liberci patent v oblasti nanotechnologií. Tamní odborníci pod vedením profesora Oldřicha Jirsáka totiž roku 2003 jako první na světě vyvinuli a patentovali technologii, která umožňuje výrobu netkaných nanovlákných textilií (tvořených vláken o průměru 50 – 500 nm) v průmyslovém měřítku. Tato unikátní výrobní technologie byla nazvána Nanospider²⁶. Jedná se o modifikovanou metodu elektrospinningu. Tato výrobní metoda je vysoce ekologická, protože nepoužívá chemická rozpouštědla. První prototyp stroje používajícího technologii Nanospider představila liberecká Technická univerzita²⁷ ve spolupráci s firmou Elmarco (42).

²⁶ Podrobnosti o výrobní technologii Nanospider naleznete např. na webových stránkách Technické univerzity v Liberci (76) či liberecké firmy Elmarco (42).

²⁷ Technická univerzita v Liberci chce nanovlákná a technologii výroby nanotextilií více přiblížit veřejnosti. Ve spolupráci s libereckým vědeckým centrem iQpark připravila výstavu, kde je demonstrována výroba nanovláken a návštěvníci se mohou dozvědět více o historii, využití i budoucnosti této unikátní technologie. Navíc si od února 2009 zájemci mohou v rámci výstavy vlastnoručně vyrobit vzorek netkané textilie z nanovláken (79).

7.1.3. Nanoporézní materiály

Nanoporézní materiály jsou materiály s póry menšími než 100 nm. Mohou být vyrobeny např. z uhlíku, křemíku, (hlinito)křemičitanů či polymerů. Velikost, tvar a hustotu pórů lze regulovat změnou podmínek při vzniku pórů. Zásadní vlastností nanoporézních materiálů je jejich zvětšená povrchová plocha, což zlepšuje jejich katalytické, absorpční a adsorpční vlastnosti. Používají se jako molekulární síta, mají nízkou hmotnost a dobré fotonické vlastnosti (6). Nejpoužívanějším nanoporézním materiálem jsou krystalické hlinitokřemičitany zeolity²⁸.

7.1.4. Uhlíkové nanomateriály

Saze

Asi nejznámějším a dosud nejpoužívanějším uhlíkovým nanomateriálem jsou saze. Jedná se o částice amorfního uhlíku o velikosti 10 – 500 nm, které se vyrábějí nedokonalým spalováním organických látek bohatých na uhlík (2). Známý a používáný byly již v pravěku. Dnes se jich celosvětově vyrábí asi 8,1 mil. tun ročně. Přibližně 90 % se používá v gumárenském průmyslu (např. jako plnidlo pneumatik). Dále se saze používají jako barvivo (tiskařská čern) a na výrobu plastů (43). Nežádoucí je hromadění sazí v komínech, výfucích automobilů a na dalších površích vystavených kouři. Saze, obsažené mj. také v cigaretovém kouři, zanáší plíce, což způsobuje respirační problémy. Zdá se, že mohou působit i jako karcinogeny (44).

Fullereny

Fullereny jsou kondenzované, polycyklické, klecovité struktury (45). Jedná se o obří molekuly složené ze sudého počtu uhlíkových atomů (minimálně dvaceti), umístěných ve vrcholech různých mnohostěnů víceméně kulovitého tvaru²⁹ (46). Tyto mnohostěny jsou přednostně tvořeny pěti- a šestiúhelníky, přičemž podle „pravidla izolovaných pětiúhelníků“ jsou stabilní pouze ty fullereny, u nichž se ve struktuře nenachází dva pětiúhelníky vedle sebe. Zároveň se předpokládá minimum násobných vazeb v těchto pětiúhelnících (45).

Název fullereny, resp. původní pojmenování buckminsterfullereny, souvisí se jménem amerického architekta Richarda Buckminstera Fullera, který se proslavil stavbami (tzv. geodetickými kopulemi³⁰), jímž jsou molekuly fullerenu nápadně podobné (47).

²⁸ Zájemce o problematiku zeolitů odkazují na česky psaný článek Čejky a Žilkové (68), jenž přehledně shrnuje soudobé poznatky o syntéze a rozmanitých strukturách zeolitů.

²⁹ Strukturu fullerenu mají i některé biologické struktury, např. kapsidy mnoha virů mají ikosaedrální symetrii.

³⁰ Asi nejznámějším Fullerovým projektem je US-pavilon EXPO'67 v Montrealu.

Fullereny představují jednu z alotropických modifikací³¹ uhlíku. Na rozdíl od grafitu a diamantu je však tato modifikace známá teprve od roku 1985, kdy byly fullereny uměle připraveny, a to laserovým odpařováním grafitu v atmosféře helia (48). Jako první a v největším množství byla izolována molekula C₆₀, dále pak např. C₇₀, C₇₂, C₇₆, C₇₈, C₈₀, C₈₄, C₉₀, C₉₄ a další. Za tento objev, který odstartoval obrovský rozmach fullerenů, získali roku 1996 Nobelovu cenu za chemii Brit Harold Kroto a Američané Robert Curl a Richard Smalley (32). Dnes se fullereny vyrábí metodou řízeného spalování organických látek v obloukovém výboji. Dají se objednat, jejich cena je však dost vysoká – např. 250 mg fullerenu C₇₀ s čistotou 96 % stojí asi 500 euro. Zlatý prášek o čistotě 99,9 % od stejného dodavatele je třikrát levnější (5).

Fullereny se řadí mezi anorganické látky. Poskytují však reakce, které jsou typické pro organické sloučeniny. I když připomínají cyklické areny, reaktivitou se blíží konjugovaným polyenům (např. schopností mnohonásobných adičních reakcí) (47). Během uplynulých deseti let byla připravena a popsána celá řada derivátů fullerenů.

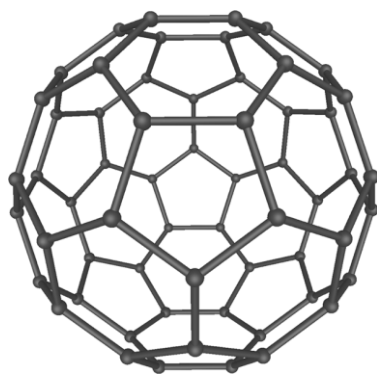
Fullereny nachází aplikace v řadě různých oborů. Mají výhodné vlastnosti pro výrobu superpevných materiálů nízké hmotnosti. Používají se při výrobě ochranných skel filtrujících škodlivé záření a také jako součást tuhého paliva pro rakety. Fluorované fullereny jsou unikátními mazadly. Některé organické deriváty fullerenů vykazují magnetické vlastnosti, označujeme je proto jako tzv. nekovové magnety. Fullereny našly uplatnění v lékařství jako speciální nosiče, které v prostoru uvnitř molekuly dopravují léky na předem určené místo v organismu. Do dutiny fullerenů lze případně ukládat i kovy, využitelné jako katalyzátory chráněné uhlíkovou klecí, nebo radioaktivní atomy (5). Slibnou perspektivou by mohlo být využití hydridů fullerenů coby základu pro lehké, netoxické baterie s vysokou účinností (49).

Fulleren C₆₀

Výjimečné postavení mezi fullereny má molekula C₆₀, která je nejznámější a ve srovnání s ostatními má nejdokonalejší kulovitý tvar. Anketou časopisu Science byla vyhlášena molekulou roku 1991 (50). Šedesát atomů uhlíku se v této molekule nachází ve vrcholech mnohostěnu nazývaného komolý ikosaedr, který má 32 stěn – 12 pětiúhelníků a 20 šestiúhelníků symetricky rozložených tak, že žádné dva pětiúhelníky spolu nesousedí. Uspořádání pěti-

³¹ Alotropické modifikace představují různou formu uspořádání atomů daného prvku. Jednotlivé modifikace se od sebe liší nejen fyzikálními vlastnostmi (tvrdost, hustota apod.), ale také svým chemickým chováním (64). Např. uhlík se vyskytuje v několika alotropických modifikacích. Mezi jeho nejznámější přírodní modifikace patří grafit, diamant a saze. Řada dalších modifikací byla připravena uměle v průběhu posledních dvaceti pěti let. V textu této práce jsou z nich vybrány a blíže popsány fullereny, nanotrubice a nanopěna, které se jeví jako velmi perspektivní nanomateriály.

a šestiúhelníků je zde stejné jako u dílů, ze kterých se skládá plášť fotbalového míče. Proto byly pro fullereny navrhovány i názvy fotbaleny či buckyballs. Ikosahedrál ní struktura C_{60} je nejmenším systémem splňující pravidlo izolovaných pětiúhelníků, a proto je tato molekula poměrně stabilní. Každý atom uhlíku je v molekule C_{60} poután se sousedními atomy třemi vazbami σ a jednou vazbou π (hybridizace sp^2) (47).



Obrázek 15: Molekula fullerenu C_{60} . Atomy uhlíku tvoří 12 pětičetných a 20 šestičetných cyklů. Struktura molekuly odpovídá komolému ikosaedru. Převzato z (51).

Čistý krystalický C_{60} se nazývá fullerit a má hustotu asi $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$ (52). Krystaluje v krychlové soustavě; jeho krystaly jsou hnědočerné, lesklé. Průměr uhlíkového skeletu jedné molekuly fullerenu C_{60} je $0,7 \text{ nm}^{32}$ (48). Atomy uhlíku jsou v molekule C_{60} poutány velmi silně. Naproti tomu molekuly fullerenu ve fulleritu vzájemně interagují prostřednictvím slabých van der Waalsových sil, a proto se snadno oddělují jedna od druhé (podobně jako jednotlivé vrstvy šestičetných uhlíkatých cyklů v grafitu) (52). To je příčinou nízké tvrdosti fulleritu.

Fulleren C_{60} je dnes předmětem intenzivního výzkumu, protože vykazuje neobyčejné vlastnosti jako např. vysokou pevnost, která je spojena s nadějí na jeho využití v celé řadě technických oblastí. Při velmi vysokých tlacích se za pokojové teploty fullerit přeměňuje na diamant. C_{60} je polovodičem, za určitých okolností (např. ve spojení s cesiem do teploty asi 40 K) však může mít i supravodivé vlastnosti (5).³³

³² Van der Waalsův průměr molekuly C_{60} je 1,0 nm (48).

³³ Pokud vás problematika fullerenů zajímá více, doporučuji přečíst si práce od Grégra (47), Lhotáka (45), Sodomky (49) či Benákové (46). Jejich hlavními výhodami jsou jednak snadná dostupnost na internetu, dále pak to, že jsou psány v češtině.

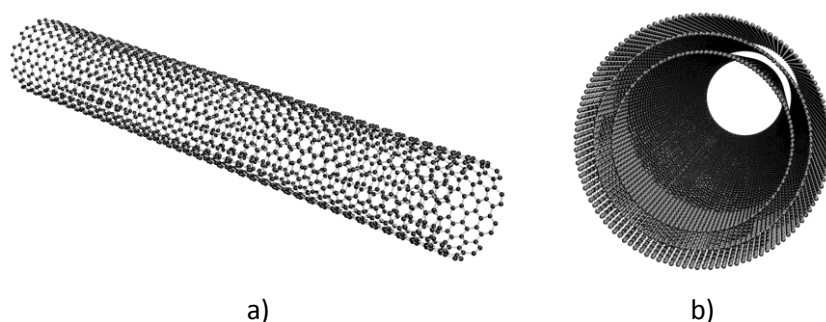
Uhlíkové nanotrubičky

Roku 1991 popsal Japonec Sumio Iijima uhlíkové nanotrubičky (carbon nanotubes³⁴), další alotropickou modifikaci uhlíku (53)³⁵. Jedná se o cylindrické struktury vytvořené ze stočených grafitových rovin, které mohou být na koncích uzavřené fullereny. Vznikají za podobných podmínek jako fullereny a lze je rozdělit na dvě velké skupiny:

- jednovrstvé uhlíkové nanotrubičky (single-walled carbon nanotubes, SWCNT)
- vícevrstvé uhlíkové nanotrubičky (multiple-walled carbon nanotubes, MWCNT)

Zajímavou vlastností nanotrubiček je extrémně velký poměr délky ku šířce. Jednovrstvé uhlíkové nanotrubičky mají vnitřní průměr typicky od 1,2 do 1,4 nm, přičemž jejich délka může dosahovat až několika set μm . Pokud jde o vícevrstvé nanotrubičky, jejich vnitřní průměr je obvykle od 1 do 3 nm, vnější kolem 10 nm. Jednotlivé nanotrubičky spolu interagují prostřednictvím van der Waalsových sil a vytvářejí provazce a svazky (45).

Nanotrubičky jsou velmi pevné, pružné a teplotně stabilní. V závislosti na jejich stočení mohou být polovodivé nebo vodivé. Výzkum ukazuje, že by mohly mít mnoho různých perspektivních aplikací, např. jako palivové články, nosiče katalyzátoru, úložiště energie, brusné materiály, vodiče apod. Nanotrubičky lze naplnit jiným materiálem a vytvářet vysokopevnostní a lehké kompozity. Jsou také testovány jako bezpečná média pro uchovávání a transport vodíku. Velkým příslibem pro budoucnost je jejich využití v molekulární elektronice (tranzistory, paměti) (54).³⁶



Obrázek 16: Schéma jednovrstvé uhlíkové nanotrubičky (SWCNT, a) a vícevrstvé uhlíkové nanotrubičky (MWCNT, b). Převzato z (8).

³⁴ Carbon nanotubes se překládá také jako uhlíkové nanotuby, uhlíkové nanotrubičky nebo uhlíkové nanotrubičky. Synonymně se používají též označení trubicovité fullereny či tubuleny.

³⁵ Ačkoliv většina literatury přisuzuje objev uhlíkových nanotrubiček Sumio Iijimovi, autoři článku „Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes?” (72) upozorňují mj. na to, že první zmínka o možném vytváření uhlíkových vláken pochází už z roku 1889!

³⁶ V češtině se nanotrubičkami zabývá např. seminární práce Gabryše (70).

Uhlíková nanopěna

Uhlíková nanopěna (carbon nanofoam) je nejnovější poznanou alotropickou modifikací uhlíku. Připravena byla roku 1997 týmem fyziků vedeným Andreiem Rodem z Australské Národní univerzity v Canbeře (55), a to působením výkonného laserového pulzního systému na uhlíkový terčik v argonové atmosféře. Nanopěna má fraktálovitou³⁷ strukturu skládající se z uhlíkových klastrů (shluků) o průměru kolem 6 – 9 nm náhodně pospojovaných do jakési „pavučiny“. Tento nanomateriál projevuje pozoruhodné fyzikální vlastnosti, např. je jednou z nejlehčích existujících pevných látek (hustota nanopěny je pouze asi 2 – 10 mg.cm⁻³). Uhlíková nanopěna má také obrovskou povrchovou plochu (300 – 400 m²/g, což je srovnatelné se zeolity). Za nízkých teplot (do 90 K) vykazuje, na rozdíl od všech dosud známých forem uhlíku, para- a ferromagnetické chování³⁸ (56).

7.2. NANOELEKTRONIKA A NANOOPTIKA

Jak uvádějí Prnka a Šperlink (6), nanoelektronika zkoumá různé strategie využití elektronických vlastností nanostruktur v celé řadě aplikací budoucích informačních technologií. Nanooptika (nanofotonika) pokládá základy optických vysokorychlostních komunikačních technologií, nových zdrojů laserového světla a optických systému pro široká použití.

Nanoelektronika a nanooptika jsou patrně nejrychleji se rozvíjející oblasti nanotechnologie. Každý z nás se musí vyrovnávat se skutečností, že dnes zakoupený notebook, fotoaparát či mobilní telefon je již „zítra“ zastaralý. Zatímco před několika lety by si málokdo pomyslel, že flash disky budou mít kapacitu 8 GB či více, dnes je jejich koupě záležitostí „pár stovek“. Z obav o to, že než odevzdám tuto práci, informace uvedené v této kapitole budou dávno překonány, jsem se rozhodla, že níže uvedu jen jakýsi nejzákladnější úvod do toho, co je dnes v oblasti nanoelektroniky a nanooptiky známo.³⁹ IT experty a zvědavé žáky proto rovnou odkazuji na aktuálnější zdroje informací, zejména na internet, případně na tiskoviny jako např. časopis ComputerWorld⁴⁰.

³⁷ Fraktální útvary jsou útvary, které mají obrovskou složitost, lze je však vytvořit pomocí velmi jednoduchého algoritmu (65).

³⁸ Paramagnetismus je forma magnetismu, která se objevuje pouze v přítomnosti vnějšího magnetického pole. Paramagnetické látky obsahují atomy s nepárovými elektrony (např. hliník) a zesilují magnetické pole. Naproti tomu diamagnetické látky (např. měď) mají všechny elektrony spárovány a magnetické pole zeslabují. Ferromagnetické materiály (např. železo, kobalt, nikl) se působením vnějšího magnetického pole spontánně magnetizují a zůstávají zmagnetizované i dlouho poté, co toto pole přestane působit (82).

³⁹ Kap. 7.2.1. Spintronika byla napsána na základě práce „Polovodičová spintronika a časově rozlišená laserová spektroskopie“ (74). Zdrojem pro kap. 7.2.2. Kvantové tečky byla práce „Kvantové tečky a jejich využití“ (77).

⁴⁰ Tématu nanotechnologií se věnuje např. článek „Ovládnou nanotechnologie oblast IT?“ (78).

7.2.1. Spintronika

V posledních letech byly elektronické součástky zmenšeny natolik, že jejich fungování začíná být přímo ovlivněno kvantovými jevy. Jedním z kvantových jevů, který principiálně může být využit pro konstrukci nových elektronických a optoelektronických součástek, je spin elektronu⁴¹. Nové odvětví elektroniky, kde se pro přenos, zpracovávání a uchování informace využívá kromě náboje elektronu také jeho spin, se nazývá spintronika. Cílem spintroniky je konstrukce elektronických zařízení nové generace, jež v sobě budou kombinovat standardní mikroelektroniku se spinově citlivými jevy, které vznikají vzájemnou interakcí mezi nosičem náboje a magnetickými vlastnostmi materiálu.

Od využití spinu elektronu si odborníci slibují podstatné rozšíření schopností a výkonnosti elektronických součástek. A to je také důvodem, proč jsou v současné době na celém světě investovány obrovské finanční prostředky do výzkumu materiálů vhodných pro spintroniku. Tento výzkum se začíná soustřeďovat nejen na „klasické“ magnetické kovy, ale i na polovodiče, protože možnost ovlivňovat vlastnosti polovodičů vnějšími poli a přípravou (dopováním) je základem, na kterém stojí celá současná elektronika.

K prvním spintronickým součástkám, které již našly komerční uplatnění, patří pevné disky většiny současně prodávaných počítačů. Jejich vysoká kapacita je způsobena zvýšením hustoty zápisu dat, které bylo umožněno novými čtecími hlavami založenými na spintronic-kém jevu – obřím magnetickém odporu (GMR⁴², viz kap. 3.1. Vlastnosti nanočástic, nanostruktur a nanomateriálů).

K velmi propracované spintronické technologii záznamu informací patří nový typ počítačových pamětí, tzv. MRAM (magnetic random-access memory). K výhodám pamětí MRAM patří nízká cena, malé rozměry, energetická nenáročnost a zároveň velká rychlost. Paměti MRAM uchovávají v nich uložené informace i při odpojení napájení a navíc rychlost zápisu a čtení dat je minimálně srovnatelná se standardními paměti RAM. V budoucnu je tedy možné očekávat konstrukci počítačů, které budou okamžitě po zapnutí schopny práce, protože nebude nutné čekat na zdlouhavé zavádění operačního systému a programů do paměti.

O využití spinu v polovodičích se uvažuje také v souvislosti s konstrukcí mikroprocesorů a kvantových počítačů.

⁴¹ K vysvětlení toho, co je to spin elektronu by jistě bylo třeba víc prostoru než jen v krátké poznámce pod čarou. Pro účely výuky na SŠ však postačí konstatování, že spin souvisí s vlnově-mechanickou povahou elektronu. Má charakteristickou hodnotu a může mít jen dvě orientace vůči zvolené ose – ty lze vyjádřit kvantovým číslem m_s s hodnotami $+\frac{1}{2}$ a $-\frac{1}{2}$. Tyto dva spinové stavy elektronu, které mohou být z pohledu klasické mechaniky popsány jako rotace elektronu podle jeho osy v opačných směrech, jsou často označovány šipkami $\uparrow$ a $\downarrow$ (63).

⁴² Další praktickou aplikací jevu GMR jsou ultracitlivé magnetické senzory, používané např. v medicíně při diagnostice nádorových onemocnění mozku nebo pro monitorování pohybu mechanických součástí motorů.

7.2.2. Kvantové tečky

Pod pojmem kvantová tečka se rozumí ohraničená polovodičová oblast (z InAs, CdSe, CdTe apod.) o průměru kolem 30 nm a výšce cca 8 nm, zabudovaná v polovodiči odlišného typu (např. GaAs). Kvantová tečka je schopna vázat elektrony lépe než okolní polovodič; funguje tedy jako „past“ na elektrony. Množství elektronů, které je tečka schopna pojmout, je však omezeno (kvantováno) a přímo souvisí s rozměry tečky. Podobně jako v atomu jsou také v kvantové tečce elektrony lokalizovány pouze ve stavech s určitými hodnotami energie⁴³. Při přechodu z vyšší energetické hladiny na nižší je vyzářeno světlo určité vlnové délky (u velkých teček v červené části spektra, u malých v modré). Proto jsou kvantové tečky velmi perspektivní pro optoelektroniku, kde se nabízí celá řada jejich možných aplikací.

Polovodičové kvantové tečky poskytují dostatek emitovaného světla pro tvorbu optických zařízení, jakými jsou např. nastavitelné polovodičové lasery či optické zesilovače. Lasery založené na kvantových tečkách by se daly dobře využít v optické vláknové komunikaci, optických pamětech (tj. velkokapacitních počítačových pamětech, CD přehrávačích a vypalovačích), laserových tiskárnách a laserových ukazovátkách. Uplatnění by mohly najít také v medicíně či ve vojenském a bezpečnostním využití (např. dálkoměry a zaměřovače, infračervené zabezpečovací systémy). Možnou aplikací kvantových teček jsou také jednofotonové, světlo emitující diody. Dnes je možné vyrobit diody upravené na vyzařování modrého, zeleného či bílého světla. Další možností jsou detektory založené na kvantových tečkách, které jsou citlivé na světlo dopadající pod jakýmkoliv úhlem. Tyto detektory jsou schopny měřit i velmi slabé optické signály. Proto by mohly být dobře využitelné v lékařské diagnostice či analytické chemii. Komerčnímu využití mnoha aplikací však brání závažný problém, kterým jsou nedořešené technické problémy spojené s nekompatibilitou existujících technologií.

7.3. NANOBIOTECHNOLOGIE A BIONANOTECHNOLOGIE

Nanobiotechnologie a bionanotechnologie patří v současné době také mezi velmi rychle se rozvíjející odvětví nanotechnologie. Jedná se v podstatě o oblasti překryvu nanotechnologie s biologií a biotechnologií⁴⁴. Z tab. 3 je patrné, že nanobio- a bionanotechnologie mohou přinést významný pokrok v mnoha oborech.

⁴³ Proto jsou kvantové tečky někdy nazývány „umělými atomy“.

⁴⁴ Biotechnologie je jakákoliv technologie, která využívá biologické systémy, živé organizmy nebo jejich části k výrobě nebo modifikaci produktů či procesů pro specifická použití. Biotechnologie vychází z poznatků biologických věd, jako jsou mikrobiologie, molekulární biologie, genetika, biochemie atd. Využívá se zejména v zemědělství, průmyslu (potravinářském, chemickém) a medicíně (81).

Obor	Aplikace
Humánní a veterinární medicína (molekulární medicína, nanomedicína ⁴⁵)	odhalování a léčba chorob – rychlé odebrání vzorků, zobrazovací a analytické přístroje a metody (AFM, miniaturizované diagnostické metody – biosenzory ⁴⁶ , nanosondy (např. kvantové tečky), imunodiagnostika, DNA diagnostika), terapie rakoviny; nahrazování částí lidského těla a regenerativní medicína – tkáňové inženýrství ⁴⁷ (samoorganizující se struktury, biokompatibilní materiály, syntetické transplantace orgánů, transplantované buňky chráněné membránami); nanometrická chirurgie
Farmaceutický průmysl (biofarmacie, nanofarmacie)	vývoj nových léků, syntéza a cílená dodávka léků do organismu (zapouzdřování léků, inhalátory suchých prášků, rozprašovače, NEMS ⁴⁸)
Potravinářský průmysl	konzervace potravin, obalová technika
Kosmetika	kosmetické a opalovací krémy
Textilní průmysl	nové textilie
Zemědělství a lesnictví	předprogramovaná/samoregulační dodávka živin
Ochrana životního prostředí	zkoumání vlivu nanostruktur na zdraví a životní prostředí – ekotoxikologie, zjišťování a neutralizace přítomnosti mikroorganismů nebo pesticidů, vývoj nanotechnologických (např. fotokatalytických) technologií pro odstraňování škodlivin v životním prostředí
Energetika	solární a palivové články
Bezpečnost	inovované systémy rozpoznávání s vysokou přesností a včasným upozorněním na biologické nebo chemické látky již na úrovni jednotlivých molekul
Biomolekulární elektronika	použití molekul jako spojů, usměrňovačů, spínačů a pamětí
Zlepšování kvality lidského výkonu – v budoucnosti?	zvyšování smyslové kapacity, propojení mozku a mysli, integrování nervových systémů s nanoelektronikou a nanostrukturovanými materiály

Tabulka 3: Přínosy nanobiotechnologie a bionanotechnologie v různých oborech. Zpracováno podle Prnky a Šperlinka (6), kde lze najít další příklady a detaily.

⁴⁵ Nanomedicína je definována jako soubor věd a technologií využívaných pro diagnózu, terapii a prevenci chorob a traumatických poranění, pro utišení bolestí a ochranu a zlepšení lidského zdraví. Nanomedicína používá molekulární nástroje a znalosti o lidském těle na molekulární úrovni (66).

⁴⁶ Biosenzor je senzor, který sestává ze tří částí: biologického prvku (např. buňky, enzymu, DNA nebo protilátky), rozhraní a převodníku velmi malých rozměrů. Biologický prvek je schopen prostřednictvím určité biochemické změny rozpoznat a signalizovat přítomnost, aktivitu nebo koncentraci specifické biologické molekuly v roztoku. Převodník přeměňuje biochemický signál na měřitelný signál elektrický nebo optický. Rozhraní spojuje biologický prvek s převodníkem (6).

⁴⁷ Tkáňové inženýrství je založeno na vytváření nových tkání *in vitro* s jejich následujícím chirurgickým umístěním v těle nebo na stimulaci potřebné opravy (regeneraci) poškozené tkáně *in situ* použitím biokompatibilních umělých struktur nebo implantátů živých buněk zavedených do nebo blízko oblasti poškození (6).

⁴⁸ NEMS jsou nanoelektromechanické systémy, které se používají např. při řízeném uvolňování léků v organismu (6).

Nanobiotechnologie a bionanotechnologie jsou termíny, které se v literatuře často zaměňují či používají jako synonyma. Mezi oběma pojmy nelze nalézt ostrou hranici. V této práci jsou definovány následovně:

Nanobiotechnologie je odvětví nanotechnologie, které má biologické nebo biochemické aplikace (57). Nanobiotechnologie používá přístroje a metody nanotechnologie a nové materiály zvláštních vlastností ke studiu a úpravě biosystémů na molekulární úrovni.

Bionanotechnologie využívá poznatky získané ze zkoumání přírody (např. strategie vytváření biologických struktur, vliv složení biomateriálů na jejich vlastnosti atd., viz kap. 5. Inspirace z přírody) k vytváření nových přístrojů, systémů a materiálů v nanorozměrech. Cílem bionanotechnologie je tedy vytváření nanozařízení a nanomateriálů na základě biologických principů a zároveň také využití biomolekul (buněčných nanostruktur) jako praktických součástí těchto zařízení (viz tab. 4) (57). Používání biomolekul přináší řadu výhod, např. biomolekulární reakce, probíhající za fyziologických podmínek, mají často větší účinnost než chemická syntéza. Navíc je při nich minimalizováno množství odpadů, a proto jsou příznivé pro životní prostředí (58).

Biomolekuly	Využití v nanotechnologii
Polysacharidy	materiály pro nanovláknité kostry, doprava léků
Lipidy	liposomy v nanomedicině pro dopravu léků
Proteiny a peptidy	konstrukční nanomateriály, templáty pro vytváření nanostruktur, molekulární motory, metaloproteiny v nanoelektronice, proteinové inženýrství ⁴⁹
Nukleové kyseliny	DNA nanotechnologie: pevné nanostrukturální materiály, samosestavování struktur pomocí DNA, mechanochemická zařízení (nanostroje) a motory, připojení DNA k povrchu zlata a vytváření biosenzorů a biočipů, DNA nanoelektronika, DNA tranzistory, DNA počítače RNA nanotechnologie: RNA-tektonika ⁵⁰ , RNA motory, nanočástice RNA při léčbě rakoviny a leukémie

Tabulka 4: Bionanotechnologie – příklady využití biomolekul v nanotechnologii. Podrobnosti v publikaci Prnky a Šperlinka (6).

⁴⁹ Proteinové inženýrství může být definováno jako použití genetických a chemických technik pro změnu struktury a funkce proteinů. Jeho cílem je zkonstruovat proteiny s vylepšenými vlastnostmi. Jednou z nejdůležitějších metod pro modifikaci proteinů je cílená mutagenese, což je provádění změn v nukleotidové sekvenci DNA kódující daný protein (např. delecí či insercí nukleotidů) (6).

⁵⁰ RNA-tektonika se zabývá konstrukcí umělých, supramolekulárních RNA architektur. Modulární RNA jednotky (tvaru dimeru, „H” nebo čtverce) se nazývají „tektRNA“ a samosestavováním vytvářejí nano- a mezoskopické superstruktury (malé RNA nanočástice, 1D a 2D uspořádání či pravidelné sítě). Předpokládá se uplatnění RNA-tektoniky v nanotechnologii, biotechnologii a medicíně (73).

7.3.1. Příklady nanobio- a bionanotechnologie

Vzhledem k velkému množství aplikací nanobiotechnologie, resp. bionanotechnologie a zároveň nemožnosti šířeji o nich pojednat v této práci, byly vybrány a níže budou nastíněny pouze tři zajímavé příklady. Četné další příklady zvědavý čtenář nalezne např. v publikaci „Bionanotechnologie, nanotechnologie, nanomedicína“ (6).

Cílená doprava léků do organismu

Nanobio- a bionanotechnologie nabízí nová řešení pro cílenou dodávku léčiv do organismu a jejich uvolňování. Při dopravě léků je možné jako jejich nosiče použít různé druhy nanostrukturních materiálů (nanoprášky, nanopouzdra⁵¹, fullereny, nanotrubice, kvantové tečky, nanoporézní materiály apod.) Je možné využívat také nanosystémy jako např. pumpy a ventily, NEMS zařízení, soubory „nanojehel“ (6). Navíc lze nanotechnologickými postupy vyrábět koloidní roztoky vitamínů, minerálů, potravinových doplňků a léků ve sprejové formě. Spreje umožňují snadnou aplikaci na sliznici ústní dutiny a přitom mají vysokou účinnost (10).

Diagnostika a terapie rakoviny

Asi největší naděje se směrem k nanobio- a bionanotechnologii upírají vzhledem k možné léčbě rakoviny. Rakovina je onemocnění způsobené zhoubným nádorem, pro který je charakteristický nekontrolovaný růst s ničením okolních tkání, zakládání metastáz a celkové působení na organismus. Celosvětově se jedná o jedno z nejvážnějších onemocnění (6). Proto je cílem snah různých, nejen nanotechnologických, výzkumů umožnit včas rozpoznat toto onemocnění (tj. vyvíjet nové, citlivé diagnostické systémy⁵²) a úspěšně ho léčit⁵³. Konkrétní nanotechnologickou aplikací v léčbě rakoviny je např. využití křemíkových kuliček o rozměru 110 nm, potažených 10 nm vrstvičkou zlata k likvidaci nádorů prostřednictvím lokálního ohřevu. Postup léčby je následující: Na povrch nanokuliček se naváže protilátky, které se mohou uchytit výhradně na nádorových buňkách. Díky tomu jsou nanokuličky schopné samy se navádět na cíl. Nanokuličky se tedy vpraví k nádoru a poté jsou ozářeny laserovým paprskem

⁵¹ Např. k zapouzdření protirakovinných léků se používají liposomy – lipidové koule o průměru cca 100 nm, umožňující zlepšenou cílenou distribuci terapeutických látek (6).

⁵² K odhalení nádoru a jeho lokalizaci v těle lze použít např. zobrazovací metodu využívající polymerní nanočástice. Nanočástice obsahují bílkoviny, které jsou schopny vázat se na určité typy nádorových buněk, a fluorescenční barvivo, které po ozáření infračerveným světlem umožňuje vizualizaci nádoru (10).

⁵³ V únoru roku 2005 byl v Americe schválen první lék připravený na bázi nanotechnologie. Jedná se o protirakovinný preparát Abraxane, který má pomoci ženám trpícím metastázami při nádorech prsu. Tento lék má méně vedlejších účinků a podstatně vyšší účinnost než jeho předchůdci (69).

(o vlnové délce z oblasti blízké infračervené části spektra). Tím dochází k jejich prudkému ohřátí (na teplotu 55°C) a následnému zničení nádorových buněk uvolněným teplem. Zlaté nanokuličky jsou zatím testovány pouze laboratorně (*in vitro* na lidských nádorových buňkách a *in vivo* na myších, kterým byl uměle voperován nádor). Vzhledem k pozitivním výsledkům se dá očekávat, že by v budoucnu mohly být používány k léčbě nádorových onemocnění člověka (59).

Kovové „nanosvaly“

Pomocí nanotechnologie lze z miniaturních částeczek platiny vyrobit vysoce výkonné kovové „nanosvaly“. Fungují na základě vložení malého elektrického náboje (pouze několik voltů), který ohýbá platinový drátek, zkonstruovaný sendvičovým skládáním platinových atomů. I když platinový nanosval má hmotnost pouhý jeden gram, může zvedat až 140 gramů! Navíc pracuje naprosto nehlukně a hladce. Nanosvaly by se daly využít nejen v lékařství, jako náhrada za poškozené svaly a orgány (už se objevily první praktické možnosti jejich využití jako penilní náhrady pro muže, kteří nejsou schopni erekce), ale i v mnoha dalších oborech, například u elektronických přístrojů, hraček či videokamer. Díky svým miniaturním rozměrům, malé hmotnosti a schopnosti vyvíjet velké množství energie by mohly najít využití i v robotice (60).

8. BUDOUCNOST NANOTECHNOLOGIE – PŘÍSLIBY VS. OBAVY

Období dramatických změn ve výrobních procesech, způsobená objevením nové technologie, se v historii lidstva opakovala již několikrát. Připomeňme například technologické změny související se zpracováním nových materiálů (hlíny, mědi, bronzu, železa,...), nových forem energie (oheň, pára, atomová energie,...), informací (písmo, knihtisk, informační technologie,...). Spolu s tím přicházely široké společenské, ekonomické, vojenské a v jejich důsledku i politické změny. Většinu těchto dopadů si nedokázali představit ani ti největší vizionáři. Nyní se chystáme na start éry nanotechnologie. Otázkou je, jak rychlý bude její vývoj a co všechno nám tato novinka přinese.

Nanotechnologie, stejně jako každá jiná technologie, má své zastánce i odpůrce. Nejradikálnější koncepce nanotechnologie jsou založeny především na jejích teoretických možnostech, na jejím potenciálu. Opatrnější koncepce pak vycházejí ze současné situace a nynějšího stupně poznání. Negativa, na která se upozorňuje, s sebou přinášejí důsledky zejména v etické a sociální oblasti.

Radikální optimistický pohled na nanotechnologii vypadá asi takto: V budoucnosti budou syntetizovány mnohé nanomateriály s unikátními novými vlastnostmi. Nalezeny budou další možnosti využití těchto materiálů, a to zejména v oblastech medicíny a informačních a komunikačních technologií (kde dojde k přechodu od současné mikroelektroniky k nanoelektronice). Nanomateriály a nanokompozity budou mít lepší vlastnosti a díky novým výrobním „nanopostupům“ se stanou levnějšími a dostupnějšími pro větší počet lidí. Zlepšující se funkce a vlastnosti nanomateriálů zlepši výkonnost produktů také v dopravě, energetice, bezpečnosti a při ochraně životního prostředí.

Skeptičtější (a v lecčems i realistické) nazírání problematiky nanotechnologií by se dalo vystihnout následujícím způsobem: Nanotechnologie může přinést řadu etických problémů v důsledku její konvergence s biotechnologií. Dále je nutné upozornit také na riziko toxicity nanočástic, ať už při kontaktu s lidským tělem či se životním prostředím. V textu již byla zmíněna např. člověkem využívaná toxicita stříbrných nanočástic vůči bakteriím, houbám a řasám. Studie prováděné na myších prokázaly, že nanočástice mohou poškozovat plíce. Navíc mají některé z nich schopnost dlouhodobě přetrvávat v životním prostředí a hromadit se v potravních řetězcích. Je proto zřejmé, že nutnou podmínkou pro úspěšné zavedení nanotechnologií v budoucích spotřebitelských aplikacích je přesná identifikace zdravotních a ekologických rizik. Další důvod k obavám představuje používání inteligentních nanorobotů, schopných molekulu po molekule postavit vše, co jim lidmi vytvořený program zadá. To by

na jedné straně sice mohlo přispět ke zrychlení a zefektivnění práce (lidé by například nemuseli vykonávat monotónní a náročné práce na automatických linkách), na druhé straně by to však mohlo mít za následek opakování situace známé z průmyslové revoluce na přelomu 19. a 20. století, kdy lidskou práci v továrnách nahradily stroje. V důsledku zavádění nových výrobních postupů by mohla přijít obrovská vlna nezaměstnanosti a na ní navazující chudoba. Kromě toho je patrné, že nanotechnologie může být efektivním nástrojem pro výrobu zbraní. Mohla by proto být zneužita jako nástroj k omezování osobní svobody.⁵⁴

Některé možné pozitivní i negativní dopady nanotechnologie shrnuje tab. 5. Který z výše popsaných pohledů má blíže k pravdě ukáže čas.

Pozitivní dopady nanotechnologie	Negativní dopady nanotechnologie
▪ léčba jinak neléčitelných nemocí ▪ eliminace ekologické zátěže ▪ materiály s novými, lepšími vlastnostmi ▪ snížení výrobních nákladů ▪ zvýšení trvanlivosti některých výrobků ▪ zvýšení bezpečnosti ▪ ochrana lidského zdraví	▪ vysoké náklady na vývoj ▪ možné selhání technologie ▪ neetické užití (zneužití) ▪ obtížný a drahý monitoring a kontrola negativních dopadů ▪ ohrožení zdraví člověka a životního prostředí (nanotoxicita) ▪ zánik současných výrobních postupů a s tím související nezaměstnanost ▪ destabilizaci sociální, kulturní, ekonomické a politické situace způsobená nerovným přístupem k některým aplikacím

Tabulka 5: Ambivalence nanotechnologie – možné pozitivní a negativní dopady. Podle (1).

⁵⁴ Literárním podkladem k této kapitole byla diplomová práce Lenky Moudré „Ambivalence nanotechnologie“ (1).

9. SHRUTÍ ANEB CO SI ODNĚST Z VYPRÁVĚNÍ O „NANO”

Nanotechnologie a nanověda jsou perspektivní interdisciplinární obory, které soustřeďují poznatky z fyziky, chemie, biologie a materiálového inženýrství. Pracují v oblasti nanosvěta, tj. v prostoru částic o velikosti cca 1 – 100 nm. Nanověda zkoumá jevy odehrávající se v nanosvětě a jejich vliv na vlastnosti materiálů, zatímco nanotechnologie se zaměřuje na řízenou manipulaci s atomy, molekulami a jejich shluky a na hledání způsobů využití unikátních vlastností nanočástic a nanostruktur v praxi pro tvorbu nových, lepších materiálů, zařízení a systémů.

Již ze 4. století našeho letopočtu máme v podobě Lykurgových pohárů důkaz toho, že hmota v měřítku nanometrů může vykazovat nové, unikátní vlastnosti často odlišné od vlastností pozorovaných v makrosvětě. Počátky nanotechnologie, jako oboru v dnešním slova smyslu, však klademe až do poloviny minulého století. Tehdy jeden z průkopníků nanotechnologie, Richard Feynman, začal poukazovat na to, že zákony fyziky nejsou v rozporu s možností manipulovat hmotou atom po atomu. Feynman upozorňoval také na to, že v přírodě odpradáвна probíhá většina životních procesů v nanorozměrech. Strategie tvorby biologických struktur (ať už se jedná o hierarchické sestavování atomů a molekul způsobem bottom-up, procesy samosestavování (self-assembly) či samoorganizaci (self-organization)) jsou dnes inspirací pro nanotechnologii.

Od doby Richarda Feynmana nanotechnologie zaznamenala neuvěřitelně rychlý rozvoj. V posledních třiceti letech došlo k několika zásadním objevům v oblastech nanovědy a nanotechnologie. Jedná se zejména o:

- vynález skenovacího tunelového mikroskopu (STM, 1981), umožňujícího pozorovat jednotlivé atomy a dokonce s nimi i manipulovat,
- syntézu fullerenu (1985), jakožto nové alotropické modifikace uhlíku,
- objev efektu obřího magnetického odporu (GMR, 1988) a jeho následnou aplikaci v elektronice (zvýšení hustoty záznamu na harddiscích).

Tyto objevy podstatně posunuly vývoj vědy a techniky, a byly proto odměněny Nobelovou cenou (1986 Binnig a Rohrer za STM, 1996 Kroto, Curl a Smalley za fullereny, 2007 Fert a Grünberg za GMR).

Mnozí dnes věří, že přijde nanotechnologická revoluce, která radikálně změní svět. Pravdou je, že řada nanomateriálů již našla průmyslové uplatnění a počet jejich aplikací stále roste. Ve všech průmyslově vyspělých státech (zejména v USA, zemích EU a Japonsku) probíhá nákladný výzkum. Nanotechnologie dnes nabízí např. antibakteriální a fungicidní ponožky

s nanočásticemi stříbra, nemlživá zrcadla s nanočásticemi TiO_2 , nanočástice Fe_2O_3 pro detoxikaci území, textilie z polymerních nanovláken (vyrobené českým Nanospiderem), nanoporézní materiály (např. zeolity) jakožto vynikající katalyzátory, spintronicke počítačové paměti a magnetická záznamová média, lasery založené na polovodičových kvantových tečkách, protirakovinný nanopreparát Abraxane,... Uvedení řady dalších (opto)elektronických zařízení, přístrojů, léků, diagnostických metod, kosmetických přípravků atd. se předpokládá v (blízké) budoucnosti. Na druhou stranu ale zaznívají také hlasy varující před (skrytými) hrozbami nanotechnologie, např. před jejím možným zneužitím a nepříznivými sociálními dopady či potenciální toxicitou nanočástic.

Závěrem je možno říci, že největší rozmach nanotechnologie lze pravděpodobně teprve očekávat. Patrně nejvíce se bude rozvíjet a uplatňovat v oblastech materiálů, informačních a komunikačních technologií, v energetice, péči o zdraví a životní prostředí. V jak široké míře se nakonec nanotechnologie uplatní a zda se naplní obavy s ní spjaté, je otázkou budoucnosti. Jisté však je, že opomíjet tento výrazný směr vědeckého bádání a praktických aplikací by bylo velkou chybou (5).

IV.2. PREZENTACE

PowerPointová prezentace je multimediálním doplňkem rešeršní části práce. Je uložena ve formátu pptx a spolu s prohlížečem PowerPoint Viewer 2007, který umožňuje zobrazit prezentaci na počítačích bez MS Office 2007, je přiložena na CD. V poznámkách v prezentaci je podrobný komentář ke každému snímku (slidu) doplněný o zajímavosti, možné jednoduché demonstrace, doporučení pro práci s prezentací (např. jak spustit animace) apod.

Pro prezentaci jsem vybrala důležité a zajímavé poznatky ze světa nanotechnologie a nanovědy. Svým rozsahem (96 snímků) prezentace překračuje čas, který patrně budou mít pedagogové na ŠŠ pro výuku o „nano“.⁵⁵ V tab. 6 proto popisují strukturu prezentace a navrhuji, které části je vhodné využít v konkrétním předmětu.

Snímky		Obsah	PS	F	Ch	B	G
2 – 4		Úvod do nanosvěta	x	x	x	x	x
5 – 19		Vlastnosti a výroba nanočástic a nanostruktur	x	x	x		
20 – 36	21 – 25	Přístroje pro pozorování nanočástic a nanostruktur	x	x			
	26 – 36						
37 – 40		Definice nanotechnologie (NT) a nanovědy	x				
41 – 42		Feynman a Drexler coby průkopníci NT	x				
43 – 56	44 – 46	NT v přírodě	x			x	
	47 – 50		x			x	
	51 – 56		x		x	x	x
57 – 89	58 – 77	Aplikace NT	x		x		
	78 – 85		x	x	x		
	86 – 89		x			x	
90 – 91		Budoucnost NT – pozitiva a negativa	x				
92 – 96		Shrnutí	x				

Tabulka 6: Koncepte prezentace. Popis obsahu prezentace s návrhem, co vyučovat v jakém předmětu. Vysvětlení použitých zkratk: PS = přírodovědný seminář, F = fyzika, Ch = chemie, B = biologie, G = geologie.

⁵⁵ Žáky lze se základními, a přitom zajímavými aspekty nanosvěta seznámit během 1 – 2 VH při použití padesáti osmisnímkové prezentace doplňující „Test – nanotechnologie“. Více v kap. IV.6. Testové položky.

IV.3. PROJEKT

Jednou z možností, jak pojmout výuku nanotechnologie, je realizovat ji prostřednictvím projektového vyučování. Nanotechnologie, jakožto perspektivní obor interdisciplinárního charakteru, dobře splňuje podmínky kladené na téma projektu. Projekt mohou zpracovávat malé skupiny v rámci třídy, případně je možné realizovat projekt celotřídní či dokonce celoškolní. Výstupů projektu může být celá řada – např. poster, prezentace, časopis apod. Mezi největší přínosy projektového vyučování patří rozvíjení sociálních dovedností, komunikace a seberegulace žáků při učení, a to zejména díky kooperativní formě výuky (pro podrobnosti o kooperativním učení a projektové metodě odkazují na „Doporučenou literaturu“ v kap. IV.3.2. Poznámky k projektu). Na druhou stranu je ale zpracovávání projektu poměrně časově náročné.

Dále uvádím návrh projektu „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“, realizovaného během března a dubna 2009 na dvou pražských gymnáziích. Tvorba časopisu, jakožto výstupu projektu, byla zvolena zejména proto, že umožňuje zkombinovat získání odborných znalostí s posílením klíčových kompetencí. Podrobný popis průběhu testování projektu (včetně výsledků) je spolu s náměty, praktickými radami a doporučeními pro učitele součástí kapitoly V.1. Poznámky z realizace projektu. Tisková verze projektu je ve formátu pdf uložena na CD, na kterém najdete také výsledky práce žáků (časopisy a recenze) a fotografie z projektu uskutečněného na Malostranském gymnáziu v Josefské.

IV.3.1. Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...

Základní charakteristika a harmonogram navrhovaného projektu jsou následující:

- výstupem projektu je časopis a jeho prezentace + recenze časopisů ostatních skupin
- časová dotace: min. 4 týdny (cca 4 – 5 hodin v rámci vyučování + domácí příprava) – počet hodin ve vyučování možno zkrátit (viz kap. IV.3.2. Poznámky k projektu)
- interdisciplinarita projektu – projekt podporuje mezipředmětové vztahy chemie, fyziky, biologie, českého jazyka, informační a komunikační technologie
- posílení klíčových kompetencí žáků (zejména kompetencí spolupracovat při dosažení společného cíle, plánovat svou pracovní činnost, používat moderní informační technologie k vyhledávání a tvořivému zpracování informací, prezentovat svoji práci, srozumitelně se vyjádřit, objektivně hodnotit, přijmout ocenění, radu a kritiku druhých atd.)

HARMONOGRAM PROJEKTU

1. týden: Seznámení žáků s projektem

Obsah hodiny: Zadání tématu projektu, vytvoření skupin a rozdělení rolí ve skupinách, popis výstupů projektu.

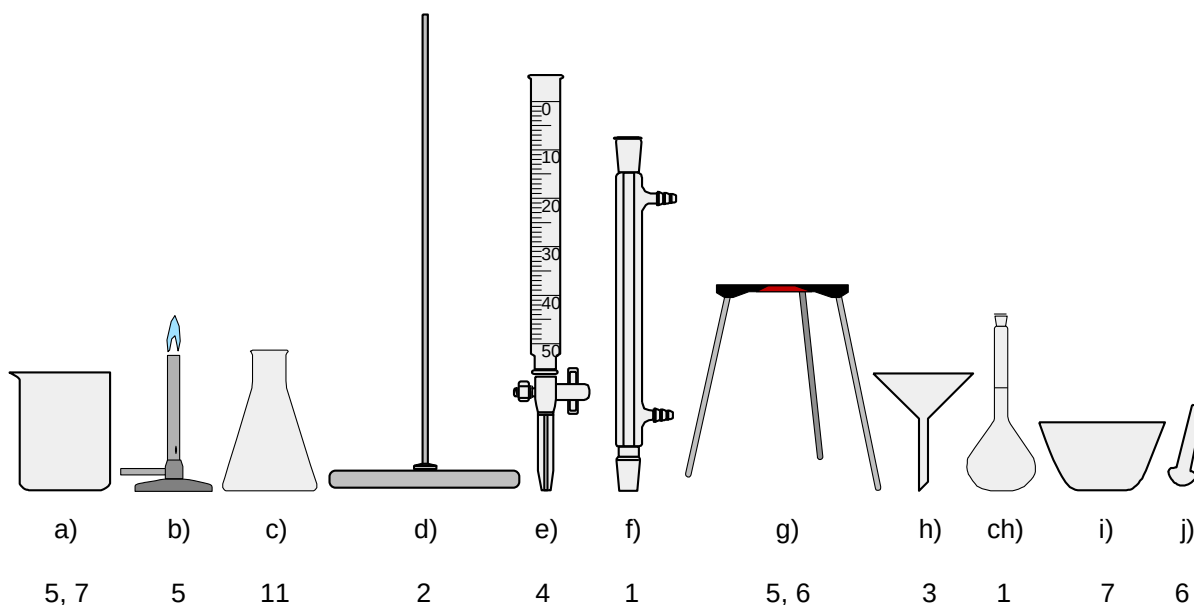
Učitel seznámí žáky s tím, že po dobu 4 týdnů budou pracovat na projektu.

Úkol 1: Učitel zadá téma projektu, např. formou tajenky obrázkové šifry.

Metody: Řešení motivační úlohy (obrázkové šifry), brainstorming, diskuze; cca 10 minut.

Obrázková šifra

V obrázkové šifře naleznete předměty běžně používané v chemické laboratoři. Dokážete následující chemické nádobí správně pojmenovat? Čísla pod obrázky označují konkrétní písmeno (resp. písmena) z daného názvu, která přečtená ve správném pořadí tvoří tajenku. Vyluštěte ji a napište první věc, která vás napadne, **když se řekne ...** (viz tajenku).



TAJENKA

a) 5	a) 7	b) 5	c) 11	d) 2	e) 4	f) 1	g) 5	g) 6	h) 3	ch) 1	x	i) 7	j) 6
											G		

Poté učitel řekne, že **výstupem projektu bude časopis a jeho prezentace** během poslední hodiny. Učitel vyzve žáky, aby vytvořili čtyř- až šestičlenné týmy (ideálně heterogenní co do zastoupení pohlaví i úrovně vědomostí a dovedností). Učitel může vybrat žáky – budoucí šéfredaktory, kteří vytvoří svůj „redakční tým“, za nějž ponesou zodpovědnost. (V praxi se však osvědčilo spíše, aby si žáci sami zvolili šéfredaktora ze svého středu, neboť takto zvolený šéfredaktor byl pak zodpovědnější za svou práci – viz kap. V.1. Poznámky z realizace projektu.)

Úkol 2: Učitel do každé skupiny rozdá 2 až 3 časopisy. Žáci jimi listují a snaží se vyjmenovat co nejvíce povolání, která jsou nutná pro vytvoření časopisu.

Otázky: Kdo všechno se podílí na tvorbě časopisu? Jmenuj co nejvíce profesí.

Metody: Vyhledávání informací v časopise, brainstorming, diskuze.

Po cca 5 minutách se učitel ptá žáků ve skupinách a zapisuje jejich nápady na tabuli. Z vyjmenovaných profesí učitel vybere **šéfredaktora, reportéra, grafika a recenzenta (korektora)**.

Úkol 3: Žáci charakterizují náplň práce jednotlivých profesí.

Otázky: Jak bys charakterizoval profesi šéfredaktora (resp. reportéra, grafika a recenzenta (korektora))? Co je náplní jeho práce? Jaké schopnosti by měl mít člověk, který vykonává dané povolání? Kdo by se chtěl stát žurnalistou? Co obnáší tato práce?

Metody: Brainstorming, diskuze; cca 10 minut.

Na základě diskuze ve skupinách si žáci rozdělí jednotlivé role pro práci na projektu (šéfredaktor – může být předem určen učitelem, reportér (1 – 3), grafik, recenzent (korektor)). Učitel shrnuje obsah rolí a jejich charakteristiku (viz tabulku „Charakteristika rolí“). Poté rozdává zápisový arch „Projekt Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“, kam každá skupina zapíše k dané roli jméno jednoho, resp. v případě reportéra max. 3 žáků. Doba práce asi 10 minut.

Charakteristika rolí	
Šéfredaktor: - Popis role: má konečné slovo v diskuzích ohledně rozvržení časopisu (tematického i grafického), spolupodílí se na příspěvcích pro časopis - Schopnosti: organizace týmové práce, vůdce, přirozená autorita	
Reportér: - Popis role: studuje literaturu, sepisuje jednotlivé sloupky (články) - Schopnosti: práce s literaturou (vyhledávání a třídění informací), tvořivost	
Grafik: - Popis role: ve spolupráci s šéfredaktorem a reportéry vytváří finální grafickou podobu časopisu, má na starosti tisk časopisu a jeho formátování (tj. zarovnání, styl písma, vkládání obrázků, tabulek apod.) - Schopnosti: tvořivost, estetické cítění, práce s PC (textové a grafické programy)	
Recenzent (korektor): - Popis role: „šťoural“ a kritik, hodnotí průběžnou i výslednou práci na časopise, upozorňuje na nedostatky (obsahové, mluvnické, gramatické, grafické apod.) a pomáhá je opravovat, navrhuje nová, lepší řešení (a diskutuje o nich s ostatními členy týmu), kontroluje nápravu nedostatků, recenzuje hotové časopisy ostatních skupin - Schopnosti: dobře se orientuje v problematice nanotechnologie, dobrá znalost české mluvnice a gramatiky, estetické cítění, umí argumentovat	

Projekt „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“	
Skupina č.: - Název časopisu: - Cílová skupina čtenářů:	
Role	Jméno
Šéfredaktor	
Reportér č.1	
Reportér č.2	
Reportér č.3	
Grafik	
Recenzent (korektor)	

Na konci hodiny učitel rozdává každé skupině „Popis práce a parametry výstupu“ a tabulku „Projekt Když se řekne NANOTECHNOLOGIE... – úkoly“. Cca 5 – 10 min.

Popis práce a parametry výstupu:

Každá skupina zpracuje právě jeden produkt – časopis. Na jeho tvorbě se podílejí všichni členové skupiny rovnoměrně na základě splnění jednotlivých rolí. **Rozsah časopisu: 4 – 8 stran textu.** Skupina se dohodne na názvu časopisu a okruhu čtenářů, kterým bude časopis určen (a tomu uzpůsobí zpracování obsahu). **Název časopisu** (např. „21. století – Éra nanotechnologie“) **a cílovou skupinu, pro niž je časopis určen** (tj. okruh čtenářů, které by časopis měl oslovit), **skupina zapíše do zápisového archu „Projekt Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“** (ten se odevzdává na začátku příští hodiny). Ačkoliv je téma projektu pevně dáno, jeho interdisciplinární charakter (jedná se o obor shrnující poznatky z fyziky, chemie a biologie) a rozsáhlé možnosti nazírání dané problematiky (všeobecný přehled, výběr aplikací, historický přehled, sociální a etické důsledky, vize pro budoucnost atd.) umožňují velmi různorodé zpracování a ponechávají dostatek prostoru pro kreativní vyjádření se. Součástí výstupu projektu je prezentace časopisu (v rozsahu max. 5 minut) a recenze časopisů ostatních skupin – podrobnosti budou uvedeny později.

Projekt „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“ – úkoly	
1.	Vytvořte časopis. a) Stanovte účel publikace a čtenáře, pro něž je určena. Bude podání časopisu spíše vědeckotechnické, humorné či jiné? b) Vymyslete název a způsob, jak bude časopis sestavován. c) Naplánujte, co by mohl časopis obsahovat. K plánování obsahu mohou napomoci otázky: Kdo...? Co...? Proč...? Kdy...? Jak...?
2.	Staňte se vydavateli a kameloty. Připravte si prezentaci časopisu a „prodejte“ svůj produkt!
3.	Zhodnoťte svou práci i práce ostatních.
Zpracováno podle (61).	

Učitel by měl již během první hodiny určit časový harmonogram práce na projektu (tj. upřesnit, které hodiny budou projektu věnovány ve škole, kdy projekt bude ukončen apod.). Zejména by měl upozornit na termíny odevzdávání hotových časopisů a recenzí.

Domácí příprava: Vyhledejte základní informace o nanotechnologii (např. Co to je? K čemu slouží? Kdo se jí zabývá? apod.).

2. týden: Začínáme tvořit časopis!

Obsah hodiny: Práce s literaturou a internetem, vytváření myšlenkové mapy a tvorba příspěvků do časopisu.

Učitel na tabuli v bodech zapisuje informace, které se žáci o nanotechnologii dozvěděli během domácí přípravy. Poté žáci ve skupině vytvářejí myšlenkovou mapu reprezentující otázky, na které by chtěli najít odpověď (tj. vytváří obsah, kostru časopisu). Myšlenkové mapy žáci odevzdávají v dohodnutém termínu, nejpozději však na začátku příští hodiny.

Učitel dále skupinám rozdává seznam „Základní doporučené literatury“ (včetně internetových odkazů) a vybídne žáky k vlastnímu zpracování časopisu (s poznámkou, že pomoc či radu při řešení projektu žákům jistě rád poskytne kterýkoliv pedagog fyzik, chemik či biolog). Výhodou je absolvování této hodiny v učebně výpočetní techniky, popřípadě by měl učitel alespoň do hodiny přinést některé z doporučených literárních pramenů.

Otázky: Co o nanotechnologii už víte? Kde seženete další informace? Co byste se o nanotechnologii chtěli dozvědět? Jaké rubriky by měl časopis obsahovat? Proč by si ho někdo měl přečíst? Odpovídá zaměření časopisu vaší vybrané cílové skupině?

Metody: Brainstorming, myšlenková mapa, diskuze, práce se zdroji informací; 20 – 45 min.

Poznámka: Příspěvkem do časopisu může být také např. rozhovor (interview) nebo reportáž z místa, kde se věnují výzkumu „nano“.

Základní doporučená literatura

FEYNMAN, R.P. There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics. *Eng Sci Mag*, 1960, vol. 23, no. 5. Přepis článku dostupný na: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.

KLUSOŇ, P.; DROBEK, M.; BÁRTKOVÁ, H.; BUDIL, I. Vítejte v „nanosvětě“. *Chem. Listy*, 2007, roč. 101, č. 4, s. 262–272. ISSN 1213-7103. Dostupné na: <http://www.chemicke-listy.cz>.

KUBÍNEK, R. a STRÁNSKÁ, V. *Úvod do problematiky nanotechnologií* [online]. Dostupné na: <http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz/nanotechnologie.pdf>.

PRNKA, T. a ŠPERLINK, K. *6 Nanotechnologie, Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje*. Ostrava : Repronis Ostrava, 2004, s. 70. ISBN 80-7329-070-7. Dostupné na: <http://www.nanotechnologie.cz>.

PRNKA, T. a ŠPERLINK, K. *2 Bionanotechnologie, Nanobiotechnologie, Nanomedicína, Sedmý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje*. Ostrava : Repronis Ostrava, 2006, s. 177. ISBN 80-7329-134-7. Dostupné na: <http://www.nanotechnologie.cz>.

Nanotechnologie.cz – česká webová stránka široce pokrývající oblast nanotechnologií; dostupná na adrese <http://www.nanotechnologie.cz>.

Domácí příprava: Shromážděte co nejvíce informací o nanotechnologii a vyberte z nich to nejzajímavější (ze slova i obrazu). Sepište články, logicky je uspořádejte. Doplňte texty obrázky a tabulkami. Spolupracují zejména šéfredaktor s reportérem/y a grafikem; recenzent studuje literaturu a „kontroluje“ postup kolegů. Členové týmu by se během týdne spolu měli sejít a postupně se seznamovat s postupy své práce. Recenzent navrhuje i změny v obsahu časopisu. Recenzent by měl být dobře seznámen s veškerými podklady k tvorbě časopisu. Jeho znalost problematiky nanotechnologie by měla být co možná nejlepší.

3. týden: Dokončování časopisu a příprava jeho prezentace

Obsah hodiny: Tvorba finální verze časopisu (formátování, oprava chyb). Popis výstupů projektu a vytváření prezentace.

Otázky: Jak jsi postoupil ve své práci? Co už máš hotovo? Co ti ještě zbývá? Jak můžeš zvýšit poutavost svého časopisu?

Metody: Diskuze; cca 10 minut.

Učitel po diskuzi skupinám rozdává poznámky k jednotlivým profesím, které by měly přispět ke zkvalitnění jejich práce.

Umění dobře psát aneb Poznámky pro šéfredaktora a reportéry
1. Napiš svůj text nanečisto. 2. Přečti si jej nahlas. 3. Přemýšlej... Chceš něco přidat nebo změnit? 4. Přečti nebo ukaž někomu (nejlépe spolužákům ve skupině), co jsi napsal. Má to dobrý začátek a konec? 5. Poslechni si, co k tomu říkají druzí. Šlo by to nějak vylepšit? 6. Dokážeš to ještě vylepšit? Zpracováno podle (61).

Jak být dobrým recenzentem (korektorem)
1. Přečti si práci svého spolužáka ze skupiny nebo si pečlivě poslechni, jak ti ji předčítá. Podívej se na grafickou stránku vašeho časopisu. 2. Pověz alespoň dvě věci, které se ti na jeho práci (tj. textu, obrázcích, tabulkách apod.) líbily. 3. Přemýšlej, jak by mohl svůj text/grafiku zdokonalit. Schází tam něco? Je tam něco (fakticky) špatně? 4. Pomůžeš to spolužákovi vylepšit? Zpracováno podle (61).

Jak být dobrým grafikem

1. Přemýšlej o tom, jak by měl vypadat výsledný časopis. (Bude barevný nebo černobílý? Budou články členěny do sloupců? Jaké použiješ styly písma? Kolik obrázků bude na jedné stránce? Jak bude vypadat obálka časopisu?)
2. Udělej si několik návrhů.
3. Vyber ten nejlepší.
4. Zkontroluj, že písmo je dobře čitelné (dostatečně velké) a struktura časopisu jasně naznačená (úrovně nadpisů jsou odděleny stylem písma, obrázky popsané apod.). Mají obrázky dostatečně dobrou kvalitu (tj. jsou ostré)?
5. Zkonzultuj výsledek své práce se spolužáky ve skupině. Líbí se jim podoba časopisu? Šlo by ještě něco vylepšit? Koupil bys sis takovýto časopis?

Dále učitel shrne „Výstupy projektu“ (rozdá žákům přehled, zdůrazní data odevzdávání časopisů a recenzí). Poté žáci diskutují o zásadách tvorby prezentací a podmínkách úspěšného prezentování a ty posléze shrnou (s případnou pomocí učitele). Ve zbytku hodiny dokončují svůj časopis a začínají s tvorbou prezentace. Opět je výhodou možnost využití počítačů a absolvování hodiny v učebně výpočetní techniky.

Otázky: Jaké by měly platit „obecné zásady“ tvorby PowerPointových prezentací? Jaké dovednosti by měla mít prezentující osoba/skupina? Čemu se při prezentování vyhnout?

Metody: Diskuze; cca 10 – 15 min.

Výstupy projektu:

Časopis

Počet výtisků: 1 tištěný výtisk pro učitele + po jednom výtisku pro každou skupinu ve třídě (tj. pro každého recenzenta; recenzentům možno rozeslat pouze v elektronické podobě).

Hotové časopisy skupiny odevzdávají učiteli a recenzentům v dohodnutém termínu.

Recenze

Recenzenti dostanou časopisy ostatních skupin a **na každý časopis napíše cca půlstránkovou recenzi** (velikost písma 12, řádkování 1,5). Ta by měla obsahovat: zhodnocení časopisu po stránce obsahové (s důrazem na faktickou správnost), grafické, jazykové (co se líbí/nelíbí, povedlo/nepovedlo), čím je časopis výjimečný, nakolik recenzent očekává, že časopis osloví čtenáře cílové skupiny (proč?), návrh nápravy chyb (odstranění nedostatků) apod. Nakonec **recenzent každý časopis oboduje celým číslem na škále od 1 (nejhorší) do 5 (nejlepší)**. Recenzentské bodování bude součástí celkového hodnocení. Recenze se odevzdávají učiteli (v předem stanoveném termínu).

Prezentace (reklamní spot)

Forma prezentace i počet prezentujících jsou zcela v kompetenci skupiny. V případě prezentace časopisu formou PowerPointové prezentace se doporučuje cca 5 snímků (slidů). Jeden či více členů týmu hovoří celkově max. 5 minut!

Schopnosti prezentujícího/cích: Měl/i by umět časopis „prodat“.

Charakteristika prezentace: Přehledně, stručně a jasně shrnout problematiku nanotechnologie (tj. nastínit obsah časopisu). Zdůraznit kdo a proč by si měl časopis přečíst.

Prezentace časopisu
1. Připravte si max. 5min. prezentaci (reklamní spot), ve které představíte svůj časopis. 2. Prezentovat může delegovaný jednotlivec nebo celá skupina. 3. Buďte názorní – ilustруйте svůj výklad pomůckou.

Domácí příprava: Dokončete časopis a včas ho odevzdejte. Připravte si prezentaci (reklamní spot) a zkuste si ji doma „nanečisto“. Příští hodinu dostanete pět minut na to, abyste zaujali čtenáře (spolužáky) a přiměli je koupit si právě váš časopis. Speciální úkol pro recenzenty: napište objektivní a přiměřeně kritické recenze časopisů ostatních skupin.

4. týden: Prezentace výsledků práce a hodnocení

Obsah hodiny: Prezentace časopisů, hodnocení projektu.

Ideálně dvě vyučovací hodiny (VH):

1. VH – **prezentace (reklamní spoty) a vzájemné hodnocení žáků**
2. VH – **vyhodnocení projektu, individuální reflexe žáků, komentář učitele**

Společné vzájemné hodnocení žáků (v průběhu prezentační hodiny)

Na začátku hodiny učitel každé skupině rozdá nakopírovaný o jednu nižší počet „Hodnotících tabulek“, než je počet skupin ve třídě. Během prezentace dané redakční skupiny zbývající skupiny bodují jednotlivá kritéria v „Hodnotící tabulce“, dělají si poznámky, co je v prezentaci a časopise zaujalo, co by se naopak dalo vylepšit (mohou navrhnout jak) apod. Po odprezentování skupiny jí spolužáci poskytnou zpětnou vazbu, tj. přečtou recenze na daný časopis, kriticky zhodnotí jednotlivé výstupy projektu (časopis i prezentaci), diskutují o možné nápravě nedostatků apod.

Po odprezentování všech skupin dostane každá skupina vyplněné „Hodnotící tabulky“ a recenze na svůj časopis. Sečtou se body (žáci dostanou a vyplní tabulku „Celkové hodnocení skupiny č.:“) a vyhlásí se vítěz projektu, tj. skupina s nejvyšším bodovým skóre. Ta může být odměněna např. balíčkem bonbónů. Variantou může být, že každá skupina dostane takový počet čokoládových mincí, kolik získala (celých) bodů (obdrží tedy tolik peněz, za kolik by si časopis byli ostatní ochotni koupit).

Pokud na škole (či ve třídě) funguje školní (resp. třídní) časopis, vítězný časopis (nebo některý z článků) se může stát jeho příspěvkem. (Iniciativě se meze nekladou – žáci mohou svoji práci nabídnout k publikování např. i v regionálním tisku či populárně naučném periodiku.)

Individuální (sebe)hodnocení splnění jednotlivých rolí a komentář učitele k průběhu práce jednotlivců i skupin na projektu a jeho výsledkům

Žáci ve skupinách diskutují o tom, jak jim vyhovovala jejich role a proč, co se prací na projektu naučili nového apod. Každý žák (stručně) zhodnotí vlastní práci (tj. provede sebereflexi). Žák může např. dokončit věty typu: Nejlépe se mi podařilo... Nejvíce mě bavilo... Nejtěžší pro mě bylo... Dále uvede osobní názor na přínos projektu a oboje v písemné formě odevzdá učiteli.

Učitel v závěru hodiny okomentuje práci žáků na projektu – zhodnotí úroveň jejich časopisů, recenzí i prezentací, pochválí originální nápady, upozorní na nejčastější chyby atd. Následně může oznámkovat redakční skupinu jako celek nebo každému žákovi poskytnout zpětnou vazbu a napsat osobní (slovní) hodnocení jeho práce na projektu (více v kap. V.1.3. Celkové zhodnocení projektu).

IV.3.2. Poznámky k projektu

Stručné shrnutí harmonogramu projektu s návrhem časových úspor ve vyučování:

1. týden:

Ve škole: Zadání tématu projektu, rozdělení žáků do skupin, rozdání „Charakteristiky rolí“, „Popisu práce a parametrů výstupu“ a tabulky „Projekt Když se řekne NANOTECHNOLOGIE... – úkoly“ (0,5 – 1 VH).

Domácí příprava: Vyhledávání základních informací o nanotechnologii, rozdělení rolí ve skupinách, vymýšlení názvu časopisu a okruhu čtenářů (vyplnění tabulky „Projekt Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“).

2. týden:

Ve škole: Stručné shrnutí informací, které se žáci o nanotechnologii dozvěděli během domácí přípravy, rozdání přehledu „Základní doporučené literatury“ (cca 10 minut).

Domácí příprava: Vyhledávání, třídění, sepisování informací (+ grafické práce a korekce); tvorba myšlenkové mapy popisující návrh obsahu časopisu, tj. kostru časopisu, jeho „osnovu“ (žáci ji odevzdávají učiteli v dohodnutém termínu).

3. týden:

Ve škole: Rozdání „Poznámek pro zkvalitnění práce“ a popis „Výstupů projektu“ – počet výtisků časopisu, stručná charakteristika recenzí a prezentace (cca 10 minut).

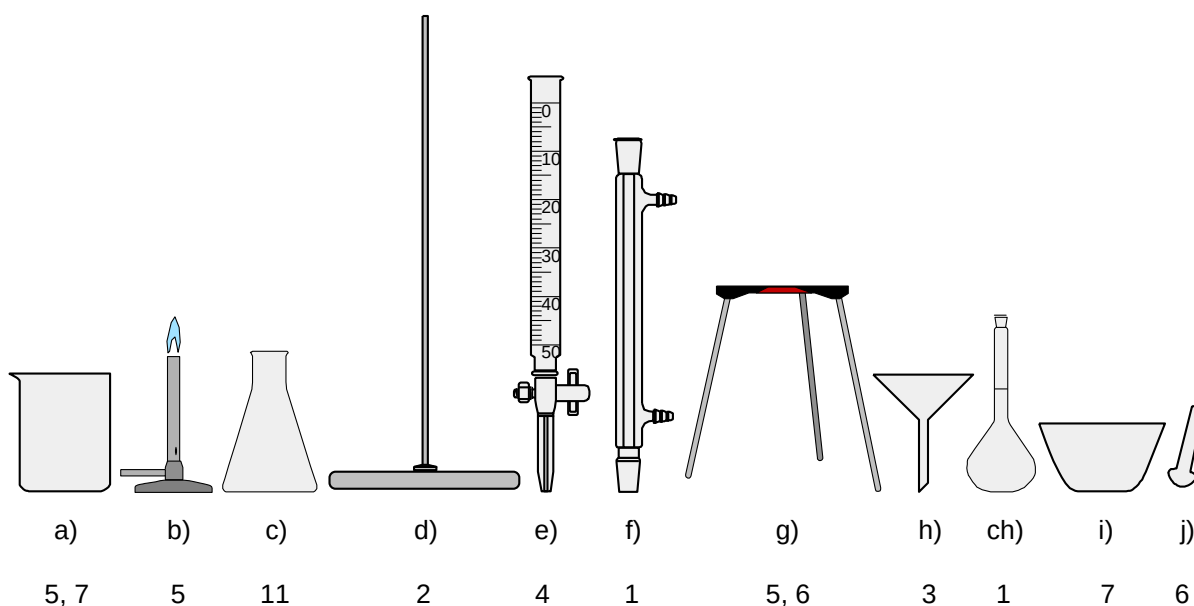
Domácí příprava: Dokončení časopisu (dopisování článků, grafické práce a korekce), tvorba recenzí a prezentace (reklamního spotu); hotové časopisy a recenze žáci odevzdávají v dohodnutých termínech.

Práci pro 2. a 3. týden možno zadat společně v rámci části jedné vyučovací hodiny. Učitel by měl průběžně se skupinami konzultovat pokroky v jejich práci.

4. týden:

Ve škole: Prezentace časopisů a hodnocení projektu (doba je závislá na počtu skupin – při počtu tří skupin (tj. cca 15 žáků) lze provést závěrečné vyhodnocení během jedné VH, jinak jsou třeba dvě VH, ideálně např. nultá + první hodina nebo „dvouhodinovka“ např. v rámci laboratorní práce či semináře).

Řešení obrázkové šifry



TAJENKA

a) 5	a) 7	b) 5	c) 11	d) 2	e) 4	f) 1	g) 5	g) 6	h) 3	ch) 1	x	i) 7	j) 6
N	A	N	O	T	E	CH	N	O	L	O	G	I	E

- | | | |
|------------------------|--------------|-------------------|
| a) kádinka | e) byreta | ch) odměrná baňka |
| b) kahan | f) chladič | i) třecí miska |
| c) Erlenmayerova baňka | g) trojnožka | j) tlouček |
| d) stojan | h) nálevka | |

Doporučená literatura (o kooperativním učení a projektové metodě)

FISHER, R. *Učíme děti myslet a učit se*. Praha : Portál, 1997. ISBN 80-7178-120-7.

KASÍKOVÁ, H. *Kooperativní učení, kooperativní škola*. Praha : Portál, 1997. ISBN 80-7178-167-3.

KASÍKOVÁ, H. *Učíme (se) spolupráci spoluprací*. Kladno : AISIS, 2005. ISBN 80-239-4668-4.

KASÍKOVÁ, H. a VALENTA, J. *Reformu dělá učitel aneb Diferenciace, individualizace, kooperace ve vyučování*. Praha : Sdružení pro tvořivou dramaturgii, 1994. ISBN 80-901660-0-8.

KAŠOVÁ, J. et al. *Škola trochu jinak: Projektové vyučování v teorii i praxi*. Kroměříž : Iuventa, 1995.

ŠULCOVÁ, R. et al. *Aktivizace v chemickém vzdělávání: projektové vyučování, pomůcky a hry, školní projekty, netradiční experimenty*. Praha : Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, 2007. ISBN 978-80-86561-84-4.

ŠULCOVÁ, R.; PISOVÁ, D. et al. *Přírodovědné projekty pro gymnázia a střední školy*. Praha : Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, 2008. ISBN 978-80-86561-66-0.

VALENTA, J. et al. *Pohledy: Projektová metoda ve škole a za školou*. Praha : Artama, 1993. ISBN 80-7068-066-0.

Poznámka: Praktickými náměty se kooperativní výuce a projektovému vyučování věnuje řada diplomových a rigorózních prací vypracovaných na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze, např.:

KOLKOVÁ, J. *Interdisciplinární projekt v chemii a biologii na gymnáziu (projektové vyučování) téma VODA*. 2002. Diplomová práce vedená RNDr. Renatou Šulcovou, Ph.D.

IV.4. EXKURZE

Vhodným doplněním výuky o „nano“ může být uskutečnění exkurze na pracoviště, kde se zabývají výzkumem nanotechnologie či některou z široké řady jejích aplikací. V této části práce předkládám materiály pro exkurzi zaměřenou na hlubší poznání mikroskopických metod, jež umožňují práci v nanosvětě. Uveden bude koncept exkurze nazvané „Exkurze do nanosvěta aneb Výlet za EM a SPM“ obsahující návrh tří míst vhodných pro realizaci exkurze, dále pretest, přípravné pracovní listy, pracovní listy pro exkurzi a posttest, které spolu s absolvováním exkurze umožní doplnění/rozšíření znalostí o elektronové mikroskopii (EM) a mikroskopii skenující sondou (SPM).

Pretest byl sestaven za účelem zjištění znalostí žáků o uvedených mikroskopických před uskutečněním exkurze. Na základě výkladu o EM a SPM (případně s pomocí výukového textu či internetu) mohou žáci vyřešit přípravné pracovní listy. To je možné provést např. v rámci domácí přípravy na exkurzi. Úkoly v přípravných pracovních listech mají silný motivační charakter, zatímco úkoly v pracovních listech pro exkurzi jsou spíše osvojovací. Pro posttest bylo navrženo bodování a klasifikace (uvedeno v kap. V.2.6. Výsledky posttestu), lze jej proto použít k závěrečné evaluaci. Tiskové verze testů a pracovních listů najdete ve formátu pdf uloženy na CD. V kap. V.2. naleznete poznámky z realizované exkurze (včetně vyhodnocení ověřovaných testů a pracovních listů).

IV.4.1. Exkurze do nanosvěta aneb Výlet za EM a SPM

Navrhovaná „Exkurze do nanosvěta“ je zaměřena na pokročilé typy mikroskopií (TEM, SEM, STM a AFM) a opírá se zejména o poznatky z fyziky, dále čerpá z chemie a biologie. Má tedy interdisciplinární charakter, a jeví se být proto použitelnou zejména v přírodovědném semináři. Znalost principů fungování mikroskopů a práce s nimi je však důležitá nejen pro studium odborné fyziky, chemie a biologie, ale získané poznatky mohou žáci uplatnit např. také při studiu medicíny a dalších oborů.

Pro realizaci exkurze navrhuji dvě pražská a jedno mimopražské pracoviště, kde používají přístroje umožňující nahlédnout do nanosvěta. Jedná se o:

- **Fyzikální ústav Akademie věd České republiky (FÚ AV ČR)**
(<http://www.fzu.cz/vitej.php>; <http://www.otevrena-veda.cz/ov/index.php?site=fzu>)
– kontaktní osoba: RNDr. Antonín Fejfar, CSc. (fejfar@fzu.cz)

- **Ústav fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského AV ČR (UFCH JH)**
(<http://www.jh-inst.cas.cz/www/indexcz.php?lang=cz&p=75>)
– kontaktní osoba: Ing. Pavel Janda, CSc. (pavel.janda@jh-inst.cas.cz)
- **Laboratoř mikroskopie atomárních sil v Olomouci** (<http://atmilab.upol.cz>)
– kontaktní osoba: RNDr. Roman Kubínek, CSc. (kubinek@prfnw.upol.cz)

Osobně, příp. e-mailem jsem se domlouvala na možnosti exkurze se třemi výše jmenovanými pány (Fejfarem, Jandou, Kubínkem). Všichni byli vstřícní a ochotní se na realizaci exkurze se středoškolskými žáky na daném pracovišti domluvit. Jak bude uvedeno níže, exkurze byla nakonec realizována s žáky pražského Gymnázia Opatov na FÚ AV ČR.

IV.4.2. Pretest

1. a) **Uvedené objekty seřaď od nejmenšího po největší.**
protein hemoglobin, atom vodíku, virus chřipky, blecha psí, bakterie *Escherichia coli*, aminokyselina glycin, lidský vlas (průměr)
- b) **Ve výše uvedeném seznamu zakroužkuj ty objekty, které nejsme schopni pozorovat pomocí světelného mikroskopu.**
2. Elektronová mikroskopie (EM) je mikroskopická technika, která v principu funguje obdobně jako světelná mikroskopie (SM). **Jaký je hlavní rozdíl (co se funkční podstaty týká) mezi elektronovým a světelným mikroskopem?**
3. V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop (TEM) a skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop (SEM, příp. REM). **Pokus se vysvětlit, v čem se liší transmisní a skenovací elektronový mikroskop.**
4. **Doplň.**
Jako mikroskopie skenující sondou (SPM) se označuje soubor experimentálních metod určených k 3D studiu struktury povrchu vzorků. SPM metody fungují na základě měření interakcí (určité fyzikální veličiny) mezi a mikroskopu.
5. **Doplň.**
Činnost skenovacího tunelového mikroskopu (STM) je založena na tzv. jevu. Tento jev je typickým projevem vlnové povahy elektronu. Ve zkratce jde o to, že elektron může s určitou (malou) pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měl dostatečnou energii.
6. **Zkus přibližně uvést (buď číselně s příslušnou jednotkou, nebo konkrétní příklad), jaké nejmenší objekty se dají studovat pomocí:**
 - a) světelného mikroskopu
 - b) elektronového mikroskopu
 - c) mikroskopů se skenující sondou

IV.4.3. Řešení pretestu

1. a) Uvedené objekty seřaď od nejmenšího po největší.

protein hemoglobin, atom vodíku, virus chřipky, blecha psi, bakterie *Escherichia coli*, aminokyselina glycin, lidský vlas (průměr)

atom vodíku, aminokyselina glycin, protein hemoglobin, virus chřipky, bakterie *Escherichia coli*, lidský vlas (průměr), blecha psi

b) Ve výše uvedeném seznamu zakroužkuj ty objekty, které nejsme schopni pozorovat pomocí světelného mikroskopu.

2. Elektronová mikroskopie (EM) je mikroskopická technika, která v principu funguje obdobně jako světelná mikroskopie (SM). Jaký je hlavní rozdíl (co se funkční podstaty týká) mezi elektronovým a světelným mikroskopem?

Elektronové mikroskopy k zobrazení vzorku využívají místo světla (fotonů) urychlený svazek elektronů. (EM používá elektromagnetické čočky, tj. různé typy cívek. SM používá skleněné čočky.)

3. V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop (TEM) a skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop (SEM, příp. REM). Pokus se vysvětlit, v čem se liší transmisní a skenovací elektronový mikroskop.

Mikroskopy TEM umožňují ve vakuu zobrazit velmi tenké vzorky. Vzorek je zobrazován prostřednictvím svazku elektronů, které jím procházejí.

Mikroskopy SEM se používají především k zobrazení povrchu předmětů. Vzorek se pokryje tenoučkou vrstvou těžkého kovu a pak se po něm přejíždí svazkem elektronů. Obraz se vytváří bod po bodu.

4. Dopln.

Jako mikroskopie skenující sondou (SPM) se označuje soubor experimentálních metod určených k 3D studiu struktury povrchu vzorků. SPM metody fungují na základě měření interakcí (určité fyzikální veličiny) mezi vzorkem (resp. povrchem vzorku) a sondou (resp. hrotem sondy) mikroskopu.

5. Dopln.

Činnost skenovacího tunelového mikroskopu (STM) je založena na tzv. tunelovém jevu. Tento jev je typickým projevem vlnové povahy elektronu. Ve zkratce jde o to, že elektron může s určitou (malou) pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měl dostatečnou energii.

6. Zkus přibližně uvést (buď číselně s příslušnou jednotkou, nebo konkrétní příklad), jaké nejmenší objekty se dají studovat pomocí:

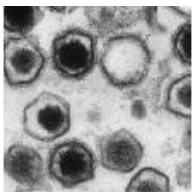
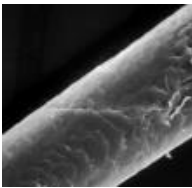
- světelného mikroskopu – cca 200 nm (lze pozorovat např. buňky (i bakteriální), buňčné organely, chromosomy; NE viry)
- elektronového mikroskopu – cca 0,2 nm (TEM až 0,1 nm, SEM 1 nm; tzn. že lze pozorovat např. detaily organel, viry)
- mikroskopů se skenující sondou – cca 0,01 – 0,001 nm (atomární až subatomární rozlišení; lze pozorovat atomy a molekuly a dokonce s nimi manipulovat)

IV.4.4. Přípravné pracovní listy

Úloha 1: První nahlédnutí do nanosvětla

Novou část dějin mikroskopie otevřel německý elektroinženýr, laureát Nobelovy ceny za fyziku **Ernst (1906 – 1988)**, který roku 1931 spolu s Maxem Knollem zkonstruoval první elektronový mikroskop, přesněji řečeno **první transmisní elektronový mikroskop (TEM)**. O dva roky později pak sám zkonstruoval elektronový mikroskop, který umožnil poprvé v lidské historii zobrazit objekty menší než 200 nm, tedy objekty takové, které není možné pozorovat pomocí světelného mikroskopu.

Úkol: Převed' rozměry daných mikroskopických objektů na nanometry. Poté objekty seřaď od největšího po nejmenší. Přečtením písmen ve správném pořadí odhalíš příjmení konstruktéra prvního elektronového mikroskopu.

Mikroskopický objekt	Rozměr objektu	Převod na nm	Pořadí	Tajenka
	ikosaedrální virové částice 150 nm K		1.	
	lidský vlas 80 μm U		2.	
	svazek jednovrstvých uhlíkových nanotubic šířka asi 14 Å A		3.	
	červené krvinky $7 \cdot 10^{-3}$ mm S		4.	
	blecha psí 10^{-3} m R		5.	

Poznámka: Elektronová mikroskopie (EM) je mikroskopická technika, která v principu funguje obdobně jako světelná mikroskopie, pouze s tím rozdílem, že elektronové mikroskopy k zobrazení vzorku využívají místo světla urychlený svazek elektronů. V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop (TEM) a skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop (SEM, příp. REM). Mikroskopy TEM ve vakuu zobrazují velmi tenké vzorky a dosahují rozlišení okolo 0,2 nm. Mikroskopy SEM se používají především k zobrazení povrchu předmětů a mají rozlišení „pouze“ kolem 1 nm. V tabulce jsou použity obrázky získané z TEMu i SEMu (8).

Úloha 2: Průlomové události v mikroskopii 2. poloviny 20. století

Úkol: Do následujícího textu doplň (ve správném pádu) jména a pojmy uvedené v rámečku.

atomární síly, biologie, Gerd Binnig, Christoph Gerber, mikroskopie atomárních sil, mikroskopie skenující sondou, metrologie, Calvin Quate, Heinrich Röhrer, skenovací tunelový mikroskop, tunelový proud, 1986

Během druhé poloviny 20. století byly objeveny přístroje a metody, které způsobily velký rozvoj nanotechnologie. Sestrojena byla zařízení, která umožnila studovat jednotlivé atomy, molekuly a jejich shluky a cílenými zásahy ovlivňovat jejich tvar, velikost a uspořádání. Průlomovou událostí byl **rok 1981**, kdy **G** **B** a **H** **R** v laboratoři IBM v Curychu vynalezli **STM** (Scanning Tunneling Microscope), tj. (někdy překládáno jako rastrovací nebo řádkovací) Tento přístroj umožňuje pozorovat jednotlivé atomy a molekuly a dokonce s nimi manipulovat. Jeho vynálezci za něj **roku** obdrželi **Nobelovu cenu**.

Postupem času byly vytvořeny a zdokonalovány další podobné přístroje a metody. Dnes se soubor experimentálních metod určených k 3D studiu struktury povrchů s atomárním rozlišením označuje jako **SPM** (Scanning Probe Microscopy), tj.

Mezi metody SPM patří kromě STM například také **AFM** (Atomic Force Microscopy), tj. Mikroskop AFM vynalezli **roku 1986** **G** **B** , **C** **Q** a **Ch** **G**

SPM metody fungují na základě měření interakcí mezi povrchem vzorku a hrotem sondy mikroskopu. V případě **STM** je měřenou veličinou , u **AFM** je to měření přitažlivých a odpudivých krátkého a středního dosahu. Z povahy měřené veličiny je jasné, že u **AFM** nemusí být vodivý vzorek ani hrot sondy, což je velkou výhodou této metody oproti **STM**. Na druhou stranu má ale **AFM** nižší rozlišení a není tedy možné získat tak detailní snímky povrchu jako v případě **STM**.

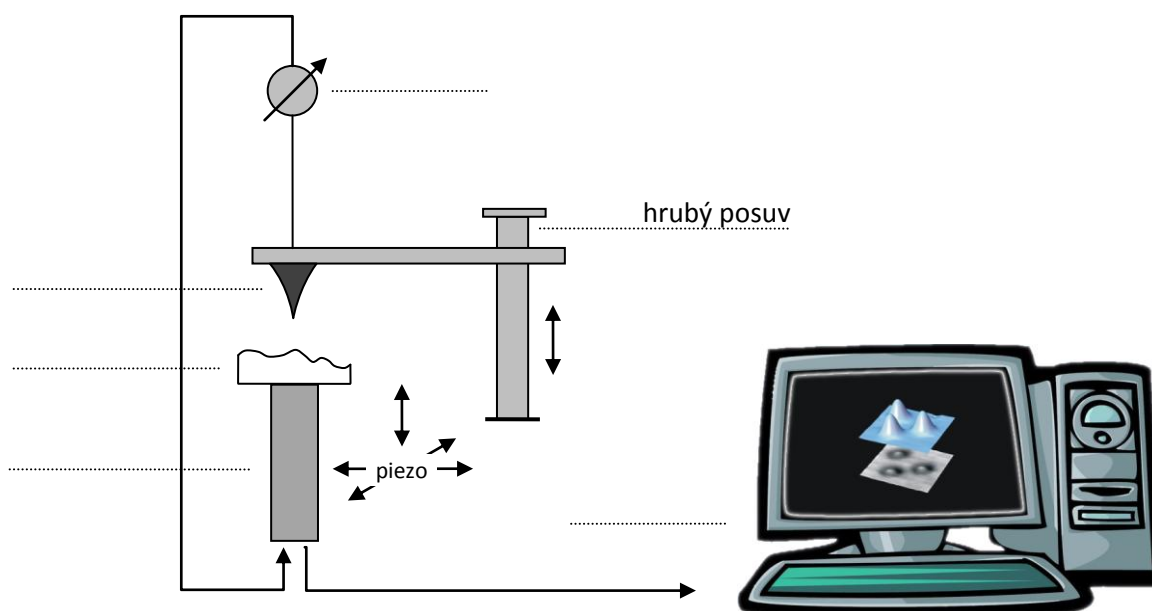
Metody SPM nachází uplatnění v celé řadě fyzikálních i nefyzikálních oborů a technických aplikací. Jsou využívány především ke studiu topografie a vlastností nejrůznějších povrchů a povrchových procesů (chemických reakcí, difúzí, adsorpcí, katalýz apod.). Přístroje SPM se používají v pro přesná rozměrová měření, určování drsnosti povrchu aj. Lze je využít také k úpravě povrchů na atomové úrovni a tvorbě nanočipů. Metody SPM jsou použitelné i v dalších oborech, například v, kde umožňují zobrazovat proteiny, lipidy, nukleové kyseliny i viry a živé buňky.

Úloha 3: Popis SPM

Úkol: Pozorně si přečti následující text a poté vypracuj úkoly a) a b).

Jak už samotný název napovídá, jednou ze základních částí mikroskopu SPM je sonda (tvořená zpravidla ostrým **hrotem** a raménkem), která postupně bod po bodu snímá povrch zkoumaného předmětu (**vzorku**). Sonda (hrot) interakcí se vzorkem mění svůj stav (je vychylována nebo se mění nějaká fyzikální veličina související s interakcí se vzorkem, např. proud). To je snímáno **senzorem**, pracujícím např. na principu výchylky laserového paprsku. Přes obvod zpětné vazby je ovlivňována poloha **skeneru**, který umožňuje pohyb vzorku, a zpravidla pomocí změny napětí na skeneru je výsledný signál přenášen do **počítače**. Ten data vyhodnotí a složením obrazů jednotlivých bodů povrchu vytvoří trojrozměrný obraz povrchu vzorku. Další uspořádání mikroskopu a vlastnosti jeho jednotlivých součástí se mění podle druhu metody SPM, kterou tento přístroj využívá.

a) S pomocí podtržených slov popiš schéma uspořádání SPM mikroskopu.



b) Spoj každou část mikroskopu SPM s příslušnou charakteristikou.

hrot	přivádí hrot do okolí vzorku
hrubý posuv	snímá změnu stavu hrotu
senzor	slouží k měření dat a vytváření obrazu
skener	část sondy, která je v interakci se vzorkem
počítač	piezoelektricky umožňuje pohyb vzorku

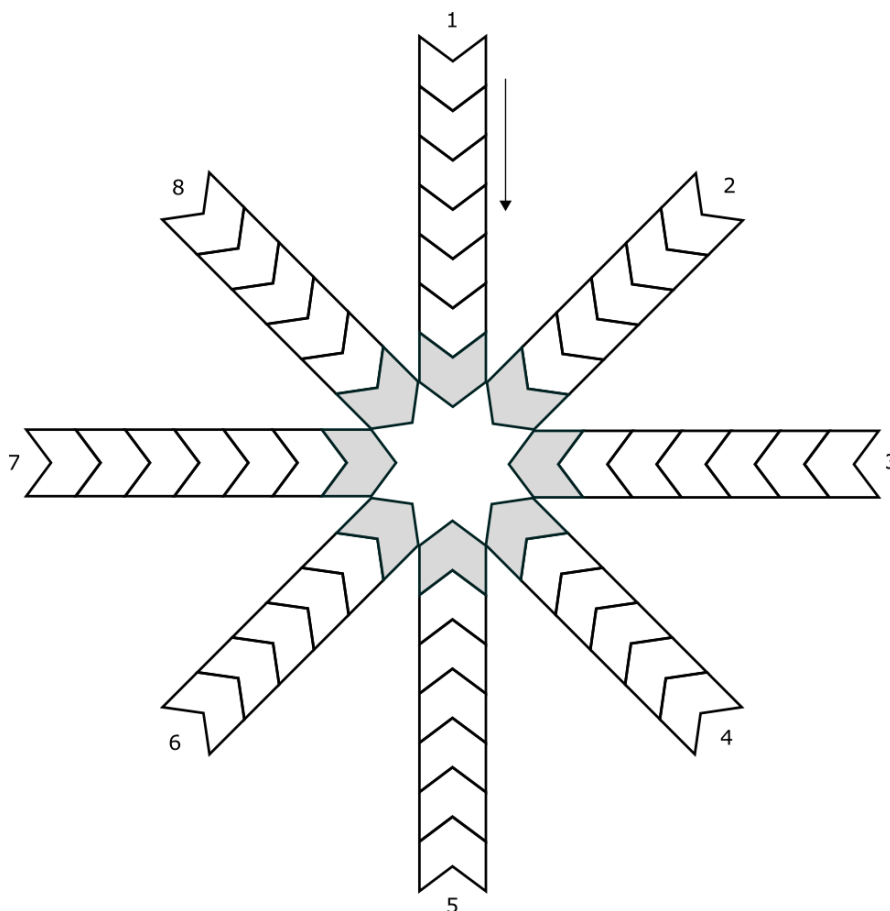
Úloha 4: Záhadný jev

Z naší životní zkušenosti vzniklo pořekadlo „hlavou zed' neprorazíš“. V kvantové fyzice platí jiná filozofie, budeš-li se o to pokoušet například 10^{20} krát, můžeš proniknout na druhou stranu zdi... (25)

V mikro- a nanosvětě se uplatňují jiné zákony, jiná „pravidla hry“, než jaká známe z makrosvěta. V klasické fyzice platí, že částice může překonat určitou bariéru pouze tehdy, pokud k tomu má dostatečnou energii. V mikrosvětě je však podle zákonů kvantové fyziky všechno otázkou pravděpodobnosti. Proto se zde odehrávají jevy, které z hlediska klasické fyziky nemohou nastat. Jedním z nich je i náš „záhadný“ jev, kdy mikročástice mohou s nenulovou pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měly dostatečnou energii. Pravděpodobnost, s jakou k průniku může dojít, je (jak je patrné už z výše uvedeného citátu) velmi malá a s narůstající šířkou bariéry prudce (exponenciálně) klesá.

Činnost STM je založena na tzv. jevu, ke kterému dochází mezi dvěma vodivými tělesy – hrotem sondy mikroskopu a povrchem vzorku, vzdálenými od sebe max. 1 nm. Je-li mezi ostrý vodivý hrot a vodivý (nebo alespoň polovodivý) vzorek přivedeno napětí, elektrony se v jednom směru „protunelovávají“ mezerou a obvodem protéká tzv. **proud**. Jeho velikost je exponenciálně závislá na vzdálenosti mezi hrotem sondy a povrchem vzorku.

Úkol: Vylušti křížovku a zjisti, jaký jev je onou záhadnou vlastností, jež byla využita pro konstrukci mikroskopu STM. Termín z tajenky pak doplň (ve správném pádu) do vynechaných míst předcházejícího textu.

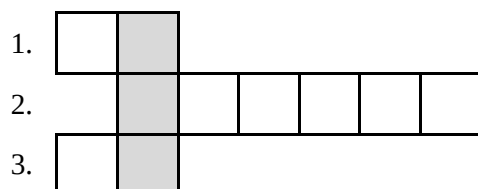


1. Pro funkci STM je nutné, aby vzorek i hrot sondy byly vodivé. Je vyloučeno, aby zkoumaným vzorkem byl elektrický, tedy látka, která nevede elektrický proud.
2. Velikost atomů se pohybuje v řádu angströmů, tedy desetin nanometru. Do jednoho nanometru se „vejde“ např. asi 10 atomů nejjednoduššího prvku, tj.
3. Příjmení anglického fyzika, objevitele elektronu, tvůrce „pudinkového“ modelu atomu, nositele Nobelovy ceny za fyziku za rok 1906. (Nápověda: Jeho iniciály jsou J. J. T.)
4. Hodnota $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ je velikost elementárního (tj. nejmenšího možného, dále nedělitelného) elektrického V atomu jsou jeho nosiči protony (+e) a elektrony (-e).
5. Část prostoru atomu, kde se elektron vyskytuje s největší pravděpodobností.
6. Elektromagnetické vlnění, které se ve vakuu šíří rychlostí asi $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Charakterizuje ho rozmezí vlnových délek 390 – 760 nm.
7. Kvantování energie atomu potvrdil Franckův – experiment. Při tomto pokusu elektrony urychlované anodovým napětím procházejí zředěnými parami rtuti a při nepružných srážkách předávají atomům rtuti svou energii. Pravidelné poklesy anodového proudu ukazují, že tato energie může být předávána pouze v kvantech odpovídajících rozdílům energetických hladin atomu.
8. Elektron je objekt mikrosvětla, který se chová zároveň jako částice i jako vlna. Říkáme proto, že má duální, tzv. korpuskulárně-..... charakter.

Úloha 5: První „psaní“ s atomy

Přístroje SPM umožňují nejen atomy a molekuly zobrazovat, ale také s nimi přesně manipulovat. Donald Eigler a Erhard Schweizer publikovali roku 1990 v časopise Nature pokus, ve kterém poprvé cíleně přemístili 35 atomů xenonu a „napsali“ jimi na krystal niklu třípísmenné logo společnosti, pro niž pracovali: **(tajenka)**. S atomy bylo manipulováno pomocí mikroskopu STM ve velmi vysokém vakuu za teploty blízké absolutní nule (4 K). Od té doby bylo vytvořeno mnoho podobných nápisů.

Úkol: Doplně křížovku a odhal tím slavné logo.



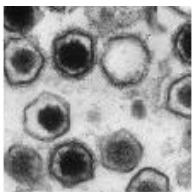
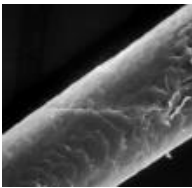
1. Chemická značka prvku, který tvořil podložku, na kterou bylo poprvé „psáno“ jednotlivými atomy.
2. Příjmení jednoho z konstruktérů přístroje, který Eigler s Schweizerem použili k prvnímu „psaní“ s atomy. (Nápověda: Tento muž se podílel také na konstrukci AFM.)
3. Výška každého písmene slavného loga byla asi 50 Å, tj. 5

IV.4.5. Řešení přípravných pracovních listů

Úloha 1: První nahlédnutí do nanosvětla

Novou část dějin mikroskopie otevřel německý elektroinženýr, laureát Nobelovy ceny za fyziku **Ernst Ruska** (1906 – 1988), který roku 1931 spolu s Maxem Knollem zkonstruoval první elektronový mikroskop, přesněji řečeno **první transmisní elektronový mikroskop (TEM)**. O dva roky později pak **Ruska** sám zkonstruoval elektronový mikroskop, který umožnil poprvé v lidské historii zobrazit objekty menší než 200 nm, tedy objekty takové, které není možné pozorovat pomocí světelného mikroskopu.

Úkol: Převed' rozměry daných mikroskopických objektů na nanometry. Poté objekty seřaď od největšího po nejmenší. Přečtením písmen ve správném pořadí odhalíš příjmení konstruktéra prvního elektronového mikroskopu.

Mikroskopický objekt	Rozměr objektu	Převod na nm	Pořadí	Tajenka
	ikosaedrální virové částice 150 nm K	150	1.	R
	lidský vlas 80 μm U	80 000	2.	U
	svazek jednovrstvých uhlíkových nanotrubic šířka asi 14 Å A	1,4	3.	S
	červené krvinky $7 \cdot 10^{-3}$ mm S	7 000	4.	K
	blecha psí 10^{-3} m R	1 000 000	5.	A

Poznámka: Elektronová mikroskopie (EM) je mikroskopická technika, která v principu funguje obdobně jako světelná mikroskopie, pouze s tím rozdílem, že elektronové mikroskopy k zobrazení vzorku využívají místo světla urychlený svazek elektronů. V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop (TEM) a skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop (SEM, příp. REM). Mikroskopy TEM ve vakuu zobrazují velmi tenké vzorky a dosahují rozlišení okolo 0,2 nm. Mikroskopy SEM se používají především k zobrazení povrchu předmětů a mají rozlišení „pouze“ kolem 1 nm. V tabulce jsou použity obrázky získané z TEMu i SEMu (8).

Úloha 2: Průlomové události v mikroskopii 2. poloviny 20. století

Úkol: Do následujícího textu doplň (ve správném pádu) jména a pojmy uvedené v rámečku.

atomární síly, biologie, Gerd Binnig, Christoph Gerber, mikroskopie atomárních sil, mikroskopie skenující sondou, metrologie, Calvin Quate, Heinrich Röhrer, skenovací tunelový mikroskop, tunelový proud, 1986

Během druhé poloviny 20. století byly objeveny přístroje a metody, které způsobily velký rozvoj nanotechnologie. Sestrojena byla zařízení, která umožnila studovat jednotlivé atomy, molekuly a jejich shluky a cílenými zásahy ovlivňovat jejich tvar, velikost a uspořádání. Průlomovou událostí byl **rok 1981**, kdy **Gerd Binnig** a **Heinrich Röhrer** v laboratoři IBM v Curychu vynalezli **STM** (Scanning Tunneling Microscope), tj. **skenovací** (někdy překládáno jako rastrovací nebo řádkovací) **tunelový mikroskop**. Tento přístroj umožňuje pozorovat jednotlivé atomy a molekuly a dokonce s nimi manipulovat. Jeho vynálezci za něj **roku 1986** obdrželi **Nobelovu cenu**.

Postupem času byly vytvořeny a zdokonalovány další podobné přístroje a metody. Dnes se soubor experimentálních metod určených k 3D studiu struktury povrchů s atomárním rozlišením označuje jako **SPM** (Scanning Probe Microscopy), tj. **mikroskopie skenující sondou**.

Mezi metody SPM patří kromě STM například také **AFM** (Atomic Force Microscopy), tj. **mikroskopie atomárních sil**. Mikroskop AFM vynalezli **roku 1986** **Gerd Binnig**, **Calvin Quate** a **Christoph Gerber**.

SPM metody fungují na základě měření interakcí mezi povrchem vzorku a hrotem sondy mikroskopu. V případě **STM** je měřenou veličinou **tunelový proud**, u **AFM** je to měření přitažlivých a odpudivých **atomárních sil** krátkého a středního dosahu. Z povahy měřené veličiny je jasné, že u AFM nemusí být vodivý vzorek ani hrot sondy, což je velkou výhodou této metody oproti STM. Na druhou stranu má ale AFM nižší rozlišení a není tedy možné získat tak detailní snímky povrchu jako v případě STM.

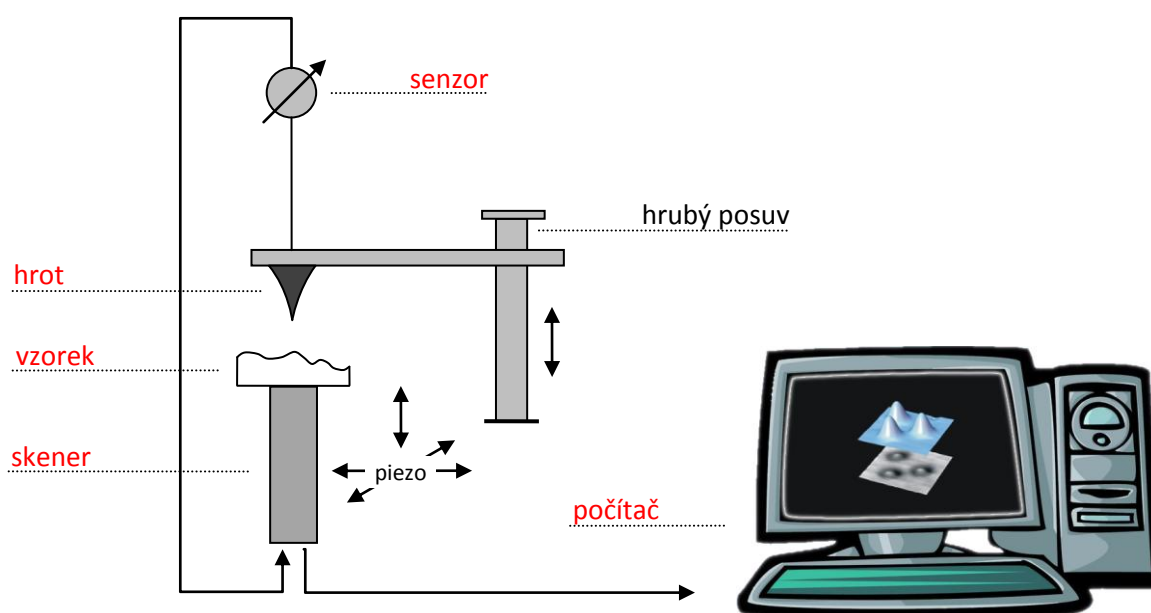
Metody SPM nachází uplatnění v celé řadě fyzikálních i nefyzikálních oborů a technických aplikací. Jsou využívány především ke studiu topografie a vlastností nejrůznějších povrchů a povrchových procesů (chemických reakcí, difúzí, adsorpcí, katalýz apod.). Přístroje SPM se používají v **metrologii** pro přesná rozměrová měření, určování drsnosti povrchu aj. Lze je využít také k úpravě povrchů na atomové úrovni a tvorbě nanočipů. Metody SPM jsou použitelné i v dalších oborech, například v **biologii**, kde umožňují zobrazovat proteiny, lipidy, nukleové kyseliny i viry a živé buňky.

Úloha 3: Popis SPM

Úkol: Pozorně si přečti následující text a poté vypracuj úkoly a) a b).

Jak už samotný název napovídá, jednou ze základních částí mikroskopu SPM je sonda (tvořená zpravidla ostrým **hrotem** a raménkem), která postupně bod po bodu snímá povrch zkoumaného předmětu (**vzorku**). Sonda (hrot) interakcí se vzorkem mění svůj stav (je vychylována nebo se mění nějaká fyzikální veličina související s interakcí se vzorkem, např. proud). To je snímáno **senzorem**, pracujícím např. na principu výchylky laserového paprsku. Přes obvod zpětné vazby je ovlivňována poloha **skeneru**, který umožňuje pohyb vzorku, a zpravidla pomocí změny napětí na skeneru je výsledný signál přenášen do **počítače**. Ten data vyhodnotí a složením obrazů jednotlivých bodů povrchu vytvoří trojrozměrný obraz povrchu vzorku. Další uspořádání mikroskopu a vlastnosti jeho jednotlivých součástí se mění podle druhu metody SPM, kterou tento přístroj využívá.

a) S pomocí podtržených slov popiš schéma uspořádání SPM mikroskopu.



b) Spoj každou část mikroskopu SPM s příslušnou charakteristikou.

hrot	přivádí hrot do okolí vzorku
hrubý posuv	snímá změnu stavu hrotu
senzor	slouží k měření dat a vytváření obrazu
skener	část sondy, která je v interakci se vzorkem
počítač	piezoelektricky umožňuje pohyb vzorku

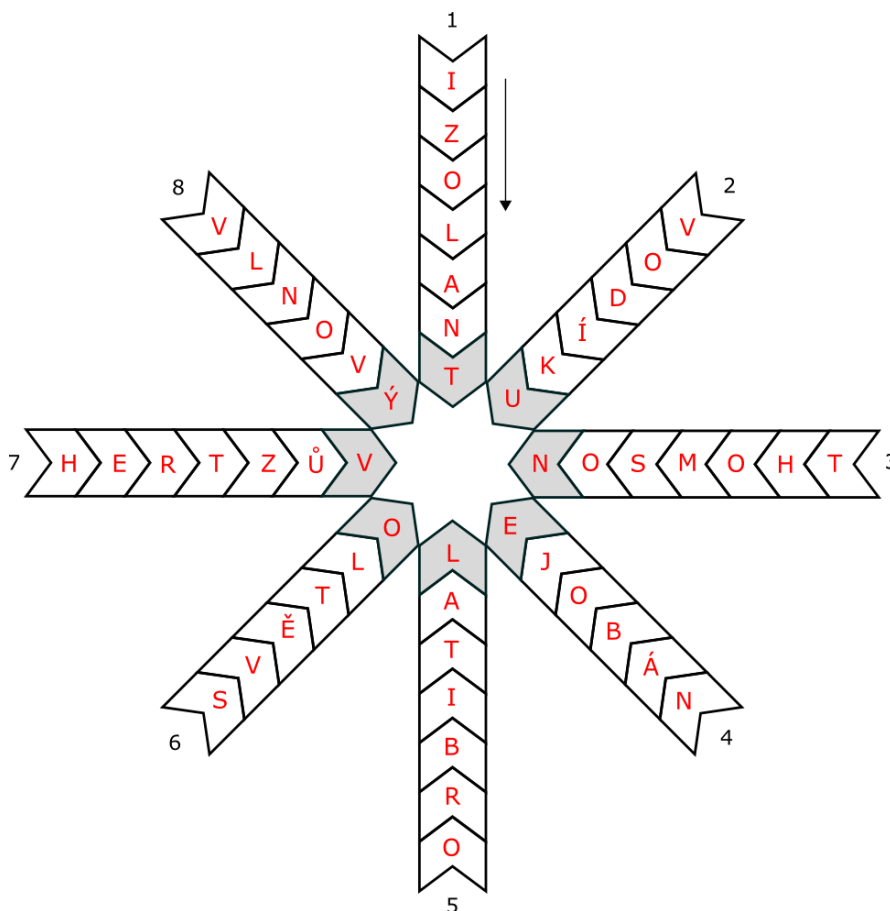
Úloha 4: Záhadný jev

Z naší životní zkušenosti vzniklo pořekadlo „hlavou zed' neprorazíš“. V kvantové fyzice platí jiná filozofie, budeš-li se o to pokoušet například 10^{20} krát, můžeš proniknout na druhou stranu zdi... (25)

V mikro- a nanosvětě se uplatňují jiné zákony, jiná „pravidla hry“, než jaká známe z makrosvěta. V klasické fyzice platí, že částice může překonat určitou bariéru pouze tehdy, pokud k tomu má dostatečnou energii. V mikrosvětě je však podle zákonů kvantové fyziky všechno otázkou pravděpodobnosti. Proto se zde odehrávají jevy, které z hlediska klasické fyziky nemohou nastat. Jedním z nich je i náš „záhadný“ jev, kdy mikročástice mohou s nenulovou pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měly dostatečnou energii. Pravděpodobnost, s jakou k průniku může dojít, je (jak je patrné už z výše uvedeného citátu) velmi malá a s narůstající šířkou bariéry prudce (exponenciálně) klesá.

Činnost STM je založena na tzv. **tunelovém jevu**, ke kterému dochází mezi dvěma vodivými tělesy – hrotem sondy mikroskopu a povrchem vzorku, vzdálenými od sebe max. 1 nm. Je-li mezi ostrý vodivý hrot a vodivý (nebo alespoň polovodivý) vzorek přivedeno napětí, elektrony se v jednom směru „protunelovávají“ mezerou a obvodem protéká tzv. **tunelový proud**. Jeho velikost je exponenciálně závislá na vzdálenosti mezi hrotem sondy a povrchem vzorku.

Úkol: Vylušti křížovku a zjisti, jaký jev je onou záhadnou vlastností, jež byla využita pro konstrukci mikroskopu STM. Termín z tajenky pak doplň (ve správném pádu) do vynechaných míst předcházejícího textu.



1. Pro funkci STM je nutné, aby vzorek i hrot sondy byly vodivé. Je vyloučeno, aby zkoumaným vzorkem byl elektrický **izolant**, tedy látka, která nevede elektrický proud.
2. Velikost atomů se pohybuje v řádu angströmů, tedy desetin nanometru. Do jednoho nanometru se „vejde“ např. asi 10 atomů nejlehčího prvku, tj. **vodíku**.
3. Příjmení anglického fyzika, objevitele elektronu, tvůrce „pudinkového“ modelu atomu, nositele Nobelovy ceny za fyziku za rok 1906. (Nápověda: Jeho iniciály jsou J. J. T.) **(Thomson)**
4. Hodnota $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ je velikost elementárního (tj. nejmenšího možného, dále nedělitelného) elektrického **náboje**. V atomu jsou jeho nosiči protony (+e) a elektrony (-e).
5. Část prostoru atomu, kde se elektron vyskytuje s největší pravděpodobností. **(orbital)**
6. Elektromagnetické vlnění, které se ve vakuu šíří rychlostí asi $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Charakterizuje ho rozmezí vlnových délek 390 – 760 nm. **(světlo)**
7. Kvantování energie atomu potvrdil Franckův – **Hertzův** experiment. Při tomto pokusu elektrony urychlované anodovým napětím procházejí zředěnými parami rtuti a při nepružných srážkách předávají atomům rtuti svou energii. Pravidelné poklesy anodového proudu ukazují, že tato energie může být předávána pouze v kvantech odpovídajících rozdílům energetických hladin atomu.
8. Elektron je objekt mikrosvěta, který se chová zároveň jako částice i jako vlna. Říkáme proto, že má duální, tzv. korpuskulárně-**vlnový** charakter.

Úloha 5: První „psaní“ s atomy

Přístroje SPM umožňují nejen atomy a molekuly zobrazovat, ale také s nimi přesně manipulovat. Donald Eigler a Erhard Schweizer publikovali roku 1990 v časopise Nature pokus, ve kterém poprvé cíleně přemístili 35 atomů xenonu a „napsali“ jimi na krystal niklu třípísmenné logo společnosti, pro niž pracovali: **IBM**. S atomy bylo manipulováno pomocí mikroskopu STM ve velmi vysokém vakuu za teploty blízké absolutní nule (4 K). Od té doby bylo vytvořeno mnoho podobných nápisů.

Úkol: Doplně křížovku a odhal tím slavné logo.

1.	N	I					
2.		B	I	N	N	I	G
3.	N	M					

1. Chemická značka prvku, který tvořil podložku, na kterou bylo poprvé „psáno“ jednotlivými atomy. **(Ni)**
2. Příjmení jednoho z konstruktérů přístroje, který Eigler s Schweizerem použili k prvnímu „psaní“ s atomy. (Nápověda: Tento muž se podílel také na konstrukci AFM.) **(Binnig)**
3. Výška každého písmene slavného loga byla asi 50 Å, tj. 5 **nm**.

IV.4.6. Pracovní listy pro exkurzi

Úloha 1: Elektronová mikroskopie

Úkoly:

a) Dopln.

Elektronový mikroskop (EM) k zobrazování vzorků využívá urychlený svazek záporně nabitých částic –

Ze vzorce $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$

kde h je Planckova konstanta, m je (klidová) hmotnost částice, e je náboj částice a U je vložené napětí,

je patrné, že vlnová délka λ těchto částic se může měnit v závislosti na
.....

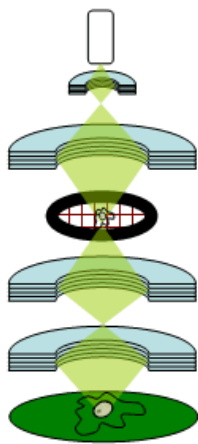
b) V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou tzv. TEM a SEM. Co znamenají zkratky TEM a SEM?

TEM

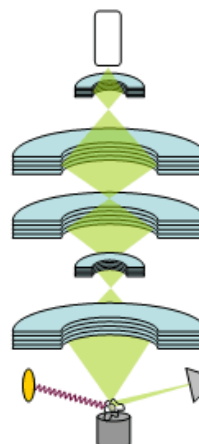
SEM

c) Na obrázcích jsou naznačena schémata mikroskopů TEM a SEM. U každého obrázku napiš, o který mikroskop se jedná, a šipkou označ, kde se nachází vzorek.

(Obrázky byly převzaty z http://steve.gb.com/science/electron_microscopy.html.)



.....



.....

Úloha 2: Mikroskopie skenující sondou

Úkoly:

a) Dopln.

Jako mikroskopie skenující sondou (SPM) se označuje soubor experimentálních metod určených k 3D studiu struktury povrchu vzorků. SPM metody fungují na základě měření interakcí (určité fyzikální veličiny) mezi a mikroskopu.

- b) Dvě nejpoužívanější metody SPM jsou STM a AFM. Jak se v češtině nazývají tyto metody a jaké se u těchto metod měří veličiny?

Zkratka	Název metody	Měřená veličina
STM		
AFM		

Úloha 3: Věřte – nevěřte

Úkol: Rozhodni, zda je uvedené tvrzení pravdivé či nikoliv.

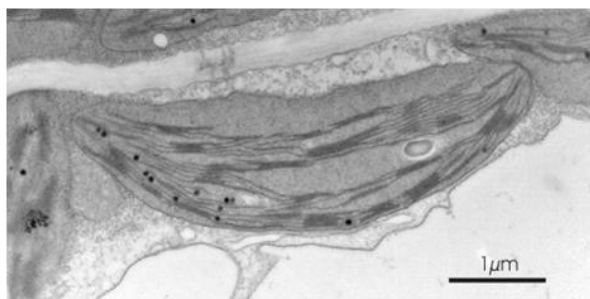
1.	ANO	NE	Většinu virů lze pozorovat pomocí světelného mikroskopu.
2.	ANO	NE	EM umožňuje zobrazovat v různých prostředích (vakuum, vzduch, kapalina), což je výhodou především pro zobrazování biologických vzorků <i>in vitro</i> a <i>in vivo</i> .
3.	ANO	NE	Princip TEM je podobný světelnému mikroskopu, ale využívá svazku elektronů místo světelného paprsku a elektromagnetických čoček místo optických čoček.
4.	ANO	NE	Mikroskopy SEM se používají především k zobrazení povrchu předmětů.
5.	ANO	NE	U SPM není zapotřebí žádného externího zdroje částic (jako jsou elektrony v elektronové mikroskopii nebo světlo ve světelné mikroskopii).
6.	ANO	NE	Pomocí metod SPM lze provést chemickou analýzu povrchu, tj. stanovit, které prvky se nacházejí na studovaném povrchu vzorku.
7.	ANO	NE	U AFM nemusí být (na rozdíl od STM) vodivý ani vzorek, ani hrot sondy.

Úloha 4: Mikroskopy v biologii

Biolog pozoroval jednobuněčnou zelenou řasu *Chlorococcum* (obrázek vlevo) a chloroplast (obrázek vpravo).

(Obrázky byly převzaty z http://sillicasecchidisk.conncoll.edu/LucidKeys/Carolina_Key/html/Chlorococcum_Main.html a <http://www-classic.unigraz.at/pphwww/elmi/tempraeparation.htm>.)

Úkol: Dokážeš určit, které mikroskopy k těmto pozorováním použil?



.....

.....

Úloha 5: Maximální rozlišení aneb všechno má své meze

Lidské oko je schopno vnímat odděleně dva body vzdálené od sebe minimálně 0,2 mm. A právě rozlišovací schopnost, která vyjadřuje nejmenší rozlišitelnou vzdálenost detailů objektu, je limitujícím parametrem každého mikroskopu. Mikroskopy mají mnohem lepší rozlišovací schopnost než lidské oko, a umožňují proto pozorovat oblasti lidskému oku nedostupné.

Úkol: Pokus se doplnit následující tabulku. Nezapomeň uvést správné jednotky.

Mikroskopická technika	Maximální rozlišení
Světelná mikroskopie (SM)	
Elektronová mikroskopie (EM)	
Mikroskopie skenující sondou (SPM)	

Úloha 6: Přišel jsem, viděl jsem ... a vyplnil jsem tabulku

Úkol: Které přístroje sis dnes na exkurzi prohlédl/prohlédla? K čemu se na daném pracovišti používají? Dopln tabulku.

Přístroj	Využití

IV.4.7. Řešení pracovních listů pro exkurzi

Úloha 1: Elektronová mikroskopie

Úkoly:

a) Doplň.

Elektronový mikroskop (EM) k zobrazování vzorků využívá urychlený svazek záporně nabitých částic – **elektronů**.

Ze vzorce $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$

kde h je Planckova konstanta, m je (klidová) hmotnost částice, e je náboj částice a U je vložené napětí,

je patrné, že vlnová délka λ těchto částic se může měnit v závislosti na **vloženém napětí**.

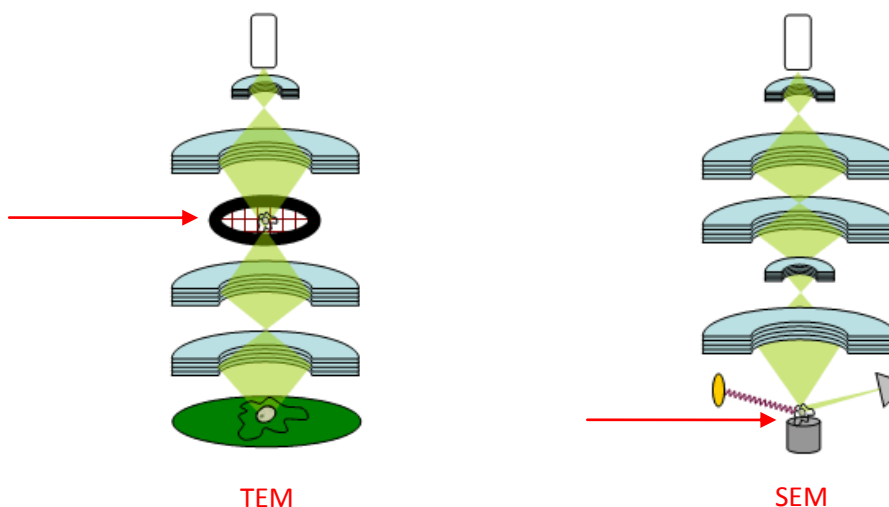
b) V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou tzv. TEM a SEM. Co znamenají zkratky TEM a SEM?

TEM = **transmisní elektronový mikroskop** (z angl. Transmission Electron Microscope)

SEM = **skenovací elektronový mikroskop** (z angl. Scanning Electron Microscope)

c) Na obrázcích jsou naznačena schémata mikroskopů TEM a SEM. U každého obrázku napiš, o který mikroskop se jedná, a šipkou označ, kde se nachází vzorek.

(Obrázky byly převzaty z http://steve.gb.com/science/electron_microscopy.html.)



Úloha 2: Mikroskopie skenující sondou

Úkoly:

a) Doplň.

Jako mikroskopie skenující sondou (SPM) se označuje soubor experimentálních metod určených k 3D studiu struktury povrchu vzorků. SPM metody fungují na základě měření interakcí (určité fyzikální veličiny) mezi **povrchem vzorku** a **hrotem sondy** mikroskopu.

- b) Dvě nejpoužívanější metody SPM jsou STM a AFM. Jak se v češtině nazývají tyto metody a jaké se u těchto metod měří veličiny?

Zkratka	Název metody	Měřená veličina
STM	skenovací tunelová mikroskopie	tunelový proud
AFM	mikroskopie atomárních sil	atomární síly (prostřednictvím výchylky raménka s hrotem)

Úloha 3: Věřte – nevěřte

Úkol: Rozhodni, zda je uvedené tvrzení pravdivé či nikoliv.

1.	~~ANO~~	NE	Většinu virů lze pozorovat pomocí světelného mikroskopu.
2.	~~ANO~~	NE	EM umožňuje zobrazovat v různých prostředích (vakuum, vzduch, kapalina), což je výhodou především pro zobrazování biologických vzorků <i>in vitro</i> a <i>in vivo</i> .
3.	ANO	~~NE~~	Princip TEM je podobný světelnému mikroskopu, ale využívá svazku elektronů místo světelného paprsku a elektromagnetických čoček místo optických čoček.
4.	ANO	~~NE~~	Mikroskopy SEM se používají především k zobrazení povrchu předmětů.
5.	ANO	~~NE~~	U SPM není zapotřebí žádného externího zdroje částic (jako jsou elektrony v elektronové mikroskopii nebo světlo ve světelné mikroskopii).
6.	~~ANO~~	NE	Pomocí metod SPM lze provést chemickou analýzu povrchu, tj. stanovit, které prvky se nacházejí na studovaném povrchu vzorku.
7.	ANO	~~NE~~	U AFM nemusí být (na rozdíl od STM) vodivý ani vzorek, ani hrot sondy.

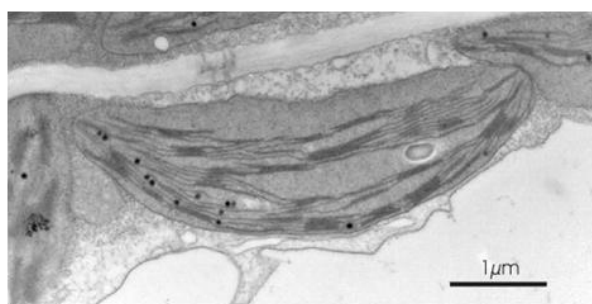
Úloha 4: Mikroskopy v biologii

Biolog pozoroval jednobuněčnou zelenou řasu *Chlorococcum* (obrázek vlevo) a chloroplast (obrázek vpravo).

Úkol: Dokážeš určit, které mikroskopy k těmto pozorováním použil?



světelný mikroskop



TEM

Úloha 5: Maximální rozlišení aneb všechno má své meze

Lidské oko je schopno vnímat odděleně dva body vzdálené od sebe minimálně 0,2 mm. A právě rozlišovací schopnost, která vyjadřuje nejmenší rozlišitelnou vzdálenost detailů objektu, je limitujícím parametrem každého mikroskopu. Mikroskopy mají mnohem lepší rozlišovací schopnost než lidské oko, a umožňují proto pozorovat oblasti lidskému oku nedostupné.

Úkol: Pokus se doplnit následující tabulku. Nezapomeň uvést správné jednotky.

Mikroskopická technika	Maximální rozlišení
Světelná mikroskopie (SM)	cca 200 nm = 0,2 μ m
Elektronová mikroskopie (EM)	cca 0,2 nm (resp. TEM až 0,1 nm; SEM až 1 nm)
Mikroskopie skenující sondou (SPM)	cca 0,01 – 0,001 nm

Úloha 6: Přišel jsem, viděl jsem ... a vyplnil jsem tabulku

Úkol: Které přístroje sis dnes na exkurzi prohlédl/prohlédla? K čemu se na FÚ AV ČR používají? Dopln tabulku.

Přístroj	Využití
STM v ultravysokém vakuu (Omicron VT STM)	studium atomárního uspořádání povrchů, povrchové rekonstrukce, přeskoky atomů, povrchová difuze
AFM (Veeco Dimension 3100)	měření vodivosti slunečních článků
Ramanův mikrospektrometr (Renishaw InVIA 1000)	optická mikroskopie spojená s měřením Ramanovského rozptylu, chemická analýza

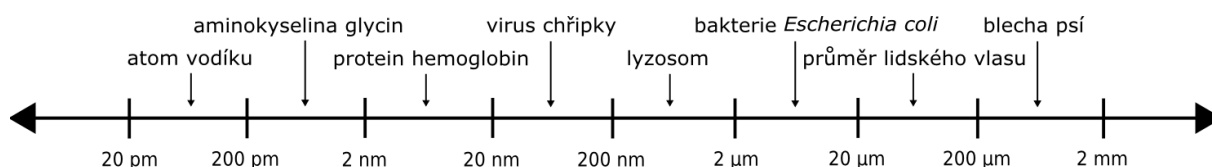
IV.4.8. Posttest

1. Šipkou označ, kde se na ose nachází:

- nejmenší rozměr rozlišitelný za běžných světelných podmínek pouhým okem
- nejmenší rozměr rozlišitelný světelným mikroskopem
- nejmenší rozměr rozlišitelný elektronovým mikroskopem (TEM)

Nápověda: Všechny výše zadané rozměry maximálního rozlišení lze vyjádřit jako $2 \cdot 10^{-x}$ m.

Poznámka: $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$

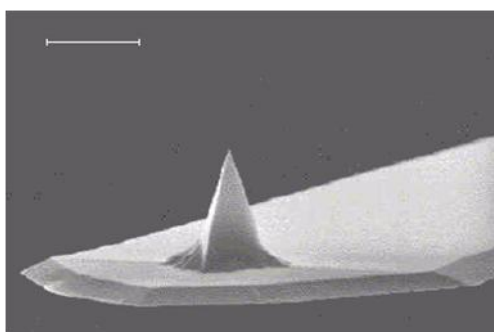


2. Vyber správná tvrzení.

Elektronový mikroskop (EM), stejně jako každý mikroskop, slouží k pozorování a zvětšování velmi malých a blízkých předmětů. EM je konstrukčně podobný světelnému mikroskopu (SM). Na rozdíl od SM však EM využívá k zobrazování předmětů proud **fotonů / elektronů**. Vlnovou délku **fotonu / elektronu** lze regulovat tak, aby byla mnohem **menší / větší** než vlnová délka viditelného světla. Proto je i nejmenší rozměr rozlišitelný EM (tj. rozlišovací mez EM) až 1000x **menší / větší** než u SM.

3. Na obrázku je hrot z Si_3N_4 a pružné raménko (úsečka na obr. představuje 5 μm). Takovýto a podobné hroty používají AFM a STM, které patří do skupiny mikroskopických metod, sloužících k 3D studiu struktury povrchu vzorků, označované jako SPM.

(Obrázek byl převzat z prezentace P. Jandy, 2007.)



a) Jak se nazývá skupina mikroskopických metod označovaná zkratkou SPM?

SPM

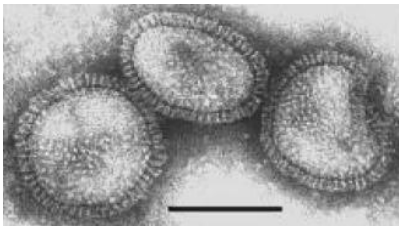
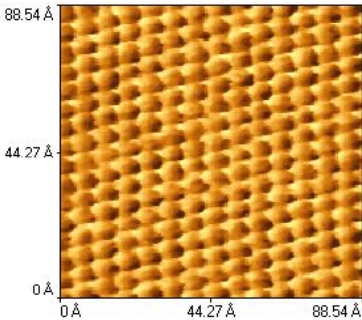
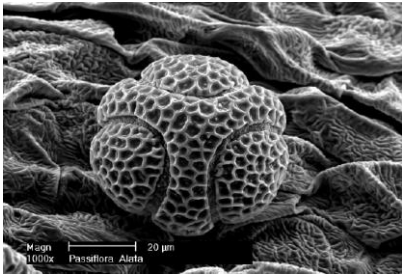
b) Stručně popiš princip funkce těchto metod.

4. Doplň.

Činnost mikroskopu STM je založena na tzv. jevu. Tento jev je typickým projevem vlnové povahy elektronu. Ve zkratce jde o to, že elektron může s určitou (malou) pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měl dostatečnou energii.

5. Rozhodni, pomocí kterého mikroskopu byl daný obrázek pořízený, a zdůvodni proč.

(Obrázky byly převzaty z <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ICTVdb/Images/Safrica/flu3s.htm>, prezentace P. Jandy, 2007 a <http://www.passionflow.co.uk/passiflora-passion-flower-SEM.htm>.)

Mikroskopický objekt	Výběr mikroskopu	Zdůvodnění výběru
 virus chřipky (úsečka představuje 100 nm)	SM x EM	
 povrch slídy	STM x AFM	
 pylové zrno mučenky obří (úsečka představuje 20 μm)	TEM x SEM	

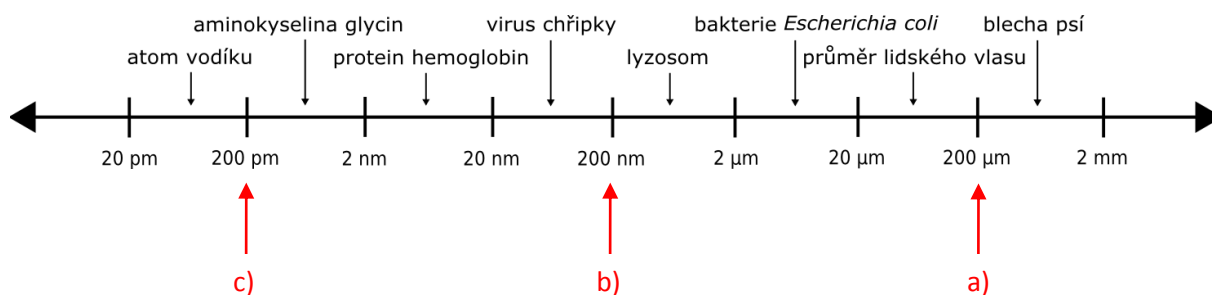
IV.4.9. Řešení posttestu

1. Šipkou označ, kde se na ose nachází:

- nejmenší rozměr rozlišitelný za běžných světelných podmínek pouhým okem
- nejmenší rozměr rozlišitelný světelným mikroskopem
- nejmenší rozměr rozlišitelný elektronovým mikroskopem (TEM)

Nápověda: Všechny výše zadané rozměry maximálního rozlišení lze vyjádřit jako $2 \cdot 10^{-x}$ m.

Poznámka: $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$

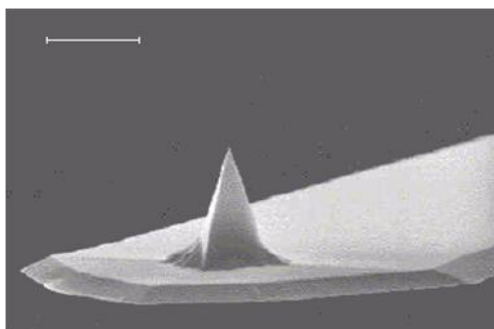


2. Vyber správná tvrzení.

Elektronový mikroskop (EM), stejně jako každý mikroskop, slouží k pozorování a zvětšování velmi malých a blízkých předmětů. EM je konstrukčně podobný světelnému mikroskopu (SM). Na rozdíl od SM však EM využívá k zobrazování předmětů proud ~~fotonů~~ **elektronů**. Vlnovou délku ~~fotonu~~ **elektronu** lze regulovat tak, aby byla mnohem **menší** / **větší** než vlnová délka viditelného světla. Proto je i nejmenší rozměr rozlišitelný EM (tj. rozlišovací mez EM) až 1000x **menší** / **větší** než u SM.

- Na obrázku je hrot z Si_3N_4 a pružné raménko (úsečka na obr. představuje 5 μm). Takovýto a podobné hroty používají AFM a STM, které patří do skupiny mikroskopických metod, sloužících k 3D studiu struktury povrchu vzorků, označované jako SPM.

(Obrázek byl převzat z prezentace P. Jandy, 2007.)



- Jak se nazývá skupina mikroskopických metod označovaná zkratkou SPM?
SPM = **mikroskopie skenující sondou**

- Stručně popiš princip funkce těchto metod.

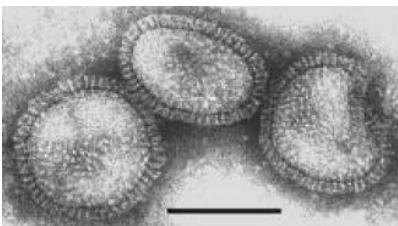
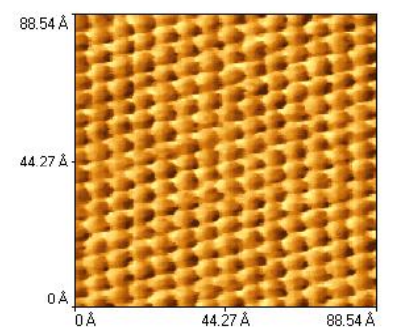
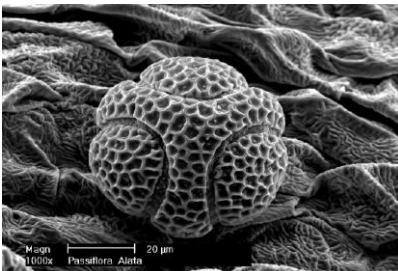
Metody SPM fungují na základě měření interakce (určité fyzikální veličiny) mezi hrotem sondy mikroskopu a povrchem vzorku.

4. Dopln.

Činnost mikroskopu STM je založena na tzv. **tunelovém** jevu. Tento jev je typickým projevem vlnové povahy elektronu. Ve zkratce jde o to, že elektron může s určitou (malou) pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měl dostatečnou energii.

5. Rozhodni, pomocí kterého mikroskopu byl daný obrázek pořízený, a zdůvodni proč.

(Obrázky byly převzaty z <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ICTVdb/Images/Safrica/flu3s.htm>, prezentace P. Jandy, 2007 a <http://www.passionflow.co.uk/passiflora-passion-flower-SEM.htm>.)

Mikroskopický objekt	Výběr mikroskopu	Zdůvodnění výběru
 virus chřipky (úsečka představuje 100 nm)	SM x EM	Většinu virů nelze pozorovat pomocí světelného mikroskopu, protože maximální rozlišení světelného mikroskopu je pouze 200 nm, zatímco velikost virů se pohybuje v rozmezí asi 20 – 200 nm. Uvedený obrázek byl získán z TEMu.
 povrch slídy	STM x AFM	Pomocí STM jsme schopni pozorovat pouze vzorky, které jsou vodivé (metoda je založena na měření tunelového proudu), naproti tomu AFM nevyžaduje vodivost vzorku (měří se přitažlivé a odpuzivé atomární síly). Slída je nevodič.
 pylové zrno mučenky obří (úsečka představuje 20 μm)	TEM x SEM	Mikroskop SEM vytváří pozoruhodné trojrozměrné obrazy objektů s velkou hloubkou ostrosti. SEM se používá především k zobrazení povrchu předmětů. Naproti tomu TEM zobrazuje pouze velmi tenké vzorky.

IV.5. MEZIPŘEDMĚTOVÉ ÚLOHY

Nanotechnologie a nanověda jsou silně interdisciplinární obory. Je zřejmé, že výuka o „nano“ vyžaduje komplexní, tj. multi- a interdisciplinární přístup, a tím i úzkou spolupráci jednotlivých přírodovědných oborů. Důležitost propojování poznatků z různých (nejen) přírodovědných oborů si uvědomují pedagogové již dlouhou dobu a v současnosti je v platných kurikulárních dokumentech (zejména v RVP) kladen důraz na podporu mezipředmětových a mezipředmětových vztahů a souvislostí. Proto v materiálech pro výuku o „nano“ nesmí chybět mezipředmětové učební úlohy mající jak motivační, tak osvojovací charakter. Řadu z nich lze nalézt v pracovních listech vypracovaných pro „Exkurzi do nanosvěta“. Další čtyři mezipředmětové úlohy (zaměřené na mezipředmětové vztahy chemie s fyzikou, geologií a biologií) najdete v tomto oddílu práce, tiskové verze pak na přiloženém CD. Mezipředmětové úlohy je možné řešit ve výuce, např. bezprostředně po výkladu učitele, nebo je možné nechat žáky dohledat správné odpovědi ve výukovém textu či na internetu.

IV.5.1. Mezipředmětové úlohy s tematikou „nano“

Úloha 1: Tajemné poháry

Forma: motivační

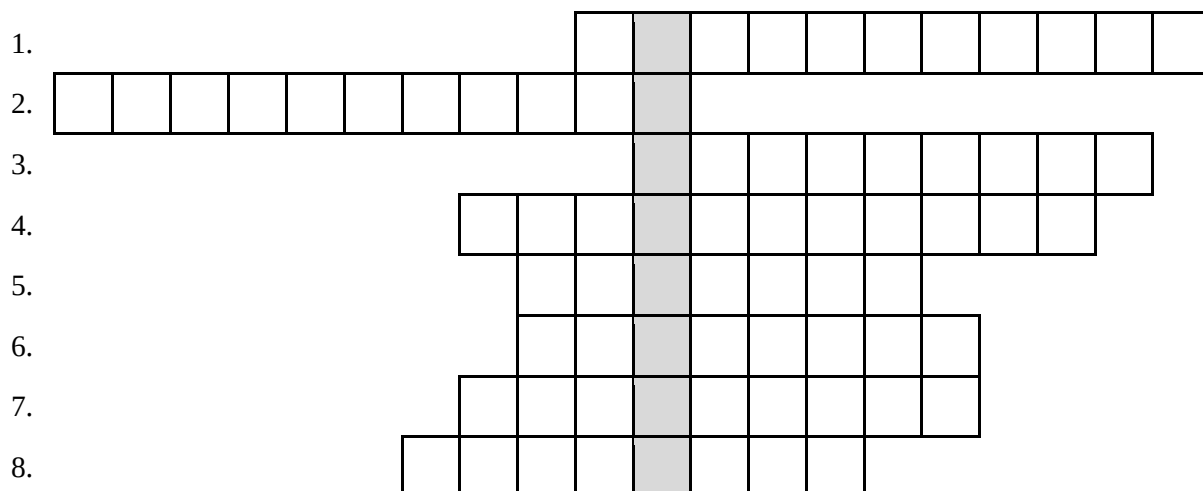
Interdisciplinarita: chemie – fyzika



(Obrázky byly převzaty z <http://www.britishmuseum.org>.)

Diskutované tajemné poháry jsou jednou ze stop dávných „nanotechnologů“. Pocházejí asi ze 4. století našeho letopočtu, tedy z doby, kdy jejich výrobci a uživatelé zřejmě ještě neznali a nepoužívali pojem nanotechnologie. **Poháry byly pojmenovány podle mytologického thráckého krále** Ten je zobrazen na vlysu pohárů, jak je lákán do podsvětí řeckou nymfou Ambrosií, která se proměnila ve vinnou révu. Jev, který nás zajímá, spočívá v neobvyklých barvách pohárů. Poháry jsou totiž příkladem speciálního typu tzv. dichroického skla, které mění barvu v závislosti na umístění světleného zdroje. Pozorujeme-li poháry v odraženém, např. denním světle, jsou zelené (viz obrázek vlevo). Pokud však zdroj světla umístíme dovnitř pohárů, jsou červené (viz obrázek vpravo). Chemickou analýzou bylo zjištěno, že složení skla těchto pohárů je podobné tomu, jaké je používáno dnes. **Za pozorované barevné změny mohou nanokrystaly ze slitiny stříbra a zlata** (v molárním poměru 14:1) o velikosti asi 70 nm. Poháry byly vyrobeny pravděpodobně v Římě, není však známo, jakou technologii římscí skláři použili. Dnes lze poháry vidět v Britském muzeu v Londýně.

Úkol: Vylušti křížovku a odhal tak jméno onoho bájného krále, po němž poháry nesou svůj název.



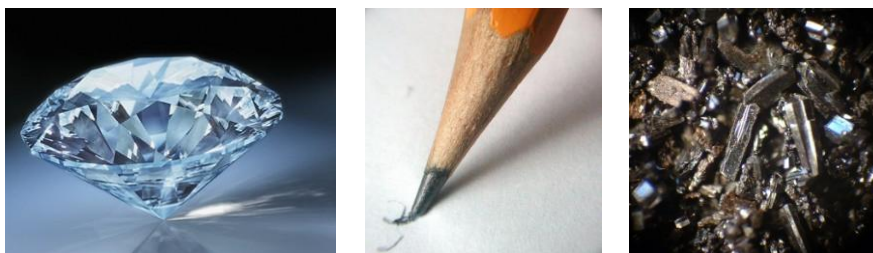
1. Nanočástice (např. ty ze slitiny zlata a stříbra) nelze pozorovat pomocí světelného mikroskopu. K jejich zobrazení musíme použít přístroj s větším rozlišením, to je například mikroskop.
2. V textu byla několikrát použita předpona nano-. Ve vědeckém slova smyslu se tato předpona používá pro vyjádření 10^{-9} , tj. jedné celku.
3. Složení skla tajemných pohárů je podobné moderním sklům – nejhojněji zastoupeným oxidem je SiO_2 , tj. oxid
4. Pro dosažení zajímavých barevných efektů se do skel přidávají prášky zejména ze stříbra, zlata, zinku, kadmia, síry a selenu. Zapiš značky uvedených chemických prvků v daném pořadí.
5. Pokud jsou poháry osvětleny zevnitř, jsou zbarveny
6. Poháry byly pravděpodobně vyrobeny ve 4. století našeho letopočtu v Římě, kde byla úředním jazykem latina. Jak se latinsky řekne stříbro?
7. Unikátní zbarvení skla pohárů je způsobeno přítomností krystalů ze slitiny stříbra a zlata o velikosti několika desítek
8. Předpona nano- se používá jako první část řady slov (zmíněny byly např. nanotechnologie, nanokrystaly). Její význam je malost, drobnost, trpasličtí. Zkus odhadnout, co znamená řecké slovo „nanos“, ze kterého je tato předpona odvozena.

Úloha 2: Alotropické modifikace uhlíku

Forma: osvojovací

Interdisciplinarita: chemie – geologie

Alotropické modifikace představují různou formu uspořádání atomů daného prvku. Jednotlivé modifikace se od sebe liší nejen fyzikálními vlastnostmi (tvrdostí, hustotou apod.), ale také svým chemickým chováním. **Uhlík se vyskytuje v několika alotropických modifikacích** – některé jsou přírodní, další byly připraveny uměle v průběhu posledních dvaceti pěti let a jeví se jako velmi perspektivní nanomateriály.



(Obrázky byly převzaty z <http://images.google.com>.)

Úkol: S použitím následujících pojmů se pokus správně doplnit tabulku.

polovodič; měkký (3,5); diamant; šesterečná; průhledné, silně lámající světlo; grafit (tuha); fullerén (C_{60} – fullerit); nevodič; krychlová; vodič; měkký (0,5 – 2); šedočerné, vrstevnaté; krychlová; hnědočerné, lesklé; nejtvrďší nerost (10)

Alotropická modifikace		Krystalová soustava	Tvrdost	Vzhled krystalů	Elektrická vodivost
přírodní					
přírodní					
umělá					

Úloha 3: Tři Nobelovy ceny za práci v nanosvětě

Forma: motivační, osvojovací

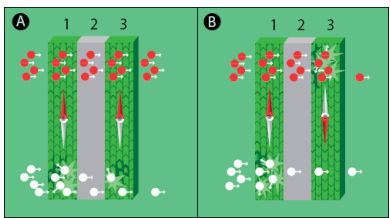
Interdisciplinarita: chemie – fyzika

V posledních třiceti letech zaznamenala nanotechnologie neuvěřitelně rychlý rozvoj. Došlo k několika zásadním objevům v oblastech nanovědy a nanotechnologie, které podstatně posunuly vývoj vědy a techniky, a byly proto odměněny Nobelovou cenou. O které objevy šlo, prozrazují obrázky níže.

Úkol: Spoj každý obrázek se jmény, pojmy a charakteristikami, které se k němu vztahují.

přístroj umožňující pozorovat jednotlivé atomy a molekuly a dokonce s nimi manipulovat

kvantově-mechanický jev, který umožnil výrazné zvýšení hustoty zápisu dat na harddiscích



Albert Fert a Peter Grünberg

první uměle připravená alotropická modifikace uhlíku

Gerd Binnig a Heinrich Röhner

NC 1986

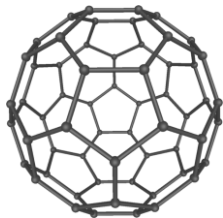
NC 2007

NC 1996

skenovací tunelový mikroskop (STM)



obří magnetický odpor (gigantická magnetorezistence, GMR)



Harold Kroto, Robert Curl a Richard Smalley

fullereny (na obr. fulleren C₆₀)

(Obrázky byly převzaty z <http://images.google.com>.)

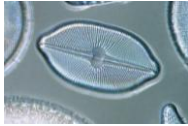
Úloha 4: Biogenní minerály (biominerály)

Forma: osvojovací

Interdisciplinarita: chemie – biologie – geologie

Příklad nanotechnologie můžeme nalézt na pomezí živé a neživé přírody. **Formou přírodní nanotechnologie je totiž biomineralizace, proces, při němž organismy produkují tzv. biogenní minerály (biominerály),** které se stávají součástí jejich organismu a fungují nejčastěji jako opora těla nebo ochrana před predátory. Příroda řídí syntézu těchto minerálů – kontroluje rozměr, tvar, uspořádání krystalů a jejich interakci s organickými sloučeninami, což ovlivňuje výsledné vlastnosti materiálů, jako např. vysokou pevnost, odolnost proti lomu i estetický vzhled. Biomateriály, kompozity biogenních minerálů a organických molekul, jsou v současnosti jednou z hlavních oblastí výzkumu materiálové vědy.

Úkol: Doplň tabulku.

Název biominerálu	Chemický vzorec	Výskyt a funkce
uhličitan vápenatý (kalcit, aragonit)		  tvoří pevné nanostrukturní bloky ve či ve
oxid křemičitý (křemen)		 zpevňuje
hydratovaný oxid křemičitý		 vytváří (tzv. frustulu)
oxid železnato-železitý (magnetit)		 nanokrystaly obalené lipidovou membránou tvoří organely zvané; ty fungují jako střelky kompasu a umožňují magnetotaktickým bakteriím
fosforečnan-hydroxid pentavápenatý (hydroxyapatit)		  je součástí a, nejtvrdších částí lidského těla
monohydrát šťavelanu vápenatého		 v organizmech nežádoucí, protože je hlavní složkou

(Obrázky byly převzaty z <http://images.google.com>.)

IV.5.2. Řešení mezipředmětových úloh s tematikou „nano“

Úloha 1: Tajemné poháry

Forma: motivační

Interdisciplinarita: chemie – fyzika



(Obrázky byly převzaty z <http://www.britishmuseum.org>.)

Diskutované tajemné poháry jsou jednou ze stop dávných „nanotechnologů“. Pocházejí asi ze 4. století našeho letopočtu, tedy z doby, kdy jejich výrobci a uživatelé zřejmě ještě neznali a nepoužívali pojem nanotechnologie. **Poháry byly pojmenovány podle mytologického thráckého krále Lykurga.** Ten je zobrazen na vlysu pohárů, jak je lákán do podsvětí řeckou nymfou Ambrosií, která se proměnila ve vinnou révu. Jev, který nás zajímá, spočívá v neobvyklých barvách pohárů. Poháry jsou totiž příkladem speciálního typu tzv. dichroického skla, které mění barvu v závislosti na umístění světelného zdroje. Pozorujeme-li poháry v odraženém, např. denním světle, jsou zelené (viz obrázek vlevo). Pokud však zdroj světla umístíme dovnitř pohárů, jsou červené (viz obrázek vpravo). Chemickou analýzou bylo zjištěno, že složení skla těchto pohárů je podobné tomu, jaké je používáno dnes. **Za pozorované barevné změny mohou nanokrystaly ze slitiny stříbra a zlata** (v molárním poměru 14:1) o velikosti asi 70 nm. Poháry byly vyrobeny pravděpodobně v Římě, není však známo, jakou technologii římsí skláři použili. Dnes lze poháry vidět v Britském muzeu v Londýně.

Úkol: Vylušti křížovku a odhal tak jméno onoho bájného krále, po němž poháry nesou svůj název.

1.										E	L	E	K	T	R	O	N	O	V	Ý
2.	M	I	L	I	A	R	D	T	I	N	Y									
3.										K	Ř	E	M	I	Č	I	T	Ý		
4.						A	G	A	U	Z	N	C	D	S	S	E				
5.							Č	E	R	V	E	N	Ě							
6.							A	R	G	E	N	T	U	M						
7.							N	A	N	O	M	E	T	R	Ů					
8.							T	R	P	A	S	L	Í	K						

1. Nanočástice (např. ty ze slitiny zlata a stříbra) nelze pozorovat pomocí světelného mikroskopu. K jejich zobrazení musíme použít přístroj s větším rozlišením, to je například **elektronový** mikroskop.

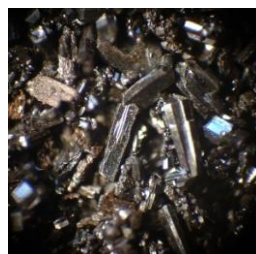
2. V textu byla několikrát použita předpona nano-. Ve vědeckém slova smyslu se tato předpona používá pro vyjádření 10^{-9} , tj. jedné **miliardtiny** celku.
3. Složení skla tajemných pohárů je podobné moderním sklům – nejhojněji zastoupeným oxidem je SiO_2 , tj. oxid **křemičitý**.
4. Pro dosažení zajímavých barevných efektů se do skel přidávají prášky zejména ze stříbra, zlata, zinku, kadmia, síry a selenu. Zapiš značky uvedených chemických prvků v daném pořadí. (**Ag, Au, Zn, Cd, S, Se**)
5. Pokud jsou poháry osvětleny zevnitř, jsou zbarveny **červeně**.
6. Poháry byly pravděpodobně vyrobeny ve 4. století našeho letopočtu v Římě, kde byla úředním jazykem latina. Jak se latinsky řekne stříbro? (**argentum**)
7. Unikátní zbarvení skla pohárů je způsobeno přítomností krystalů ze slitiny stříbra a zlata o velikosti několika desítek **nanometrů**.
8. Předpona nano- se používá jako první část řady slov (zmíněny byly např. nanotechnologie, nanokrystaly). Její význam je malost, drobnost, trpasličtí. Zkus odhadnout, co znamená řecké slovo „nanos“, ze kterého je tato předpona odvozena. (**trpaslík**)

Úloha 2: Alotropické modifikace uhlíku

Forma: osvojovací

Interdisciplinarita: chemie – geologie

Alotropické modifikace představují různou formu uspořádání atomů daného prvku. Jednotlivé modifikace se od sebe liší nejen fyzikálními vlastnostmi (tvrdostí, hustotou apod.), ale také svým chemickým chováním. **Uhlík se vyskytuje v několika alotropických modifikacích** – některé jsou přírodní, další byly připraveny uměle v průběhu posledních dvaceti pěti let a jeví se jako velmi perspektivní nanomateriály.



(Obrázky byly převzaty z <http://images.google.com>.)

Úkol: S použitím následujících pojmů se pokus správně doplnit tabulku.

polovodič; měkký (3,5); diamant; šesterečná; průhledné, silně lámající světlo; grafit (tuha); fullerén (C_{60} – fullerit); nevodič; krychlová; vodič; měkký (0,5 – 2); šedočerné, vrstevnaté; krychlová; hnědočerné, lesklé; nejtvrdší nerost (10)

Alotropická modifikace		Krystalová soustava	Tvrdost	Vzhled krystalů	Elektrická vodivost
přírodní	diamant	krychlová	nejtvrděší nerost (10)	průhledné, silně lámající světlo	nevodič
přírodní	grafit (tuha)	šesterečná	měkký (0,5 – 2)	šedočerné, vrstevnaté	vodič
umělá	fulleren (C ₆₀ – fullerit)	krychlová	měkký (3,5)	hnědočerné, lesklé	polovodič

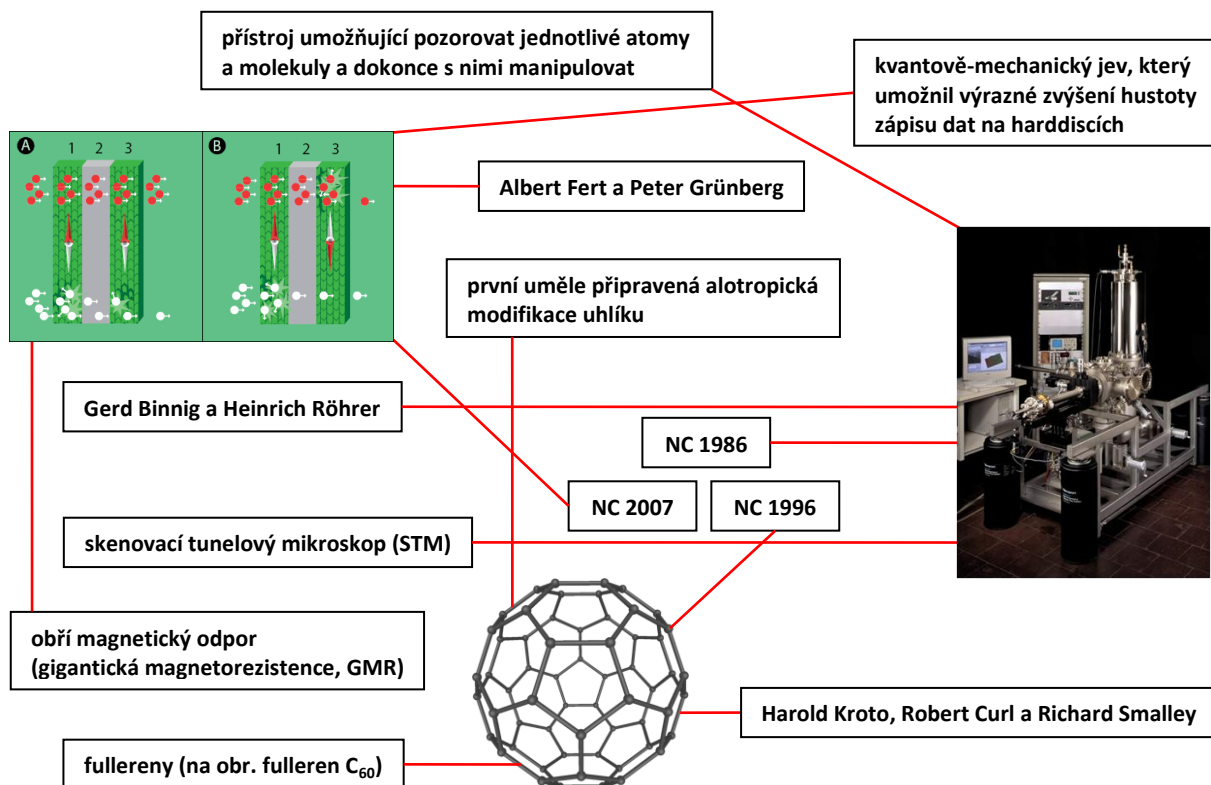
Úloha 3: Tři Nobelovy ceny za práci v nanosvětě

Forma: motivační, osvojovací

Interdisciplinarita: chemie – fyzika

V posledních třiceti letech zaznamenala nanotechnologie neuvěřitelně rychlý rozvoj. Došlo k několika zásadním objevům v oblastech nanovědy a nanotechnologie, které podstatně posunuly vývoj vědy a techniky, a byly proto odměněny Nobelovou cenou. O které objevy šlo, prozrazují obrázky níže.

Úkol: Spoj každý obrázek se jmény, pojmy a charakteristikami, které se k němu vztahují.



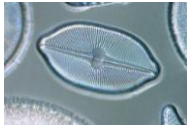
Úloha 4: Biogenní minerály (biominerály)

Forma: osvojovací

Interdisciplinarita: chemie – biologie – geologie

Příklad nanotechnologie můžeme nalézt na pomezí živé a neživé přírody. **Formou přírodní nanotechnologie je** totiž **biomineralizace, proces, při němž organismy produkují tzv. biogenní minerály (biominerály)**, které se stávají součástí jejich organismu a fungují nejčastěji jako opora těla nebo ochrana před predátory. Příroda řídí syntézu těchto minerálů – kontroluje rozměr, tvar, uspořádání krystalů a jejich interakci s organickými sloučeninami, což ovlivňuje výsledné vlastnosti materiálů, jako např. vysokou pevnost, odolnost proti lomu i estetický vzhled. Biomateriály, kompozity biogenních minerálů a organických molekul, jsou v současnosti jednou z hlavních oblastí výzkumu materiálové vědy.

Úkol: Doplně tabulku.

Název biominerálu	Chemický vzorec	Výskyt a funkce
uhličitan vápenatý (kalcit, aragonit)	CaCO_3	  tvoří pevné nanostrukturní bloky ve schránkách měkkýšů (tj. ulitách a lasturách) či ve vaječných skořápkách
oxid křemičitý (křemen)	SiO_2	 zpevňuje pokožku přesličky
hydratovaný oxid křemičitý	$\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$	 vytváří schránku rozsivek (tzv. frustulu)
oxid železnato-železitý (magnetit)	Fe_3O_4	 nanokrystaly obalené lipidovou membránou tvoří orgány zvané magnetosomy ; ty fungují jako střelky kompasu a umožňují magnetotaktickým bakteriím orientaci (ve vodním prostředí)
fosforečnan-hydroxid pentavápenatý (hydroxyapatit)	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ resp. $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$	  je součástí kostí a zubů , nejtvrdších částí lidského těla
monohydrát šťavelanu vápenatého	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	 v organizmech nežádoucí , protože je hlavní složkou močových kamenů

IV.6. TESTOVÉ POLOŽKY

Jako evaluační nástroj je možné použít dva testy; každý obsahuje deset testových položek vždy s právě jednou správnou odpovědí. Tiskové verze jednotlivých testů jsou ve formátu pdf uloženy na CD.

První sada testových položek široce pokrývá oblast nanotechnologií. Jak bude uvedeno v kap. V.1. Poznámky z realizace projektu, „Test – nanotechnologie“ byl zadán a vyhodnocen v rámci projektu „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“ uskutečněné na Malostranském gymnáziu v Josefské. Následně byl test doplněn prezentací s komentáři k jednotlivým snímkům. Časová náročnost testu s prezentací je 45 – 60 minut. Prezentace je ve formátech pptx a pdf uložena na přiloženém CD.

Druhá sada testových položek je zaměřena na mikroskopy (světelný, elektronové a mikroskopy se skenující sondou) a lze ji využít např. jako alternativu k posttestu v rámci „Exkurze do nanosvěta“.

IV.6.1. Test – nanotechnologie

1. **Lidský vlas je široký asi 80 μm , tj.:**
 - a) 0,08 nm
 - b) 8 nm
 - c) 800 nm
 - d) 80 000 nm
2. **Některé biologické materiály lze klasifikovat jako nanostruktury či nanočástice (tedy jako subjekty o velikosti v přibližném rozmezí od 1 do 100 nm). Mezi přirozené nanostruktury patří např.:**
 - a) chloroplast
 - b) protein hemoglobin
 - c) molekula vody
 - d) červená krvinka
3. **Hmota v měřítku nanometrů může projevovat neobvyklé fyzikální, chemické a biologické vlastnosti, které jsou využitelné v praxi. Rozhodni, které z následujících tvrzení ve většině případů není pravdivé:**
 - a) s klesající velikostí částic dochází k poklesu bodu tání
 - b) zmenšení velikosti částic má za následek zvýšenou chemickou reaktivitu
 - c) zmenšení velikosti částic má za následek zmenšení povrchové plochy částic
 - d) oblast, ve které dochází k maximální absorpci fotonů, se liší pro různě velké částice, a proto se například různě velké nanočástice zlata mohou jevit jako červené, zlaté nebo modré

- 4. Nanočástice a nanostruktury lze pozorovat:**
- pouhým okem, lupou či světelným mikroskopem
 - lupou, světelným a elektronovým mikroskopem
 - světelným a elektronovým mikroskopem
 - mikroskopem se skenující sondou a elektronovým mikroskopem
- 5. Příroda umění nanotechnologie zná a ovládá přinejmenším několik milionů let. Při tom pro vytváření biologických struktur nepoužívá:**
- hierarchické sestavování z atomů a molekul způsobem bottom-up
 - cílenou miniaturizaci způsobem top-down
 - samosestavování (self-assembly)
 - samoorganizaci (self-organization)
- 6. Vlastností hmoty závisejících na velikosti člověk nevědomky využívá po staletí. Příkladem mohou být Lykurgovy poháry pocházející asi ze 4. století našeho letopočtu. Tyto poháry obsahují nanočástice zlata a stříbra, které způsobují:**
- unikátní zbarvení skla (v denním světle jsou zelené; pokud je však zdroj světla umístěn dovnitř pohárů, jsou červené)
 - že poháry mají baktericidní a fungicidní vlastnosti
 - nerozbitnost jejich skla
 - že Lykurgovy poháry jsou desetkrát lehčí než poháry vyrobené ze skla obdobného složení neobsahujícího nanočástice
- 7. Jedním z průkopníků nanotechnologie (NT) byl americký fyzik, nositel Nobelovy ceny. V polovině 20. století poukázal na skutečnost, že příroda pracuje na úrovni atomů a molekul a předpovídal, že v budoucnosti člověk dokáže sestavovat miniaturní zařízení schopná manipulovat s jednotlivými atomy. Řekl mimo jiné: „Zákony fyziky, jak mohu posoudit, nejsou proti možnosti manipulovat s věcmi atom po atomu. Není to pokus porušit žádný zákon, je to něco, co může být v zásadě uděláno.“ Tento muž předvídal techniky, které budou schopné vytvořit integrované obvody a dopady, které to bude mít na výpočetní techniku. Představoval si, jak by bylo možné zapsat celou encyklopedii Britannica na špendlíkovou hlavičku a mluvil o používání elektronových mikroskopů pro zapisování obrovských množství informací na velmi malé plochy. Mnoho jeho předpovědí se splnilo a jsou aspekty toho, co dnes nazýváme jako NT. Na jeho počest je každoročně udělována cena za přínos v oboru NT. Jeho jméno je:**
- Ernst Ruska
 - Richard Feynman
 - Eric Drexler
 - Max Planck
- 8. První uměle připravenou alotropickou modifikací uhlíku byla/byly roku 1985:**
- uhlíková nanopěna
 - saze
 - fullereny
 - uhlíkové nanotrubic
- 9. Samočisticí vrstvy na povrchu různých materiálů např. na karoseriích automobilů, střeších a fasádách budov či na dopravním značení využívají chemických vlastností nanočástic jednoho oxidu. Tenká vrstva daného oxidu působí jako takzvaný fotokatalyzátor – když na něj posvítíme ultrafialovým zářením (jež je složkou slunečního svět-**

la), dojde k chemické reakci a organické látky (včetně např. buněčných stěn bakterií) se rozkládají na oxid uhličitý a vodu. Diskutovaným oxidem je:

- a) oxid titaničitý
- b) oxid železitý
- c) oxid křemičitý
- d) oxid železnato-železitý

10. Česká republika má zásluhou Technické univerzity v Liberci patent v oblasti NT. Tamní odborníci pod vedením profesora Oldřicha Jirsáka totiž roku 2003 jako první na světě vyvinuli a patentovali technologii, která umožňuje výrobu netkaných nanovláknenných textilií (tvořených vláken o průměru 50 – 500 nm) v průmyslovém měřítku. Tato unikátní výrobní technologie byla nazvána:

- a) Nanotex
- b) Nanofibre
- c) Nanoweb
- d) Nanospider

IV.6.2. Řešení testu – nanotechnologie

1. d), 2. b), 3. c), 4. d), 5. b), 6. a), 7. b), 8. c), 9. a), 10. d)

IV.6.3. Test – mikroskopy

1. Světelným mikroskopem lze rozlišit dva body vzdálené nejméně:

- a) cca 20 μm
- b) cca 2 μm
- c) cca 0,2 μm
- d) cca 0,02 μm

2. Elektronovým mikroskopem lze rozlišit dva body vzdálené nejméně:

- a) cca 20 nm – 100 nm
- b) cca 2 nm – 20 nm
- c) cca 0,2 nm – 2 nm
- d) cca 0,02 nm – 0,2 nm

3. Pomocí světelného mikroskopu nelze pozorovat:

- a) bakterii *Escherichia coli*
- b) virus chřipky
- c) vakuolu
- d) buňky pokožky cibule

4. Konstruktérem prvního elektronového mikroskopu byl:

- a) Richard Feynman
- b) Gerd Binnig
- c) Heinrich Röhler
- d) Ernst Ruska

5. Činnost skenovacího tunelového mikroskopu (STM) je založena na tzv.:
- a) elektronovém jevu
 - b) skenovacím jevu
 - c) tunelovém jevu
 - d) sondovém jevu
6. Roku 1990 byl proveden pokus, ve kterém se pomocí STM poprvé podařilo přesně manipulovat jednotlivými atomy a napsat jimi slavný nápis:
- a) IBM
 - b) STM
 - c) ATOM
 - d) AMD
7. Mikroskopy STM umožňují zobrazit:
- a) libovolné vzorky
 - b) vodivé vzorky
 - c) nevodivé vzorky
 - d) dokonale tuhé vzorky
8. K vytváření pozoruhodných trojrozměrných obrazů povrchu objektů s velkou hloubkou ostrosti se zejména v biologii používá:
- a) světelný mikroskop
 - b) STM
 - c) TEM
 - d) SEM
9. Hrot (např. z Si_3N_4) a pružné raménko (cantilever) k zobrazování vzorku používá:
- a) světelný mikroskop
 - b) AFM
 - c) TEM
 - d) SEM
10. Průměr červené krvinky je asi $7 \cdot 10^{-3}$ mm, tj.:
- a) 7 μm
 - b) 70 000 nm
 - c) $7 \cdot 10^{-2}$ cm
 - d) 0,007 μm

IV.6.4. Řešení testu – mikroskopy

1. c), 2. c), 3. b), 4. d), 5. c), 6. a), 7. b), 8. d), 9. b), 10. a)

IV.7. JEDNODUCHÉ DEMONSTRACE S TEMATIKOU „NANO“

Tato kapitola nabízí středoškolským pedagogům jednoduché způsoby, jak žákům na SŠ:

- přiblížit velikost nanoobjektů (demonstrace 1)
- názorně vysvětlit některé základní vlastnosti hmoty v měřítku nanometrů (demonstrace 2 a 3)
- předvést princip funkce přístrojů SPM (demonstrace 4 a 5)

Názorně-demonstrační metody by měly zaujímat významné místo ve výuce přírodovědných předmětů. Umožňují totiž, aby výuka byla dostatečně konkrétní, přesvědčivá a zajímavá. Níže uvedené výukové demonstrace mají (stejně jako nanotechnologie) interdisciplinární charakter. U každé demonstrace jsou uvedeny předměty, v rámci nichž lze demonstraci provést. Dále je napsán seznam nutných pomůcek (příp. i chemikálií), teoretický základ a popis průběhu. Demonstrace 2 a 3 mají přímou návaznost a doporučuji je proto provádět společně. Demonstrace 4 a 5 byly s laskavým dovolením převzaty z přednášky RNDr. Antonína Fejfara, CSc. „Dotek atomu“.

Demonstrace 1: Jak velké je „nano“?

Předměty: přírodovědný seminář, chemie, biologie

Pomůcky: provázek délky 1 m, kuličky na prádlo, čtvrtky s nápisy nebo obrázky (např. molekula vody, protein hemoglobin, lidský vlas (průměr), bakterie E. coli (délka), virus chřipky, DNA (šířka), chloroplast, červená krvinka, blecha psí atp.), kartičky s označením 1 nm, 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm, 50 nm, 60 nm, 70 nm, 80 nm, 90 nm, 100 nm

Teoretický základ:

Předpona nano- pochází z řeckého slova „nanos“, které znamená trpaslík. Jedná se o první část složených slov mající význam malost, drobnost, trpaslictví. Ve vědeckém slova smyslu se předpona nano- používá pro vyjádření miliardtiny celku, tj. 10^{-9} . V případě jednoho nanometru (1 nm) tedy jde o miliardtinu metru (10^{-9} m), neboli miliontinu milimetru (10^{-6} mm). Oblast nanosvěta je území částic a struktur, které se nachází mezi světem jednotlivých atomů a makrosvětem. Rozsah velikostí, o němž je zde řeč, je v intervalu mezi asi 1 nm až 100 nm. Nanočástice a nanostruktury se obvykle definují právě jako subjekty o velikosti v rozmezí od 1 do 100 nm a jsou základními stavebními jednotkami nanomateriálů.

Průběh demonstrace s popisem:

Provázek horizontálně upevníme na tabuli či na zeď. Na příslušná místa provázku kolíčky připneme kartičky s označením rozměrů 1 – 100 nm a to tak, že 1 nm odpovídá 1 cm, 10 nm odpovídá 10 cm, atd. Provázek v rozmezí 1 cm až 100 cm reprezentuje rozsah nanosvěta (tedy 1 – 100 nm). Poté rozdělíme žáky do skupin po 3 – 4 a do každé skupiny dáme kartičky s názvy (příp. obrázky) jednotlivých objektů, které by žáci měli zkusit nejprve seřadit podle velikosti a pak vybrat, které z objektů mají velikost v rozměru „nano“. Následně učitel se žáky prochází správné řešení a do příslušných míst na osu kolíčkem připevní vybrané objekty.

Řešení:

Srovnání objektů podle vzrůstající velikosti: molekula vody (0,3 nm), DNA (šířka 2 nm), protein hemoglobin (7 nm), virus chřipky (60 nm), chloroplast (4 μm), bakterie E. coli (délka 2 – 6 μm), červená krvinka (7 μm), lidský vlas (průměr cca 80 μm), blecha psí (1 mm).

Do nanosvěta spadá šířka DNA (v našem měřítku 2 cm), protein hemoglobin (7 cm) a virus chřipky (60 cm). Pod hranicí nanosvěta najdeme vodu (0,3 cm), nad 100 nm se naopak nachází rozměry chloroplastu (v našem případě by velikost chloroplastu byla 40 m, to je dvojnásobek délky třídy), bakterie E. coli (v našem přepočtu by byla velká 20 – 60 m), červené krvinky (v přepočtu 70 m), průměr vlasu (který by byl cca 800 m, tj. jako dva běžecské ovály) a velikost blechy psí (byla by velká úcty hodných 10 km! – jakpak by byl asi veliký pes, který by ji nosil v kožichu?!).

Shrnutí a doplnění:

Atomy jsou menší než jeden nanometr (velikost atomů se pohybuje v řádu angströmů ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$) – do jednoho nanometru se „vejde“ asi šest atomů uhlíků či deset atomů vodíku). Také některé jednoduché molekuly (jako např. molekula vody, aminokyseliny či glukóza) leží svojí velikostí pod hranicí nanosvěta. Mnoho biologických materiálů je ovšem možné klasifikovat jako přirozené nanostruktury či nanočástice. Jedná se o molekuly, které obsahují desítky až stovky atomů a patří mezi ně např. DNA (široká asi 2 nm) či bílkoviny (obvykle se vyskytují v rozměrech mezi asi 4 až 50 nm). Viry (typicky s rozměry od 20 do 200 nm) by se daly označit jako nanočástice. Na druhou stranu velikost organel a buněk (prokaryotních i eukaryotních) rozměrově přesahuje rámec nanosvěta. (Eukaryotní, např. rostlinné a živočišné buňky jsou obvykle velké 5 – 20 μm . Velikost prokaryotních buněk (tj. bakterií a sinic) se nejčastěji pohybuje mezi 1 – 10 μm . Organely, tj. ohraničené útvary eukaryotních buněk, mají rozměry v rozmezí desetin až jednotek mikrometrů.)

Demonstrace 2: Čím menší velikost částic, tím větší povrch

Předměty: přírodovědný seminář, chemie, matematika

Pomůcky: prezentace-NT snímek 14 nebo sada krychlí se zmenšující se hranou (např. 1x krychle o $l = 10$ cm, 8x krychle o $l = 5$ cm, 64x krychle o $l = 2,5$ cm)

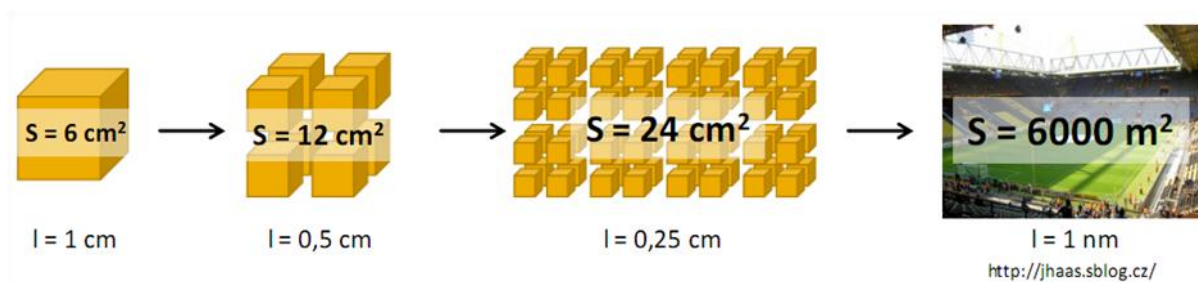
Teoretický základ:

Přímým důsledkem zmenšení velikosti je obrovský nárůst povrchové plochy částic.

Průběh demonstrace s popisem:

Jak dokumentuje obr. 17 (či snímek 14 prezentace-NT), dle vzorce $S = 6 \times l^2$ (kde S je povrch krychle a l je délka její hrany) snadno spočítáme, že povrch krychle o hraně délky 1 cm je 6 cm^2 . Rozdělením této krychle na 8 krychlí o poloviční délce hrany (tj. o $l = 0,5$ cm), vzroste celkový povrch dvakrát, tedy na 12 cm^2 . Podobně při dalším dělení vzrůstá při hraně krychle délky 0,25 cm povrchová plocha na 24 cm^2 . A tak dále až rozdělením krychle o hraně délky 1 cm na krychličky o hranách délky 1 nm naroste celkový povrch na rozměr plochy fotbalového hřiště! Pozn.: Vzorec pro výpočet povrchů krychlí o hraně délky l vzniklých dělením krychle o hraně délky 1 cm je: $S = 6 \times l^2 \times (1 \cdot 10^{-2}/l)^3 \text{ v m}^2$; pro 1 nm tedy $S = 6 \times (1 \cdot 10^{-9})^2 \times (1 \cdot 10^{-2}/1 \cdot 10^{-9})^3 = 6000 \text{ m}^2$.

Výhodou je použití animovaného snímku z prezentace-NT (příp. sady krychlí), kdy žáci sami mohou postupně provádět požadované výpočty a následně si ověřit správnost řešení.



Obrázek 17: Důsledkem zmenšení velikosti je nárůst povrchové plochy částic. Obrázek byl převzat z „prezentace-NT“ uložené na CD.

Demonstrace 3: Čím menší velikost částic, tím rychlejší reakce

Předměty: přírodovědný seminář, chemie

Pomůcky: dvě demonstrační zkumavky (+ stojan), lžička

Chemikálie: granule zinku, práškový zinek, HCl ($w = 10 \%$)

Teoretický základ:

Již jsme si vysvětlili, že při zmenšování velikosti částic dochází k obrovskému nárůstu jejich povrchové plochy. Nyní si ukážeme, že zvětšení povrchové plochy (na jednotku hmotnosti) má za následek zvýšenou chemickou reaktivitu. Proto se nanomateriály jako třeba zeolity používají jako výborné katalyzátory.

Průběh demonstrace s popisem:

Do dvou demonstračních zkumavek nalijeme vždy 5 cm³ 10% HCl. Poté současně do jedné zkumavky vložíme granuli zinku, do druhé lžičku práškového zinku. Pozorujeme, že v obou zkumavkách dochází k reakci a uvolňují se bublinky bezbarvého plynu ($\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + \text{ZnCl}_2$). V případě práškového zinku však dochází k rychlejšímu uvolňování bublinek vodíku. Práškový zinek tedy reaguje rychleji, což je důsledkem toho, že má oproti granulím zinku větší povrch.

Demonstrace 4: Princip funkce mikroskopu SPM

Předměty: přírodovědný seminář, fyzika

Pomůcky: proložka od vajíček, propiska (nebo jiný předmět s hrotem)

Teoretický základ:

SPM (tj. metody mikroskopie skenující sondou) fungují na základě postupného měření interakcí (určité fyzikální veličiny) mezi povrchem vzorku a hrotem sondy mikroskopu. V případě STM (skenovací tunelové mikroskopie) je měřenou veličinou tunelový proud, u AFM (mikroskopie atomárních sil) je to měření přitažlivých a odpuzivých atomárních sil krátkého a středního dosahu. Činnost SPM si můžeme představit tak, že velmi tenký hrot sondy mikroskopu zkoumá povrch předmětu podobně jako slepec, který používá slepeckou hůl (pouze s tím rozdílem, že hrot sondy mikroskopu se většinou nedotýká povrchu, ale jenom jej objíždí v malé vzdálenosti – maximálně 1 nm, tj. šířky pouhých několika atomů).

Průběh demonstrace s popisem:

Princip funkce mikroskopu SPM lze demonstrovat např. tak, jak to na obrázku 18 provádí RNDr. Antonín Fejfar, CSc. z Fyzikálního ústavu AV ČR. Proložka od vajíček demonstruje povrch zkoumaného předmětu a hrot tužky představuje hrot sondy mikroskopu, kterým učitel postupně pohybuje a obkresluje v několika centimetrové vzdálenosti reliéf povrchu proložky.

Díky používání velmi ostrých hrotů dosahují přístroje SPM rozlišení až 0,001 nm. Tato přesnost je pro představu podobná tomu, kdybychom povrch ulice Champs-Élysées zkoumali ze vzdálenosti 1 mm Eiffelovou věží otočenou vrcholem, jakožto ostrým hrotem, dolů.



Obrázek 18: RNDr. Antonín Fejfar, CSc. s použitím proložky od vajec a propisky demonstruje princip funkce SPM. Ačkoliv použitý obrázek pochází ze semináře Heuréka pořádaného v lednu 2004 pro učitele fyziky, obdobnou demonstraci viděli např. také žáci Gymnázia Opatov během „Exkurze do nanosvěta“ uskutečněné v květnu 2008 na FÚ AV ČR. Obrázek byl převzat z (38).

Demonstrace 5: Princip funkce mikroskopu SPM (ještě jednou ☺)

Předměty: přírodovědný seminář, fyzika

Pomůcky: zpětný projektor (Meotar se spodním podsvícením), vana s vodou, průhledná (plastová) proložka (např. od Kinder vajíček), tuš (nebo černý čaj), sklenička (s rovným dnem), příp. skleněné kuličky nebo kamínky na zatížení proložky

Teoretický základ:

U metod SPM měřená veličina (např. proud u STM) prudce závisí na vzdálenosti mezi sondou mikroskopu a vzorkem. Pokud je hrot sondy od vzorku příliš vzdálen (v praxi více než 1 nm), není možné změřit příslušnou interakci a vizualizovat atomy vzorku. Naopak, čím blíže je hrot sondy mikroskopu povrchu vzorku, tím je větší pravděpodobnost, že např. v případě STM dojde k tzv. „protunelování“ elektronů a obvodem začne protékat tunelový proud. Jeho velikost je exponenciálně závislá na vzdálenosti mezi hrotem sondy a povrchem vzorku. Měření tunelového proudu umožňuje zmapovat povrch vzorku.

Průběh demonstrace s popisem:

Jak je patrné z obr. 19, další možnost, jak demonstrovat princip funkce mikroskopů SPM, je následující. Do vany s vodou, položené na zapnutém zpětném projektoru (Meotaru), ponoříme průhlednou proložku od vajíček orientovanou výstupky (tj. atomy) směrem vzhůru. Je třeba, aby pod proložkou nebyly bublinky a aby neplavala (toho lze docílit např. zatížením skleněnými kuličkami nebo kamínky). Poté do vody přikápneme tuš (nebo nalijeme trochu černého čaje) – tím obarvíme vodu nad proložkou, pod položkou musí voda zůstat čirá. V černé kapalině však takto není nic vidět. Pokud ovšem do vany ponoříme dnem dolů orientovanou sklenici (tj. náš hrot), při jejím dostatečném přiblížení k proložce uvidíme příslušný výstupek v proložce (tj. konkrétní atom). K provedení pokusu je třeba trochu zručnosti. Doporučuji si ho proto pro jistotu předem vyzkoušet.



a)



b)

Obrázek 19: Další demonstrace principu funkce SPM – možnost zviditelnit atomy je exponenciálně závislá na vzdálenosti mezi hrotem sondy mikroskopu a povrchem vzorku. Na zapnutém zpětném projektoru je postavena vana s vodou, do níž je vložena průhledná proložka od vajíček – jednotlivé výstupky v proložce demonstrují atomy (a). Po přikápnutí černého čaje (resp. tuše) je „atomy“ možné vidět pouze při dostatečném přiblížení dna sklenice, tj. hrotu SPM (b). Snímky byly pořízeny během přednášky Dr. Fejřara v Technickém muzeu v Brně⁵⁶ v zimě 2010 a použity v této práci s jeho svolením.

⁵⁶ Od 29. 12. 2009 do 17. 10. 2010 se v Technickém muzeu v Brně koná výstava s názvem „Nanotechnologie“. Výstava připomíná padesáté výročí od přednášky amerického fyzika Richarda Feynmana „Tam dole je spousta místa“. Více informací na: <http://www.technicalmuseum.cz/content/view/377/1/lang,cz/>.

V. OVĚŘENÍ VYBRANÝCH VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ

V.1. POZNÁMKY Z REALIZACE PROJEKTU

Projekt „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“ byl realizován a testován během března a dubna 2009 na dvou pražských gymnáziích, a to:

- na Malostranském gymnáziu v Josefské ulici,
v přírodovědném semináři (3. ročník) paní učitelky RNDr. Ivony Trejbalové
- na Gymnáziu Elišky Krásnohorské,
v rámci výuky chemie ve 3. ročníku u paní učitelky RNDr. Jiřiny Kolkové

V.1.1. Malostranské gymnázium v Josefské

Průběh a výsledky realizace projektu

Na Malostranském gymnáziu se projektu se účastnilo 15 žáků; rozdělení byli do tří skupin po pěti žácích.

Časový harmonogram projektu byl následující:

- 1. a 2. VH 11. března, 3. VH 18. března (v počítačové učebně), 4. a 5. VH 1. dubna
- termín odevzdávání časopisu: 27. března, termín odevzdávání recenzí: 30. března

Nejprve (během první VH) bylo žákům zadáno téma projektu (formou obrázkové šifry) a popsány jeho výstupy. Předem byli vybráni tři šéfredaktoři, kteří v hodině vytvořili svůj pětičlenný „redakční tým“. Dále již žáci pracovali v takto utvořených skupinách. V průběhu druhé VH bylo žákům vysvětleno, co je to myšlenková mapa. Poté byly do každé skupiny rozdány dva články pojednávající o „nano“ (vybrány byly ze seznamu „Základní doporučené literatury“) a žáci začali koncipovat myšlenkovou mapu reprezentující návrh obsahu jejich časopisu. Vymýšleli také název svého časopisu a okruh čtenářů, kterým bude časopis určen. Myšlenkovou mapu, název časopisu, cílovou skupinu čtenářů a rozdělení rolí ve skupině žáci odevzdávali další týden (tj. na začátku třetí VH). Protože žáci nebyli zvyklí na projektové vyučování (byl to jejich vůbec první projekt), museli být seznámeni se zásadami skupinové práce a práce na projektu (tj. kdy kdo mluví, co je cílem, smyslem této činnosti, jak bude uspořádána třída pro práci ve skupinách apod.). Patrně právě proto, že takovýto způsob výuky

pro ně byl nový, po celou dobu trvání projektu bylo třeba žáky povzbuzovat k tomu, aby se nebáli diskutovat, vyslovit svůj názor, kriticky hodnotit atd.

Třetí VH (druhý týden práce na projektu) byla zahájena testem široce zaměřeným na nanotechnologie (výsledky viz níže). Poté byly dohodnuty termíny odevzdávání časopisů a recenzí, rozdány poznámky pro zkvalitnění práce na časopisu a nastíněn plánovaný průběh prezentační „dvouhodinovky“. VH probíhala v počítačové učebně, kde měl každý žák k dispozici vlastní počítač. Na konci VH žáci počítače využili k vyhledávání informací o „nano“ a k zahájení vlastní tvorby časopisu. Během toho byla s jednotlivými skupinami konzultována jejich myšlenková mapa a představa o struktuře a náplni časopisu.

V průběhu třetího týdne žáci vytvářeli časopis a následně jeho prezentaci (reklamní spot). Tato část práce byla ponechána na domácí přípravě žáků s možností konzultace s vyučujícím přes email (nikdo se však neozval). 27. března měl být odevzdán jeden výtisk časopisu od každé skupiny paní učitelce Trejbalové a elektronická verze měla být emailem zaslána mně a recenzentům ostatních skupin. V dohodnutém termínu však časopis odevzdaly pouze dvě skupiny (redakce časopisů NANOvo a NANOviny), třetí (redakční skupina časopisu Nanomálie) až 30. března, což zpozdilo odevzdání recenzí (u prvních dvou skupin o jeden den; třetí skupina, ačkoliv dostala časopisy zbývajících skupin včas, recenze odevzdala až na začátku prezentační hodiny).

Ve čtvrtém týdnu byl projekt zakončen prezentační a hodnotící „dvouhodinovkou“. První hodina byla věnována odprezentování reklamních spotů k jednotlivým časopisům a vzájemnému hodnocení časopisů a prezentací žáky. Na začátku této VH se ukázalo, že spolupráce ve třetí skupině během práce na projektu značně vážla. Šéfredaktor, který slíbil vytisknout časopis a přinést prezentaci, nikomu nedal vědět a nepřišel do školy. Skupina proto musela odprezentovat svůj časopis bez jakékoliv přípravy (bez PowerPointové prezentace, pouze ukázali a okomentovali pdf verzi svého časopisu). Zarážející je, že za tento výstup skupina dostala od spolužáků stejně vysoké bodové ohodnocení jako zbývajících skupin s podstatně důkladněji připravenými a předvedenými prezentacemi. Druhá VH byla věnována čtení recenzí a následně tomu, že jsem zhodnotila práci jednotlivých skupin na projektu a upozornila na nejčastější chyby v časopisech i prezentování. Úroveň časopisů a prezentací prvních dvou skupin byla podobná. Za velmi nápadité považuji v časopise NANOvo úvodní slovo šéfredaktorky (dokonce s vlastnoručním podpisem) a reklamu na trička z nanovláken. Zajímavým nápadem v časopise NANOviny je anketa o nanotechnologii. Kvůli množství faktických, grafických i jazykových chyb v časopisech byly první dvě skupiny (časopisy NANOvo a NANOviny) ohodnoceny klasifikačním stupněm 2. Časopis třetí skupiny (Nanomálie) byl stručnější

než časopisy skupin předcházejících, s obdobným množstvím chyb. Navíc byl odevzdán se zpožděním a skupina neměla připravenou prezentaci. Na druhou stranu ale recenze této skupiny (ač odevzdané opět se zpožděním) byly nejobektivnější, nejméně „alibistické“, přiměřeně kritické. Proto byla skupina ve výsledku ohodnocena stupněm 3, šéfredaktor pak za neplnění své role stupněm 4.

Závěrem bych o realizaci projektu řekla asi toto: Na vzájemném hodnocení skupin se projevilo a z odevzdaných recenzí je dobře patrné, že žáci z přírodovědného semináře z Gymnázia v Josefské tvoří dobrý kolektiv (velmi empatický). Chybí jim však schopnost objektivně a konstruktivně kritizovat, porovnávat, hodnotit. Myslím si, že projekt byl pro žáky dobrou příležitostí pro to vyzkoušet si, co vše obnáší a jak je důležitá spolupráce. V neposlední řadě se žáci díky projektu seznámili s některými taji nanosvěta a vybranými aplikacemi nanotechnologie.

Testování testových položek zaměřených na nanotechnologii

V rámci projektu byly na Gymnázium v Josefské testovány testové položky zaměřené na nanotechnologii (byly uvedeny v kap. IV.6.1. Test – nanotechnologie). Test obsahující 10 položek byl žákům zadán na začátku třetí VH (tj. 18. března), tedy po dvou VH věnovaných projektu ve škole a jednom týdnu domácí přípravy. Cílem bylo zjistit, kolik toho žáci o nanotechnologii za tu dobu zjistili (nešlo tudíž o závěrečnou evaluaci). První reakce žáků na test byla, že je velmi náročný, že se vůbec „nechytají“. Po testu byly se žáky diskutovány správné odpovědi doplněné o další zajímavosti z nanosvěta. Při tom se ukázalo, že ačkoliv se jedná o velmi širokou (těžko úplně obsáhnutelnou) oblast, každý si našel něco, co ho v testu zaujalo. Žáci uvedli, že o některých aplikacích nanotechnologie slyšeli ve sdělovacích prostředcích.

Test vyplňovalo 12 žáků. Jeho úspěšnost byla 65 % (průměr); 60 % (medián) – viz tab. 7. Bezchybně všichni žáci zodpověděli testové položky 1 a 4. Naproti tomu nejvíce špatných odpovědí bylo na položky 8 a 9.

Počet správných odpovědí	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Počet žáků	0	0	0	1	0	1	6	1	1	1	1

Tabulka 7: Výsledky testu – nanotechnologie (SŠ).

V.1.2.Gymnázium Elišky Krásnohorské

Průběh a výsledky realizace projektu

Na Gymnáziu Elišky Krásnohorské probíhalo testování projektu ve třídě s 30 žáky; rozdělení byli do pěti skupin po šesti žácích.

Časový harmonogram projektu byl následující:

- 1. VH 9. března, 2. VH 18. března (v počítačové učebně), 3. VH 23. března (v počítačové učebně), 4. a 5. VH 17. dubna
- termín odevzdávání časopisu: 8. dubna, termín odevzdávání recenzí: 15. dubna

Projekt začal podobně jako na Gymnáziu v Josefské zadáním šifry (tj. tématu projektu) a popisem výstupů. Redakční týmy vytvářeli a role v nich si rozdělovali (včetně úlohy šéfredaktora) sami žáci. Při tom se ukázalo, že nechat žáky zvolit si šéfredaktora v rámci skupiny bylo lepším řešením, než šéfredaktory dopředu vytipovat (jak to bylo provedeno v Josefské). Úlohu šéfredaktora brali žáci, kteří do ní byli „zvoleni“ svými spolužáky a nikoli učitelem, mnohem zodpovědněji. Během první hodiny se projevilo, že žáci z Gymnázia E. Krásnohorské mají zkušenosti se skupinovou prací – nebáli se živě diskutovat, reagovat na dotazy apod. Ve třídě však panoval až přílišný ruch, proto bylo nutné na začátku druhé VH žákům připomenout, že polohlasná diskuze je na místě při práci ve skupinách, ale že vždy alespoň jeden žák z každé skupiny musí dávat pozor na „signál“ učitele a svoji skupinu ztišit, pokud učitel bude chtít třídě něco říct nebo pokud bude končit skupinová práce a třída by měla začít pracovat opět jako jeden celek. Za domácí úkol žáci na konci první VH dostali zjistit základní informace o nanotechnologii a na jejich základě vymyslet název časopisu a cílový okruh čtenářů.

Hned na začátku druhé VH se ukázalo, že pokud žáci skutečně nemusí, moc nepracují. Název časopisu polovina skupin vymýšlela až během toho, co jsem povídala o předpokládaném průběhu VH. (Po této zkušenosti žákům „promluvila do duše“ paní učitelka Kolková, takže s odevzdáváním dalších úkolů již nebyly problémy). Protože byl žákům známý obsah pojmu myšlenková mapa, byl jim zadán úkol tuto během VH vytvořit (případně dokončit doma). K dispozici dostala každá redakční skupina jeden výtisk článku Kubínka a Stránské „Úvod do problematiky nanotechnologií“ a každý žák mohl další informace o „nano“ vyhledávat na počítači (druhá a třetí VH totiž probíhaly v počítačové učebně).

Na počátku třetí VH byly s žáky dohodnuty termíny odevzdávání časopisů a recenzí a stručně popsán obsah závěrečné „dvouhodinovky“. Ve zbytku VH žáci pracovali na tvorbě

svého časopisu a byla s nimi diskutována odevzdaná myšlenková mapa a jejich představa o tom, jak by měl časopis ve výsledku vypadat.

Vzhledem k tomu, že žáci čtvrtý týden (od zahájení práce na projektu) strávili na školním výletě v Paříži, a poté následovaly Velikonoční prázdniny, projekt byl ukončen až po šesti týdnech. Přestože žáci měli na práci na projektu více času než žáci Gymnázia z Josefské, výsledná úroveň časopisů byla obdobná, stejně jako nejčastější chyby. K těm patřilo: nejednotné formátování, chybějící číslování stránek, časté překlepy, gramatické i faktické chyby (např. „kdyby jste“, „nanometr je deset na mínus devátou metru, čili miliontina metru“), překročení požadované délky časopisu (místo 4 – 8 stránek byl rozsah časopisu všech skupin 10 a více stran) atd. Časopis dvou skupin (Techno a Eigolonhctonan) byl z poloviny tvořen články, které byly doslovně okopírovány z internetu (ovšem bez uvedení zdroje), z textu dokonce nebyly ani odstraněny původní odkazy na poznámky či čísla obrázků. Proto byli tito žáci ohodnoceni za svou práci stupněm 3. Naproti tomu redakce časopisu Pokroky v nanotechnologii si dala záležet na graficky velmi povedené úvodní stránce, vcelku vydařené byly i editorial, stránka věnovaná zajímavostem z oboru a na konci časopisu křížovka. Za svoji práci proto žáci získali známku 1/2. Časopis Ano pro nano mohl čtenáře upoutat jednoduchou, ale jednotnou grafikou, anketou (která však postrádá podrobnější popis), citáty Richarda Feynmana či vtipy. Podobně se časopis Nanostress snažil zaujmout úvodníkem (bohužel s řadou jazykových chyb), vtipem a přehlednou grafikou. Dva posledně zmiňované časopisy byly klasifikovány stupněm 2.

V porovnání s žáky z Malostranského gymnázia byl podstatný rozdíl v úrovni recenzí a účasti žáků na vzájemném hodnocení své práce. Zdravě kritický přístup, jasná formulace připomínek, schopnost objektivně pochválit i zkritizovat, odvaha vyslovit svůj názor, i když se liší od majority atd., prozradily, že žáci z Gymnázia E. Krásnohorské mají díky zkušenostem se skupinovou prací v mnohem větší míře osvojeny klíčové kompetence a dokážou je využívat. Rezervy žáků vidím v plánování a organizaci své učební činnosti při spolupráci s druhými (dobré časové rozvržení, komunikace při řešení problémů). Je také třeba, aby se naučili více kriticky přistupovat ke zdrojům informací (ne vše, co se píše na internetu, je pravda). Za velkou výzvu pro učitele v českém školství považuji naučit se motivovat žáky k tomu, aby se sami chtěli učit (namísto dosavadního dokud skutečně nemusím, nic nedělám). Dále si můžete přečíst výstižné závěrečné zhodnocení přínosů projektu, které napsali sami žáci na konci poslední VH.

Jak zhodnotili projekt žáci

„Projekt mi dal velmi mnoho, především znalosti a zkušenosti jak s prací s časopisem, tak s nanotechnologiemi. Výborná zkušenost.“

„Na projekt bylo málo času, ale vyhovovalo mi rozdělení práce ve skupině. Každý měl část, o kterou se postaral.“

„+ zábavná činnost, při které jsem zjistil některé věci, které jsem sám neznal; kolektivní práce x – málo času; když nepracoval člen skupiny, padla skupina celá“

„Odnegli jsme si, co obnáší týmová práce a že je vždy co dodělat.“

„Byl to velmi zajímavý projekt, protože se nejednalo jen o chemii. Hodně mě bavila závěrečná hodina a celkové hodnocení naší práce, protože jsme získali nějaké postřehy od ostatních.“

„Mně osobně projekt tolik znalostí nedal, ale zlepšil můj vztah k chemii.“

„Zjistila jsem, jaká povolání jsou třeba pro tvorbu časopisu a že není snadné zaujmout čtenáře. Také jsem se dozvěděla, co jsou to nanotechnologie a že jsou do budoucna naší nadějí v mnoha oblastech.“

„Nápad byl dobrý, ale nedostatek času byl šílený. Odnela jsem si zkušenost z tvoření recenzí a lepší znalost o nanotechnologiích.“

V.1.3.Celkové zhodnocení projektu

aneb Co se povedlo a co udělat příště jinak

Srovnání realizovaných projektů

Hlavní rozdíly u testovaných gymnázií byly ve velikosti třídy (15 vs. 30 žáků) a ve zkušenostech žáků se skupinovou prací (žádná vs. častá). Výsledná úroveň časopisů a prezentací byla na obou gymnáziích podobná. Významný rozdíl však byl v kvalitě odevzdaných recenzí a aktivitě žáků (nejen) při závěrečném hodnocení. Gymnazisty z Josefské bylo nutné více povzbuzovat k diskuzím a vyjádření názoru. Vzhledem k menšímu počtu žáků ve třídě ale bylo snazší zapojit do práce v hodině všechny žáky. Na začátku projektu jsem se proto obávala, že dvojnásobný počet žáků ve třídě na Gymnáziu E. Krásnohorské povede k nadměrnému hluku ve třídě a nerovnoměrnému zapojení žáků do práce. Tyto obavy však byly částečně eliminovány předešlými zkušenostmi žáků se skupinovou prací a tím, že gymnazisté již měli osvojenou řadu kompetencí (kritické hodnocení, přijetí ocenění, rady i kritiky od druhých, jasné a srozumitelné vyjádření se atd.).

Za největší přínosy realizace projektu na obou gymnáziích považují posílení klíčových kompetencí žáků a díky interdisciplinárnímu tématu projektu (nanotechnologie) a jeho pojetí (tvorba časopisu, recenzí a prezentace) podporu mezipředmětových vztahů chemie s fyzikou, biologií, českým jazykem a informatikou.

Náměty, rady a doporučení pro učitele

1. Pokud žáci nemají zkušenosti s projektovým vyučováním či skupinovou prací, je nutné se s nimi na začátku dohodnout na pravidlech práce ve skupinách (zamezí se tím nadměrnému hluku ve třídě a chaosu).
2. Často v reakcích žáků na projekt zaznělo, že se potýkali s nedostatkem času. Považují proto za vhodné přidat ještě jeden až dva týdny domácí práce na projektu před závěrečnou prezentační hodinou. Během této doby by učitel měl sledovat pokrok žáků v práci na časopise, měl by upozorňovat na chyby apod.
3. Po odevzdání časopisů je dobré zkontrolovat, že žáci pouze nezkopírovali jinou práci z internetu (např. tak, že učitel do vyhledavače v uvozovkách zadá neobvyklé slovní spojení ze žakovské práce).
4. Ožehavou otázkou je hodnocení projektu, to, jak (resp. jestli vůbec) žáky klasifikovat. (Měla by být jednotně známkována celá skupina nebo udělovat známky individuálně? Měl by být v hodnocení kladen větší důraz na to, kolik si žáci odnesli faktických informací o „nano“ nebo jaké získali dovednosti a kompetence?) Mým názorem je, že hodnocení projektu by mělo být komplexní. Mělo by se v něm odrazit to, nakolik daný žák splnil požadavky kladené na jeho roli, zároveň by ale měla být redakční skupina hodnocena jako celek, který spoluvytvářel výsledný produkt (stejně jako v reálném profesním životě).
Objektivně zhodnotit získané znalosti žáků o „nano“ je možné např. tak, že po poslední VH žáci dostanou jeden týden času na to, aby si přečetli časopisy ostatních skupin. Poté jim učitel zadá test s několika otázkami, které se týkají nanotechnologie a byly v daných časopisech popisovány, a odpovědi oznámkuje.
5. Po odprezentování časopisů a celkovém zhodnocení by mohla (měla) následovat oprava chyb v časopise (případně jeho další vylepšení, např. na základě návrhu spolužáků). Finální verze časopisů pak lze (za symbolickou cenu) prodávat ve škole žákům jiných ročníků. (Finanční odměna by autorům časopisu mohla přijít vhod stejně tak, jako částečné ukojení touhy po poznání rozšířením znalostí o nanosvětě kupujícím.) Časopisy mohou být umístěny na intranet školy, kde z nich budou moci čerpat nejen další žáci, ale i učitelé.

V.2. POZNÁMKY Z REALIZACE EXKURZE

(VČETNĚ VYHODNOCENÍ TESTŮ A PRACOVNÍCH LISTŮ)

„Exkurze do nanosvěta aneb Výlet za EM a SPM“ byla realizována 15. května 2008 s žáky Gymnázia Opatov na Fyzikálním ústavu AV ČR. V průběhu května a června 2008 byly s žáky zmíněného gymnázia ověřovány i předkládané materiály (testy a pracovní listy). Nejprve byl žákům počátkem května zadán pretest, jehož cílem bylo zjistit, kolik toho již o problematice elektronové mikroskopie (EM) a mikroskopie skenující sondou (SPM) znají. Týden před uskutečněním exkurze dostali žáci (v rámci domácí přípravy na exkurzi) k vyplnění přípravné pracovní listy. Poté následovala samotná exkurze na FÚ AV ČR vedená Dr. Antonínem Fejfarrem. Během ní žáci vyplňovali pracovní listy určené pro exkurzi. Měsíc po uskutečnění exkurze byl žákům zadán posttest, který měl prověřit, kolik si toho o metodách EM a SPM zapamatovali.

V.2.1. Výsledky pretestu

Otázky a úlohy v pretestu byly zaměřeny na základy mikroskopických metod (SM, EM, SPM), zejména na principy jejich funkce a na velikost objektů, které je možné s použitím jednotlivých mikroskopů pozorovat. Pretest vyplňovalo 13 žáků. Úspěšnost pretestu byla 21 % – viz tab. 8.

Úloha	1. a	1. b	2.	3.	4.	5.	6.
Správné odpovědi	1	4	6	6	1	0	1

Tabulka 8: Počty správných odpovědí u jednotlivých úloh pretestu.

Nízký počet správných odpovědí v pretestu ukázal, že před exkurzí toho žáci o mikroskopických metodách a jejich principech příliš nevěděli. Polovina dotazovaných žáků měla představu o tom, jaký je rozdíl mezi světelným a elektronovým mikroskopem a v čem se liší SEM od TEM. Prakticky nikdo však nevěděl nic o mikroskopii skenující sondou (nikdo neznal tunelový jev, na otázku týkající se stavby a funkční podstaty SPM odpověděl správně pouze jeden žák). Naprostá většina respondentů neznala meze rozlišení světelného a elektronového mikroskopu, natož pak SPM, a nedokázala ani ve správném pořadí srovnat velikost mikroskopických objektů (nejčastěji byly uváděny ve špatném pořadí (tj. zaměňovány) aminokyselina s proteinem a virus s bakterií).

V.2.2.Poznámky k přípravným pracovním listům

Pracovní listy zaměřené na teoretickou přípravu a bližší seznámení s metodami EM a SPM před exkurzí lze vyplnit ve výuce. S přihlédnutím na časová omezení ve vyučování je však vhodnější zadat vyřešení jednotlivých úloh v rámci domácí přípravy žáků na exkurzi. Úlohy mají motivační a interdisciplinární charakter. S jejich řešením žáci neměli potíže.

V.2.3.Poznámky k realizaci exkurze

Exkurze, jež se uskutečnila dne 15. května 2008 na půdě Fyzikálního ústavu AV ČR (adresa: Cukrovarnická 10/112, Praha 6), se zúčastnilo 17 žáků přírodovědného semináře Gymnázia Opatov a jako pedagogický dozor paní učitelka RNDr. Iveta Žabová a já.

Na termínu exkurze se bylo třeba předem domluvit s RNDr. Antonínem Fejfarem, CSc.⁵⁷ (tel.: 220318, místní linka: 501; e-mail: fejfar@fzu.cz). S panem doktorem Fejfarem jsem komunikovala přes email. Veškerá komunikace byla naprosto bezproblémová. Už začátkem dubna mi Dr. Fejfar rád exkurzi přislíbil (podobné návštěvy na AV ČR v poslední době prý organizují často a rádi ☺), domlouval se mnou všechny organizační podrobnosti a v neposlední řadě nás skvěle exkurzí provedl.

Samotná exkurze trvala cca 2 hodiny a byla zaměřena zejména na SPM (EM byla zmíněna pouze okrajově). Exkurzi zahájil Dr. Fejfar asi hodinovou přednáškou (s PowerPointovou prezentací) o tom, jak mikroskopy SPM vznikly, kdo se na jejich vynálezu podílel, jak fungují, k čemu se používají atd. Během toho žáci vyplňovali pracovní listy pro exkurzi. Poté si žáci mohli prohlédnout AFM (STM se v době naší návštěvy bohužel vypékal) a Ramanův mikrospektrometr. Přitom doktorandi z FÚ AV ČR žákům přiblížili projekty, na kterých pracují.

Co se týká hodnocení exkurze, myslím si, že se docela vydařila. Přednáška Dr. Fejfara mi přišla velmi zajímavá a názorná. Žáci byli zaujati možnostmi aplikace uvedených mikroskopů. V reakcích na dotazy pana Fejfara ohledně principů funkce mikroskopů však byli docela pasivní – odpovídali a vlastní otázky měli pouze dva žáci. To bylo patrně dáno tím, že bylo třeba mít značné vědomosti z fyziky a většina žáků nehodlá studovat odbornou fyziku, ale orientuje se spíše na studium biologie. Zdá se tedy, že ačkoliv mohou být metody EM a SPM považovány za zajímavé, porozumění jim vyžaduje hlubší poznání principů jejich fungování.

⁵⁷ Dr. Fejfar je vynikajícím specialistou v metodách SPM. Navíc se účastnil např. projektů Otevřená věda a Otevřená věda regionům (viz <http://www.otevrena-veda.cz/ovroz.html>), a má proto bohaté zkušenosti s vedením exkurzí a pořádáním seminářů nejen pro žáky, ale i pro středoškolské učitele.

V.2.4. Výsledky vyplňování pracovních listů pro exkurzi

Během exkurze vyplňovalo a bezprostředně po skončení exkurze odevzdalo pracovní listy 17 žáků. Jednotlivé úlohy v pracovních listech se týkaly TEM, SEM, STM a AFM (principů funkce, vlastností a praktických aplikací těchto přístrojů) a byly bodovány následujícím způsobem:

- úloha 1: a) 2 body; b) 2 body; c) 4 body
- úloha 2: a) 2 body; b) 4 body
- úloha 3: 7 bodů
- úloha 4: 2 body
- úloha 5: 3 body
- úloha 6: 3 body (bod za uvedení každého přístroje, který žáci viděli + uvést měli i STM, který byl původně přislíben, ale z technických důvodů si ho nemohli prohlédnout, pouze jim byl popsán)

Celkem tedy bylo možné získat max. 29 bodů. Nejnižší dosažený bodový součet byl 8 bodů (jeden žák), nejvyšší 18 bodů (tři žáci). Celková úspěšnost správného vyplnění pracovních listů byla 49 % – viz tab. 9.

Počet bodů	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Počet žáků	1	1	1	1	0	2	2	3	2	1	3

Tabulka 9: Výsledky vyplňování pracovních listů pro exkurzi.

V.2.5. Poznámky k úlohám v pracovních listech pro exkurzi

Obecně lze říci, že je třeba žákům zdůrazňovat, aby si vždy důkladně přečetli zadání. (Někteří totiž např. šipkou neoznačili vzorek u schémat SEMu a TEMu (1 c), dále někteří uvedli anglický název metod STM a AFM místo českého (2 b) apod.).

Co se týká jednotlivých úloh: 1 a) bez problémů. U úlohy 1 b) se ukázalo, že si někteří žáci myslí, že TEM a SEM jsou také mikroskopy se skenující sondou (označovali např. TEM jako tunelovací elektronový mikroskop). Protože jsme během exkurze žádný elektronový mikroskop neviděli, bylo by jistě vhodné žáky před exkurzí na toto upozornit a zdůraznit jim rozdíly mezi EM a SPM. (K tomu je možné využít např. vytvořenou multimediální prezentaci, konkrétně snímky 20 – 36, které se zabývají přístroji umožňujícími pozorovat nanočástice a nanostruktury.)

Vyřešení úlohy 2 bez obtíží.

Zato výsledky úlohy 3 vypadaly jako jedna velká „tipovačka“. Opět by bylo dobré, kdyby ještě před samotnou exkurzí kromě domácí přípravy žáků s pracovními listy mohl učitel věnovat alespoň část vyučovací hodiny přiblížení metod EM a SPM a shrnutí rozdílů mezi nimi. Nebo doporučuji alespoň po exkurzi projít daná tvrzení a vysvětlit, proč je to které správné, resp. nesprávné.

Obdobně špatně dopadala úloha 4. Osobně se domnívám, že dnes (tedy v době, kdy je prakticky každá škola vybavená dataprojektory a počítači) by neměl být problém ve výuce biologie žákům ukázat fotografie virů, organel, buněk atd. a doplnit výklad krátkým komentářem pomocí jakého přístroje byly ukazované snímky pořízeny. Dle mého názoru by žáci měli mít povědomí o tom, že buňky lze sledovat světelným mikroskopem (SM; tj. „prosvěcovat fotony“) – minimálně trepku a buňky pokožky cibule pomocí SM určitě sami pozorovali. Při výuce by měla zaznít alespoň zmínka o tom, že viry a detaily organel se pozorují pomocí TEMu (tj. „prosvěcují elektrony“) a vnější struktury různých biologických objektů (jako jsou např. červené krvinky nebo vlas, které žáci viděli v úkolu 1 v přípravných pracovních listech) se sledují díky SEMu, (ze kterého jsou moc pěkné 3D obrázky). Nad rámec běžné výuky (tedy spíše až v semináři) by znalosti žáků ještě mohly být rozšířeny o fakt, že se v biologii prakticky nepoužívá STM (protože biologické vzorky většinou nejsou vodivé), AFM však ano.

U úlohy 5 doporučuji zdůraznit škálu maximálního rozlišení tak, jak to udělal i pan Fejfar během exkurze: oko – 0,2 mm, světelný mikroskop – 0,2 μm , elektronový mikroskop – 0,2 nm (resp. SEM cca 1 nm, TEM až 0,1 nm, ale pro didaktické účely je možné držet těch dvojek – hezky se to pamatuje). SPM dosahují atomárního až subatomárního rozlišení (tj. řádově setiny až tisíce nm).

U úlohy 6 mě opravdu překvapily zkratky jako NT – MDT či TMC. Nechápu, jak na ně žáci přišli. Jinak bez problémů.

V.2.6. Výsledky posttestu

Poznání získané během exkurze bylo testováno posttestem, který obsahoval úlohy podobné úlohám v pretestu. Posttest vyplňovalo 13 žáků. Jednotlivé úlohy byly bodovány následujícím způsobem:

- úloha 1: 3 body (za každý přesně určený rozměr 1 bod)
- úloha 2: 1 bod (za každý správně vybraný pojem 0,25 bodu)
- úloha 3: a) 1 bod; b) 1,5 bodu (interakce **hrotu sondy** (nebo alespoň **sondy**) – 0,5 bodu a **povrchu vzorku** (nebo alespoň **vzorku**) – 0,5 bodu, měří se určitá **fyzikální veličina** (resp. **interakce**, např. atomární síly (resp. výchylka) nebo tunelový proud) – 0,5 bodu)
- úloha 4: 1 bod
- úloha 5: 4,5 bodu (0,5 bodu za každý správný výběr mikroskopu, po 1 bodu za každé správné zdůvodnění výběru)

Maximálně bylo možné dosáhnout 12 bodů. Nejnižší dosažený bodový součet byl 3,5 bodu (jeden žák), nejvyšší 10 bodů (jeden žák). Celková úspěšnost posttestu byla 52 % – viz tab. 10 a tab. 11. Nárůst počtu správných odpovědí v posttestu oproti pretestu byl 31 %.

Pro posttest byla navržena následující klasifikace:

12 – 10 bodů	1
9,5 – 7,5 bodu	2
7 – 5 bodů	3
4,5 – 2,5 bodu	4
2 – 0 body	5

Počet bodů	3,5	3,75	4,75	5,25	6	6,5	6,75	7	8,25	9	10
Počet žáků	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Známka	4	4	3/4	3	3	3	3	3	2	2	1

Tabulka 10: Výsledky posttestu s klasifikací.

Úloha	1. a	1. b	1. c	2.	3. a	3. b	4.	5. a	5. b	5. c
Správné odpovědi	6	7	7	1 (12x½)	9	9	9	5	1	9

Tabulka 11: Počty správných odpovědí u jednotlivých úloh posttestu.

V.2.7.Poznámky k úlohám v posttestu

K nejčastějším chybám patřily v úloze 1 špatně převedené jednotky (a nesprávně přečtené zadání).

Úloha 2 ukázala, že si většina žáků plete a zaměňuje mez rozlišení (tj. nejmenší rozlišitelný rozměr; je dána minimální vzdáleností dvou ještě rozlišitelných bodů) a zvětšení mikroskopu.

Úloha 3 byla zodpovězena povětšinou bez problémů; jen několik málo žáků stále neodlišovalo mikroskopii skenující sondou od elektronové mikroskopie.

Úlohu 4 správně zodpovědělo 9 žáků (tj. 69 %). Odkud se vzaly chybné odpovědi typu fotoelektrický nebo elektromagnetický jev je mi záhadou. Tato úloha byla identická s výše uvedenou úlohou 5 v pretestu, kde na ní neodpověděl správně žádný dotazovaný žák.

Úloha 5 byla nejnáročnější (vyžadovala propojení různých poznatků), a dopadla proto nejhůř. V této úloze bylo třeba si uvědomit souvislosti. (Úlohu nešlo vyřešit pouhým „odpouštěním“ faktů, ale bylo nutné si dát dohromady např. to, že když vím, že virus je velký cca 100 nm (zadáno v úloze 5) a mez rozlišení světelného mikroskopu je 200 nm (měli vyřešit v úloze 1), tak virus pozorovat pomocí světelného mikroskopu jednoduše nelze, což bohužel většině žáků nedošlo). Doporučení je proto jednoznačné – různými způsoby se u žáků snažit posilovat logické myšlení, dedukci apod.

V.2.8.Celkové zhodnocení exkurze

aneb Co se povedlo a co udělat příště jinak

Výsledky exkurze ukázaly, že ačkoliv byla většina žáků zaujata možnostmi využití EM a SPM, téma mikroskopických metod je náročné na pochopení a vyžaduje hlubší studium fyzikálních principů umožňujících zobrazení nanoobjektů a práci v nanosvětě. Před vlastní realizací exkurze proto doporučuji seznámit žáky s principy funkce jednotlivých mikroskopů (např. doplněním vyplňování přípravných pracovních listů výkladem o EM a SPM s prezentací). Učitel by měl zdůraznit základní rozdíly mezi jednotlivými mikroskopickými metodami. Pokud bude exkurze provedena na pracovišti, kde žáci uvidí pouze přístroje SPM (tj. např. na FÚ AV ČR), je vhodné žáky dopředu na toto upozornit. Zároveň by však mělo být poukázáno na to, že v pracovních listech jsou také úkoly vztahující se k EM.

VI. DOTAZNÍK

Za účelem zjištění, jaký názor na výuku o nanotechnologii na úrovních SŠ a VŠ (připravujících učitele chemie) mají jak studenti učitelství chemie (1), tak učitelé různých přírodovědných předmětů (v kombinaci s chemií) vyučující na SŠ (2), byl vytvořen krátký dotazník. V tištěné podobě byl dotazník zadán studentům 5. ročníku učitelství chemie na PřF UK v zimním semestru 2009. Středoškolští učitelé vyplňovali elektronickou verzi dotazníku v zimě 2009/2010. Elektronická forma dotazníku byla zvolena z toho důvodu, že pro respondenty je snazší jeho vyplnění a navíc jeho distribuce je jednodušší a finančně nenáročná.

Dotazník byl umístěn ke konci práce z důvodu zhodnocení impaktu vytvořených materiálů o „nano“. Cílem dotazníkového šetření bylo mj. zjistit, zda a v jakém rozsahu mají učitelé a studenti učitelství chemie zájem používat výukové materiály, jež byly vytvořeny v rámci diplomové práce, na niž navazuje a jejímž rozšířením vznikla tato rigorózní práce. Cílem nebylo provést rozsáhlý průzkum, ale získat pouze orientační přehled o postoji studentů a učitelů k výuce nanotechnologie na SŠ a VŠ připravujících učitele chemie.

V rámci dotazníku bylo vytvořeno celkem osm otázek, které byly položeny tak, aby respondenti označili jednu nebo více odpovědí, se kterou se shodoval jejich názor, popř. u otázek 1, 3, 5, 6, 8 mohli doplnit další odpověď či ji rozvést. Zadání dotazníku bylo následující:

DOTAZNÍK: Učit (se) o „nano“ – ANO nebo NE?

Vyplňte, prosím, tento krátký dotazník (označte všechny odpovědi, s nimiž souhlasíte, a případně doplňte prázdná místa). U otázek 3, 5, 6 a 8 je možné zaškrtnout současně více možností.

- | | |
|--|-------------------------------|
| ☐ student učitelství chemie | ☐ muž |
| ☐ učitel – SŠ a aprobace: | ☐ žena |

1. Měly by se žáci na SŠ seznamovat s novými směry v chemii?

- ☐ ano
- ☐ ne
- ☐ nevím

Pokud ano, uveďte s jakými:

2. Mělo by se na SŠ učit o nanotechnologii?

- ☐ určitě ano
- ☐ spíše ano, ale pouze v přírodovědném semináři
- ☐ nevím, nedovedu posoudit
- ☐ spíše ne, zájemce lze odkázat na příslušnou literaturu
- ☐ určitě ne, už tak se učivo nedá stihnout vyložit

3. Pokud by se o „nano“ mělo učit na SŠ, v rámci jakého předmětu by to mělo být?
 - ☐ chemie
 - ☐ fyzika
 - ☐ biologie
 - ☐ jiný – jaký:

4. Myslíte si, že jste schopný/á vyučovat o „nano“?
 - ☐ určitě ano, o „nano“ nás učili již na VŠ
 - ☐ spíše ano, o „nano“ mám něco načteno z vlastního zájmu
 - ☐ nevím, snad jen v případě pokud bych měl/a učebnici, ze které bych mohl/a vycházet
 - ☐ spíše ne, „nano“ nepovažuji pro výuku za podstatné
 - ☐ určitě ne, nic o tom nevím a ani netuším, kde sehnat informace

5. Jakou metodou nebo formou by se mělo učit o „nano“?
 - ☐ výklad (např. s prezentací)
 - ☐ žákovský referát
 - ☐ žákovský projekt
 - ☐ exkurze
 - ☐ jiná – jaká:

6. Uvítal/a byste nějaké materiály o „nano“ pro praxi?
 - ☐ ano
 - ☐ ne
 - ☐ nevím
 Pokud ano, vyberte (příp. doplňte) jaké:
 - ☐ výukový text
 - ☐ prezentace
 - ☐ návrh projektu
 - ☐ návrh exkurze
 - ☐ pracovní listy
 - ☐ testy
 - ☐ jiné – jaké:

7. Měli by se o „nano“ učit studenti učitelství chemie na VŠ?
 - ☐ ano, budou lépe připraveni do praxe
 - ☐ ne, je to zbytečné, v případě potřeby se informace dají sehnat během praxe
 - ☐ nevím, nedovedu posoudit

8. Pokud by se o „nano“ mělo vyučovat na VŠ, jak by výuka měla vypadat?
 - ☐ přednáška odborníka z praxe
 - ☐ přednáška člena katedry učitelství a didaktiky chemie s praktickými náměty, jak o „nano“ učit na SŠ
 - ☐ exkurze na pracoviště, kde se zabývají výzkumem nebo některou z aplikací nano-technologie
 - ☐ samostudium ze skript
 - ☐ jiná – jaká:

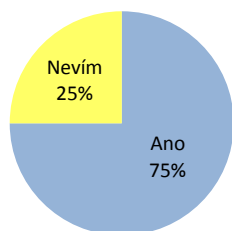
Děkuji za spolupráci ☺.

VI.1. VÝSLEDKY DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ 1

ANEKDOTY O VÝUCE „NANO“ MYSLÍ STUDENTI UČITELSTVÍ CHEMIE

Dotazník byl zadán 10. listopadu 2009. Vyplnilo jej 8 studentů (1 muž a 7 žen) 5. ročníku učitelství chemie na PřF UK s následujícími odpověďmi:

1. Měly by se žáci na SŠ seznamovat s novými směry v chemii?

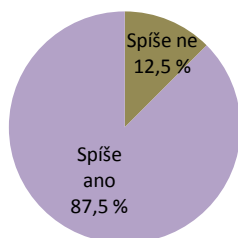


Ano	6	75 %
Ne	0	0 %
Nevím	2	25 %

Pokud ano, uveďte s jakými:

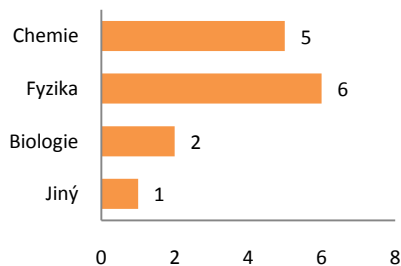
nanotechnologie (3x); novinky v genetice; výzkumy; pro zájemce aktuální dění v chemických oborech; polarografie; farmacie; s čím se běžně setkávají (např. potravinové doplňky – tzv. éčka)

2. Mělo by se na SŠ učit o nanotechnologii?



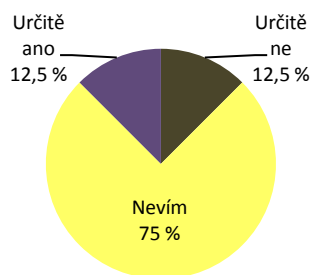
Určitě ano	0	0 %
Spíše ano, ale pouze v přírodovědném semináři	7	87,5 %
Nevím, nedovedu posoudit	0	0 %
Spíše ne, zájemce lze odkázat na příslušnou literaturu	1	12,5 %
Určitě ne, už tak se učivo nedá stihnout vyložit	0	0 %

3. Pokud by se o „nano“ mělo učit na SŠ, v rámci jakého předmětu by to mělo být?



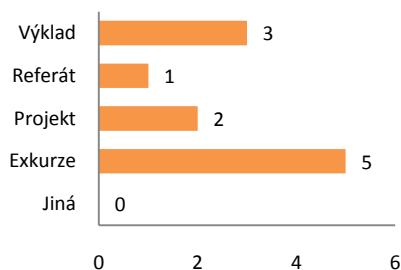
Chemie	5	62,5 %
Fyzika	6	75 %
Biologie	2	25 %
Jiný: průřezová témata	1	12,5 %

4. Myslíte si, že jste schopný/á vyučovat o „nano“?



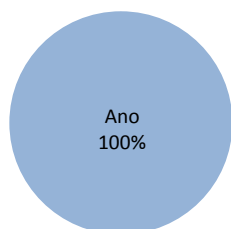
Určitě ano, o „nano“ nás učili již na VŠ	1	12,5 %
Spíše ano, o „nano“ mám něco načteno z vlastního zájmu	0	0 %
Nevím, snad jen v případě pokud bych měl/a učebnici, ze které bych mohl/a vycházet	6	75 %
Spíše ne, „nano“ nepovažuji pro výuku za podstatné	0	0 %
Určitě ne, nic o tom nevím a ani netuším, kde sehnat informace	1	12,5 %

5. Jakou metodou nebo formou by se mělo učit o „nano“?



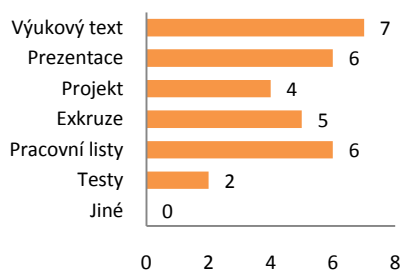
Výklad (např. s prezentací)	3	37,5 %
Žákovský referát	1	12,5 %
Žákovský projekt	2	25 %
Exkurze	5	62,5 %
Jiná	0	0 %

6. Uvítal/a byste nějaké materiály o „nano“ pro praxi?



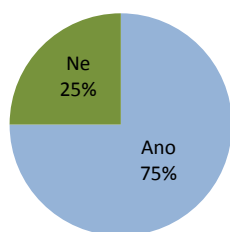
Ano	8	100 %
Ne	0	0 %
Nevím	0	0 %

Pokud ano, vyberte (příp. doplňte) jaké:



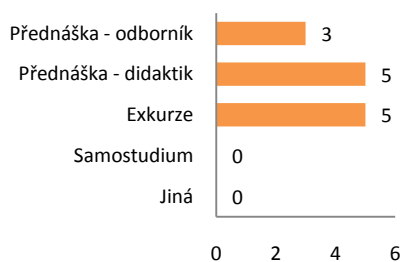
Výukový text	7	87,5 %
Prezentace	6	75 %
Návrh projektu	4	50 %
Návrh exkurze	5	62,5 %
Pracovní listy	6	75 %
Testy	2	25 %
Jiné	0	0 %

7. Měli by se o „nano“ učit studenti učitelství chemie na VŠ?



Ano, budou lépe připraveni do praxe	6	75 %
Ne, je to zbytečné, v případě potřeby se informace dají sehnat během praxe	2	25 %
Nevím, nedovedu posoudit	0	0 %

8. Pokud by se o „nano“ mělo vyučovat na VŠ, jak by výuka měla vypadat?



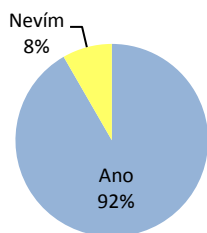
Přednáška odborníka z praxe	3	37,5 %
Přednáška člena katedry učitelství a didaktiky chemie s praktickými náměty, jak o „nano“ učit na SŠ	5	62,5 %
Exkurze na pracoviště, kde se zabývají výzkumem nebo některou z aplikací nanotechnologie	5	62,5 %
Samostudium ze skript	0	0 %
Jiná	0	0 %

VI.2. VÝSLEDKY DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ 2

ANEKDODOTY O VÝUCE „NANO“ MYSLÍ STŘEDOŠKOLŠTÍ UČITELÉ

Dotazník byl zadáván v zimě na přelomu let 2009/2010. Osloveno bylo 28 učitelů, ve většině případů absolventů PřF UK. Velikost vzorku byla vybírána tak, aby byla podobná počtu studentů učitelství chemie, kteří vyplňovali dotazník – nemělo se tedy jednat o rozsáhlý průzkum, ale jen o orientační dotazníkové šetření. Dotazník prostřednictvím internetové aplikace⁵⁸ vyplnilo 12 učitelů (5 mužů a 7 žen), kteří vyučují na různých středních školách (soukromých i státních, gymnáziích i středních odborných školách) v ČR. Aprobace učitelů byly následující: chemie (1), chemie – biologie (7), chemie – fyzika (1), chemie – informatika (1), chemie – matematika (1), fyzika – matematika (1). Lze spekulovat, že nízká návratnost vyplněných dotazníků (43 %) může být důsledkem přetížení středoškolských pedagogů.

1. Měly by se žáci na SŠ seznamovat s novými směry v chemii?

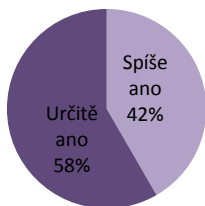


Ano	11	92 %
Ne	0	0 %
Nevím	1	8 %

Pokud ano, uveďte s jakými:

nanotechnologie (uvedena 2x); aplikace ve všech oborech, které probírají (od anorganické chemie po biochemii); nové technologie; využití chemie na trhu; nebezpečné látky; nové objevy; biofyzikální chemie (3x); farmaceutická chemie; geochemie; petrochemie; chemie silikátů; chemie atmosféry; chemie životního prostředí; jaderná chemie; lékařská chemie; makromolekulární chemie (3x); supramolekulární chemie; termochemie a výpočetní chemie; recyklace polymerů; hlavně s takovými, které mají praktické aplikace (2x); nové instrumentální metody

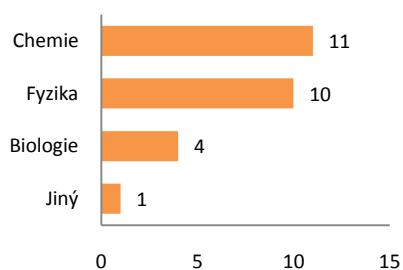
2. Mělo by se na SŠ učit o nanotechnologii?



Určitě ano	7	58 %
Spíše ano, ale pouze v přírodovědném semináři	5	42 %
Nevím, nedovedu posoudit	0	0 %
Spíše ne, zájemce lze odkázat na příslušnou literaturu	0	0 %
Určitě ne, už tak se učivo nedá stihnout vyložit	0	0 %

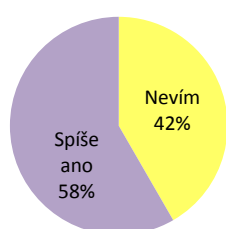
⁵⁸ On-line verzi dotazníku bylo možné vyplnit na této webové adrese:
<http://spreadsheets.google.com/viewform?formkey=dGttSDVpWUR4WHlNcTlxZWREbzJ3eIE6MA>.

3. Pokud by se o „nano“ mělo učit na SŠ, v rámci jakého předmětu by to mělo být?



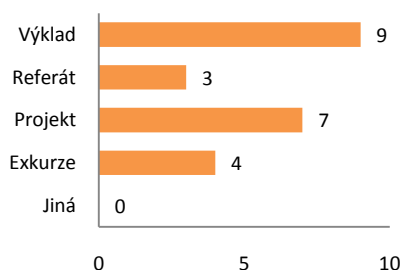
Chemie	11	92 %
Fyzika	10	83 %
Biologie	4	33 %
Jiný: průřezová témata	1	8 %

4. Myslíte si, že jste schopný/á vyučovat o „nano“?



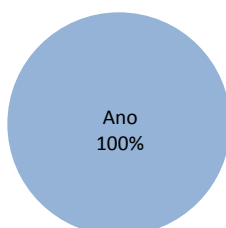
Určitě ano, o „nano“ nás učili již na VŠ	0	0 %
Spíše ano, o „nano“ mám něco načteno z vlastního zájmu	7	58 %
Nevím, snad jen v případě pokud bych měl/a učebnici, ze které bych mohl/a vycházet	5	42 %
Spíše ne, „nano“ nepovažuji pro výuku za podstatné	0	0 %
Určitě ne, nic o tom nevím a ani netuším, kde sehnat informace	0	0 %

5. Jakou metodou nebo formou by se mělo učit o „nano“?



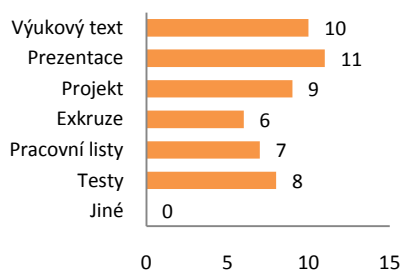
Výklad (např. s prezentací)	9	75 %
Žákovský referát	3	25 %
Žákovský projekt	7	58 %
Exkurze	4	33 %
Jiná	0	0 %

6. Uvítal/a byste nějaké materiály o „nano“ pro praxi?



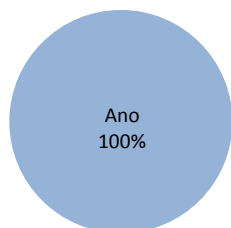
Ano	12	100 %
Ne	0	0 %
Nevím	0	0 %

Pokud ano, vyberte (příp. doplňte) jaké:



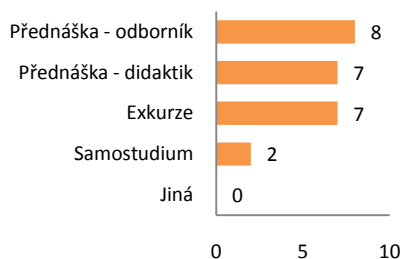
Výukový text	10	83 %
Prezentace	11	92 %
Návrh projektu	9	75 %
Návrh exkurze	6	50 %
Pracovní listy	7	58 %
Testy	8	67 %
Jiné	0	0 %

7. Měli by se o „nano“ učit studenti učitelství chemie na VŠ?



Ano, budou lépe připraveni do praxe	12	100 %
Ne, je to zbytečné, v případě potřeby se informace dají sehnat během praxe	0	0 %
Nevím, nedovedu posoudit	0	0 %

8. Pokud by se o „nano“ mělo vyučovat na VŠ, jak by výuka měla vypadat?



Přednáška odborníka z praxe	8	67 %
Přednáška člena katedry učitelství a didaktiky chemie s praktickými náměty, jak o „nano“ učit na SŠ	7	58 %
Exkurze na pracoviště, kde se zabývají výzkumem nebo některou z aplikací nanotechnologie	7	58 %
Samostudium ze skript	2	17 %
Jiná	0	0 %

VI.3. SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ

Většina respondentů (75 % studentů a 92 % učitelů) se domnívá, že žáci na SŠ by měli být seznamováni s novými směry v chemii, mj. i s nanotechnologií. Získané odpovědi jasně potvrdily, že téma nanotechnologie je pro současné i budoucí učitele chemie velmi zajímavé a dle jejich mínění by mělo být součástí středoškolského kurikula, a to přinejmenším v rámci přírodovědného semináře (87,5 % studentů a 100 % učitelů). Podle převažující části respondentů by se poznatky z nanosvěta měly objevit zejména ve výuce chemie a fyziky, příp. i biologie a průřezových témat.

Co se týká připravenosti dotazovaných na výuku o „nano“ na SŠ, tři čtvrtiny studentů posledního ročníku vysokoškolského studia učitelství chemie tvrdí, že nemají dostatečné znalosti pro výuku o nanotechnologii a 58 % učitelů se v tomto oboru vzdělává samostudiem z vlastního zájmu. Ačkoliv naprostá většina dotázaných považuje „nano“ za důležité pro výuku na SŠ, 75 % studentů a 42 % učitelů neví, zda by byli schopni o „nano“ vyučovat, pokud by neměli k dispozici alespoň učebnici. Tato čísla bohužel jasně svědčí o nepřípravenosti českého školství pro výuku moderních poznatků týkajících se nanosvěta. Všichni studenti i učitelé, kteří vyplnili anketu, navíc postrádají materiály, které by ve výuce o „nano“ mohli použít.⁵⁹ Studenti i učitelé by uvítali zejména výukový text s prezentací, dále pracovní listy (studenti) a návrh projektu (učitelé).

Ze získaných dat vyplývá, že podle studentů je nejvhodnější formou/metodou pro výuku nanotechnologie exkurze (62,5 %). Učitelé preferují výklad (doplněný příp. prezentací; 75 %) a/nebo projektové vyučování (58 %). Za nejméně přínosný považují jak studenti, tak učitelé žákovský referát (12,5 %; 25 %).

Na rozbor posledních dvou otázek dotazníku, jež se věnují problematice výuky nanotechnologie na úrovni vysokých škol připravujících učitele chemie, je zaměřena následující kapitola.

⁵⁹ Kvůli absenci volně dostupných výukových materiálů a námětů pro praxi s tematikou „nano“, byly materiály zpracované pro tuto práci umístěny na portál PřF UK (vytvořený na podporu výuky chemie na ZŠ a SŠ), kde jsou na adrese <http://www.studiumchemie.cz/materialy.php?obor=ostatni> učitelům k dispozici k volnému stažení. Zpracované výukové materiály umožňují různorodé použití v praxi a splňují tudíž požadavky učitelů na variabilitu metod a forem ve výuce (např. výklad s pomocí připravené prezentace, projektové vyučování dle zpracovaného návrhu projektu či exkurze s využitím pracovních listů).

VII. UČIT O „NANO“ STUDENTY UČITELSTVÍ CHEMIE?

Výše v této práci byla řešena otázka, zda učit žáky na středních školách vybrané poznatky z interdisciplinárních oborů nanotechnologie a nanověda a v případě že ano, tak jakým způsobem (ev. způsoby). Pokud přijmeme myšlenku, že s poznatky z tzv. nanosvěta by měli být seznámeni na středních školách alespoň ti žáci, kteří mají v úmyslu studovat přírodovědné či technicky orientované obory, měli bychom se také zabývat otázkou, jakým způsobem připravit samotné středoškolské učitele na to, aby tento úkol zvládli. Možností se nabízí hned několik – vydání učebnice o nanotechnologii, uspořádání semináře na toto téma atp. Jedním z nejvhodnějších řešení by mohlo být začít s „nano“ seznamovat budoucí učitele, tedy současné studenty učitelství. To podporují výsledky provedeného dotazníkového šetření, kdy tři čtvrtiny dotázaných studentů učitelství jsou přesvědčeny o nutnosti být během vysokoškolského studia připravováni na své budoucí povolání i v oblasti nanosvěta. Pouze dva dotázaní studenti si myslí, že je takováto příprava zbytečná. Dalším argumentem pro zvážení, zda mají být učitelé odkázáni na samostudium a „dohánění“ znalostí svých žáků během praxe, je to, že 100 % učitelů, kteří vyplnili dotazník, si myslí, že výuka o nanotechnologii na vysokou školu určitě patří.

Metod a forem, jakými lze pojmout výuku o nanotechnologii a nanovědě na úrovni VŠ, najdeme celou řadu – přinejmenším ty, které byly zmíněny ve výše uvedeném dotazníku, tj.:

- přednáška odborníka z praxe
- přednáška člena katedry učitelství a didaktiky chemie s praktickými náměty, jak o „nano“ učit na SŠ
- exkurze na pracoviště, kde se zabývají výzkumem nebo některou z aplikací nanotechnologie
- samostudium ze skript

Studenti se přitom domnívají, že nejpřínosnější by pro ně byla přednáška člena katedry učitelství a didaktiky chemie, v rámci níž by získali jakési „know-how“ pro svou pozdější praxi. Jako vhodné se nadpoloviční většině studentů jeví doplnit přednášku exkurzí. Všichni dotázaní studenti navíc uvedli, že by měli zájem o materiály pro výuku o „nano“, a to zejména o výukový text s prezentací a pracovní listy. Středoškolští učitelé považují za přibližně stejně přínosnou přednášku odborníka či didaktika nebo/a exkurzi.

V dalších dvou kapitolách je ukázán možný způsob seznámení budoucích učitelů chemie s poznatky nanosvěta. Jedná se o přednášku (doplněnou testem a prezentací) a následnou exkurzi. Oboje bylo realizováno se studenty 5. ročníku učitelství chemie na PřF UK v Praze.

VII.1. PŘEDNÁŠKA S PREZENTACÍ A TEST

Studenti učitelství chemie na PřF UK byli dne 10. listopadu 2009 v rámci předmětu Aktivizační metody a formy práce ve výuce chemie seznámeni s interdisciplinárním oborem „nanotechnologie“, jeho historií a aplikacemi. Na začátku studenti dostali test široce zaměřený na oblast nanosvět (viz kap. VI.6.1. Test – nanotechnologie; výsledky níže). Společná kontrola správných odpovědí a další drobné doplnění jednotlivých otázek proběhly spolu s připravenou prezentací. Test byl zadán před zahájením přednášky. Proto jeho cílem nebylo evaluovat nabyté vědomosti, ale spíše nastínit širokou oblast toho, co vše patří k „nano“, navíc se zaměřením na zajímavé aplikace s motivačním prvkem, např. českým patentem známým ze sdělovacích prostředků – Nanospiderem.

Po zodpovězení testových otázek byly se studenty dohodnuty organizační detaily týkající se exkurze na FÚ AV ČR. Dále byli studenti během cca 15 minut seznámeni se základy EM a SPM (tedy mikroskopických metod, které umožňují zobrazovat objekty i nanometrové velikosti), a to formou přednášky s prezentací (vybrané snímky z „prezentace-NT“). Na závěr studenti dostali (v rámci domácí přípravy na exkurzi) k vyplnění pracovní listy týkající se EM a SPM (viz kap. VI.4.4 Přípravné pracovní listy). Tyto listy byly vyplněny uspokojivě.

Cílem realizované přednášky s prezentací a testem bylo (podobně jako v případě následující exkurze) seznámit studenty blíže s problematikou nanotechnologie a zjistit, zda se jejich znalosti a postoje budou lišit v porovnání se středoškoláky.

Test – nanotechnologie

Test vyplňovalo 8 studentů 5. ročníku učitelství chemie na PřF UK. Průměrný počet správných odpovědí byl 7 (z 10), tj. úspěšnost 70 % (průměr); 65 % (medián) – viz tab. 12. Nejvíce správných odpovědí bylo na otázky 4 (8 správných) a 1, 3 a 9 (7 správných odpovědí). Studenti naopak nejvíce chybovali v otázkách 2 a 10 (pouze 3 správné odpovědi). Test se studentům (podobně jako žákům na SŠ) zdál být náročný, ale poutavý svým obsahem.

V porovnání se žáky SŠ (Gymnázium Josefská), kteří dosáhli úspěšnosti 65 % (průměr); 60 % (medián), jde o obdobný výsledek. Vzhledem k tomu, že v testu byly na výběr čtyři možnosti, z nichž vždy právě jedna byla správná, je pravděpodobné, že alespoň část testu byla u dotazovaných odtipována. Výsledky tedy ukazují, že jak žáci SŠ, tak i studenti VŠ mají značné rezervy v poznatcích o „nano“ a jejich znalosti by v této oblasti měly být prohloubeny.

Počet správných odpovědí	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Počet studentů	0	0	0	0	1	1	2	1	0	2	1

Tabulka 12: Výsledky testu – nanotechnologie (VŠ).

Test je společně s prezentací s komentáři k jednotlivým snímkům uložen na CD. Testové otázky i doplňující prezentace byly koncipovány tak, aby byly použitelné jak na SŠ, tak na VŠ připravující učitele chemie a seznámily žáky/studenty se základními, a přitom zajímavými aspekty nanosvěta. Časová náročnost testu s prezentací je 45 – 60 minut.

VII.2. EXKURZE

Exkurze na FÚ AV ČR se uskutečnila 23. listopadu 2009 a zúčastnilo se jí 9 studentů 5. ročníku učitelství chemie z PřF UK a pedagogický doprovod. Během první hodiny měli studenti možnost prohlédnout si elektronový nanolitograf (druh SEM), který poskytuje rozlišení pod 20 nm a jenž na Fyzikálním ústavu používají pro vytváření a zobrazování polovodičových struktur. K vidění byla také strojovna, jakožto technické zázemí pro čištění vzduchu, výrobu čisté vody, přívod plynů apod. Tato část exkurze byla studenty hodnocena jako méně přínosná (zejména výklad byl příliš odborný a podrobný), na rozdíl od druhé poloviny exkurze, kterou vedl RNDr. Antonín Fejfar, CSc. Ten svojí přednáškou „Dotek atomu“ studenty stručně, ale velmi výstižně, názorně i vtipně seznámil se základními principy funkce přístrojů SPM. Poté jim ukázal STM, který nachází na ústavu uplatnění zejména při výzkumu tenkých vrstev pro fotovoltaiické články a při přenášení atomů do jiných povrchů. Celkově studenti pokládali exkurzi za dobře připravenou, velmi kladně hodnotili část vedenou Dr. Fejfarem.

Co se týká pracovních listů vyplňovaných studenty během exkurze, bohužel nebylo možné vyhodnocení výsledků, protože několik studentů odmítlo vyplnit některé úkoly. Mezi nejčastější chyby ve vyplněných pracovních listech patřilo označování TEM jako tunelového (nikoliv transmisního) elektronového mikroskopu a záměna „sondy“ mikroskopu SPM za „skener“ či „senzor“. Fotografie z exkurze, které pořídila RNDr. Renata Šulcová, Ph.D., naleznete na přiloženém CD.

VIII. ZÁVĚR

Nanotechnologie a nanověda jsou perspektivní interdisciplinární obory, jejichž význam ve vědě, průmyslu i běžném životě roste závratnou rychlostí. Neúměrně tomu však zaostává české školství a připravenost pedagogů o „nano“ vyučovat. Proto bylo cílem této rigorózní práce vytvořit materiály a náměty pro praxi, které by měly seznámit učitele na SŠ se základními poznatky z nanosvěta a usnadnit jim jejich zavádění do výuky přírodovědných předmětů. Některé z vypracovaných materiálů byly vyzkoušeny na vybraných gymnáziích.

Teoretickým podkladem práce a zároveň základním materiálem pro výuku o „nano“ je literární rešerše (o rozsahu 42 stran s 16 obrázky). Rešerše, která byla zpracovaná jako výukový text, je primárně určena středoškolským učitelům, coby zdroj informací pro jejich sebevzdělávání v oblastech nanotechnologie a nanovědy. Případně může být tento text vhodný pro žáky SŠ s hlubším zájmem o danou problematiku. K tvorbě rešerše bylo využito více než 70 populárních i vědeckých zdrojů, jak webových, tak tištěných. Vybrány byly nejzajímavější poznatky o „nano“ vhodné pro implementaci do středoškolského kurikula na základě stávajících RVP a zvláště mezipředmětových vztahů. Rešerše obsahuje devět kapitol, které byly uspořádány tak, že v nich jsou nejprve odhaleny základy nanosvěta, definovány nanotechnologie a nanověda, popsány výjimečné vlastnosti nanočástic a nanostruktur a přiblížena historie nanotechnologie. Dále je v rešerši upozorněno na odvěké využívání principů nanotechnologie přírodou a jsou představeny přístroje, které umožňují nahlédnout do nanosvěta. Značná část rešerše se věnuje aplikacím nanotechnologie, ať už současným nebo předpokládaným v (blízké) budoucnosti. Předposlední kapitola nastiňuje přísliby a obavy, které s sebou nanotechnologie nese. Závěr rešerše patří shrnutí nejdůležitějších informací.

Rešeršní výukový text byl doplněn multimediální PowerPointovou prezentací (uložena na CD), tvořenou 96 snímků s texty, obrázky, animacemi a poznámkami pro učitele. Prezentace, stejně jako další výukové materiály (návrh projektu, návrh exkurze, mezipředmětové úlohy s tematikou „nano“, testové položky a jednoduché demonstrace), je zaměřena na středoškolské žáky (zejména v přírodovědném semináři).

Jako jeden z možných způsobů výuky o „nano“ byl navržen projekt „Když se řekne „NANOTECHNOLOGIE...“. Tento projekt byl koncipován tak, aby přispěl k posílení klíčových kompetencí žáků (umět si dobře časově rozvrhnout práci, vyhledávat a tvořivě zpracovávat informace, řešit problémy, efektivně komunikovat a spolupracovat, vhodně prezentovat svou práci, objektivně a konstruktivně kritizovat, porovnávat, hodnotit, přijmout ocenění, radu i kritiku od druhých, mít schopnost sebereflexe apod.). Interdisciplinární téma projektu

(nanotechnologie) a jeho výstupy (časopis, recenze a prezentace) navíc umožňují podporu mezipředmětových vztahů chemie s fyzikou, biologií, českým jazykem a informatikou. Návrh projektu byl testován během března a dubna 2009 na dvou pražských gymnáziích – na Malostranském gymnáziu v Josefské a na Gymnáziu E. Krásnohorské. Hlavní rozdíly u testovaných gymnázií byly v počtu žáků ve třídě (15 vs. 30) a ve zkušenostech žáků se skupinovou prací (žádná vs. častá). Díky předcházejícím zkušenostem s prací ve skupinách měli žáci z Gymnázia E. Krásnohorské již osvojenou řadu kompetencí, a byli proto např. aktivnější v diskuzích a závěrečném hodnocení. Odevzdali také kvalitnější (tj. objektivně kritičtější) recenze. Úroveň časopisů a prezentací byla na obou gymnáziích podobná. Po zkušenostech s realizací projektu doporučuji se hned na začátku s žáky dohodnout na pravidlech pro práci ve skupinách (hlasitost, kdo bude dávat pozor na signály učitele, uspořádání třídy atd.). Za vhodné považuji prodloužení projektu oproti původnímu návrhu o jeden až dva týdny domácí práce (před závěrečným hodnocením) s průběžnou konzultací pokroků.

Pro doplnění výuky o „nano“ v přírodovědném semináři byla navržena exkurze zaměřená na pokročilé typy mikroskopii nazvaná „Exkurze do nanosvěta aneb Výlet za EM a SPM“. Koncept exkurze obsahuje návrh tří pracovišť, kde lze exkurzi realizovat, dále pretest, přípravné pracovní listy, pracovní listy k exkurzi a evaluační posttest. Materiály k exkurzi byly na jaře 2008 testovány se skupinou 13 žáků přírodovědného semináře pražského Gymnázia Opatov. Žáci před exkurzí dostali pretest. Úlohy v pretestu byly zaměřeny na základy mikroskopických metod (SM, EM, SPM), zejména na principy funkce daných přístrojů a objekty, které je s nimi možné pozorovat. Nízký počet správných odpovědí v pretestu (21 %) ukázal, že toho žáci o uvedených mikroskopiích příliš nevědí. Poté žáci v rámci domácí přípravy vyplňovali přípravné pracovní listy k exkurzi obsahující pět mezipředmětových úloh. Většinou byly tyto listy vyplněny uspokojivě. Samotná exkurze byla uskutečněna pod laskavým vedením RNDr. Antonína Fejfara, CSc., významného českého specialisty na SPM a fotovoltické články, na Fyzikálním ústavu AV ČR. Při exkurzi byli žáci informováni o základech EM a SPM a praktické aplikaci těchto přístrojů. Úspěšnost správných odpovědí v pracovních listech vyplňovaných během exkurze dosáhla 49 %. Poznání získané v rámci exkurze bylo ověřováno posttestem, který obsahoval úlohy podobné úlohám v pretestu. Nárůst správných odpovědí v posttestu byl (oproti pretestu) 31 %. Na základě ohlasu u žáků lze o exkurzi říci, že byla zajímavá; žáci byli zaujati možnostmi aplikace uvedených mikroskopii. Podle výsledků provedených testů se však zdá, že porozumění metodám EM a SPM vyžaduje hlubší poznání principů jejich fungování.

Kromě mezipředmětových úloh obsažených v pracovních listech k „Exkurzi do nanosvěta“ byly vytvořeny další čtyři motivační a osvojovací interdisciplinární úlohy zaměřené na „nano“. Jejich zadání a autorské řešení bylo vyčleněno do samostatného oddílu práce. Tyto úlohy propojují poznatky z chemie s dalšími přírodovědnými obory – s fyzikou, biologií a geologií.

Předkládané výukové materiály rozšířily dva testy, každý s deseti položkami (vždy s jednou správnou odpovědí), které mohou být použity jako evaluační nástroj. Testové položky široce zaměřené na nanotechnologii byly testovány v rámci realizace projektu „Když se řekne NANOTECHNOLOGIE...“ na Malostranském gymnáziu v Josefské a také osmi studenty 5. ročníku učitelství chemie na PřF UK. Úspěšnost „Testu – nanotechnologie“ zadaného žákům gymnázia po jednom týdnu práce na projektu byla 65 %; studenti PřF UK dosáhli v testu (bez předchozí přípravy) úspěšnosti 70 %. Na základě tohoto testu byla vytvořena PowerPointová prezentace s 58 snímky (uložena na CD). „Test – mikroskopy“ je možné použít na závěr „Exkurze do nanosvěta“ namísto posttestu.

Výuka o „nano“ může být názorně doplněna pěti navrženými demonstracemi, které jednoduchým způsobem umožňují, aby učitelé žákům přiblížili nanosvět (představa o velikosti „nano“ a vlastnostech nanomateriálů) a práci v něm (předvedení principu funkce SPM).

Tištěná verze rigorózní práce byla doplněna o CD, kde jsou uloženy jak obě zmiňované PowerPointové prezentace (ve formátu pptx), tak tiskové verze návrhu projektu, materiálů k exkurzi, mezipředmětových úloh a testů (vše ve formátu pdf). Na CD byly přidány také fotografie z realizace projektu na Gymnáziu v Josefské a elektronické verze výstupů z obou uskutečněných projektů (tj. žákovské časopisy o nanotechnologii a recenze). Naleznete tu též fotografie pořízené během exkurze se studenty učitelství chemie na FÚ AV ČR (viz níže).

Dále byl sestaven dotazník „Učit (se) o „nano“ – ANO nebo NE?“. Jeho prostřednictvím byl zjišťován názor na výuku o nanotechnologii na SŠ a na VŠ připravujících učitele chemie. Respondenty bylo 8 studentů učitelství chemie na PřF UK a 12 středoškolských učitelů přírodních předmětů. Z výsledků dotazníkového šetření vyplývá, že ačkoliv většina studentů ani učitelů nebyla s poznatky z nanosvěta seznámena během svého studia, považují je za žádoucí pro současnou výuku na SŠ, a to zejména v přírodovědných předmětech (chemii a fyzice). Učitelé ani studenti však nemají k dispozici materiály, které by pro výuku o „nano“ mohli použít; měli by o ně ale zájem (všichni respondenti). Za vhodnou formu/metodu výuky o nanotechnologii považují studenti zejména exkurzi a učitelé výklad s prezentací, příp. projekt. Ve většině odpovědí respondentů (75 % studentů a 100 % učitelů) zazníval názor, že o „nano“ by se učitelé měli dozvědět už při studiu na VŠ. Z navržených forem/metod pro seznámení

budoucích učitelů chemie s nanotechnologií považovali studenti i učitelé za nejpřínosnější přednášku odborníka z praxe či didaktika a/nebo exkurzi.

Praktickým příspěvkem k edukaci budoucích učitelů chemie o nanotechnologii byla přednáška (s prezentací a testem) pro studenty 5. ročníku učitelství chemie na PřF UK a následující exkurze na FÚ AV ČR. Zde měli studenti možnost seznámit se s elektronovým nolitografem a STM (tedy přístroji, které umožňují nahlédnout do nanosvěta). Přednáška i exkurze byly realizovány na podzim roku 2009. V porovnání se žáky SŠ (Gymnázium Josefská) byla úroveň znalostí studentů o „nano“ obdobná. Téma nanotechnologie bylo studenty považováno za aktuální a zajímavé. Studenti ocenili výukové materiály (prezentaci, test a pracovní listy), které dostali k dispozici.

Jak potvrdilo provedené dotazníkové šetření, nanotechnologie je atraktivním oborem, který by se měl stát součástí středoškolského kurikula. Ačkoliv byla vypracována řada materiálů a námětů pro praxi učitelů, na poli nanotechnologie zůstává mnoho místa pro další návrhy, jak implementovat poznatky z tohoto fascinujícího oboru do výuky na SŠ i jak s „nano“ seznámit budoucí (i současné) učitele chemie.

IX. POUŽITÁ LITERATURA

1. MOUDRÁ, L. *Ambivalence nanotechnologie*. Brno : Masarykova univerzita, Filozofická fakulta, Katedra Informační vědy a knihovnictví, 2006. Vedoucí diplomové práce PhDr. Michal Lorenz. Dostupné na: <http://is.muni.cz/th/65060/ff_m/?info>.
2. PRNKA, T. a ŠPERLINK, K. *6 Nanotechnologie, Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje*. Ostrava : Repronis Ostrava, 2004. ISBN 80-7329-070-7. Dostupné na: <<http://www.nanotechnologie.cz/storage/nanotechnologie6.pdf>>.
3. ANTÓN, P.S.; SILBERGLITT, R.; SCHNEIDER, J. *The Global Technology Revolution : Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015*. Arlington : RAND – National Defense Research Institute, 2001. ISBN 0-8330- 2949-5. Dostupné na: <www.rand.org/publications>.
4. MUSIL, V. Mikroelektronika a nanoelektronika. In *Perspektivy elektroniky: Sborník přednášek*. Rožnov pod Radhoštěm : Střední průmyslová škola elektrotechnická, 2005, s. 35–42. Dostupné na: <<http://www.roznovskastredni.cz/konference.php#PEL2007>>.
5. KLUSOŇ, P.; DROBEK, M.; BÁRTKOVÁ, H. et al. Vítejte v „nanosvětě“. *Chemické listy*, 2007, roč. 101, č. 4, s. 262–272. ISSN 1213-7103. Dostupné na: <<http://www.chemicke-listy.cz>>.
6. PRNKA, T. a ŠPERLINK, K. *2 Bionanotechnologie, Nanobiotechnologie, Nanomedicína, Sedmý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje*. Ostrava : Repronis Ostrava, 2006. ISBN 80-7329-134-7. Dostupné na: <<http://www.nanotechnologie.cz/storage/nanotechnologie200610.pdf>>.
7. *Nanotechnologie.cz* [online]. [cit. 29. ledna 2008]. Dostupné na: <<http://www.nanotechnologie.cz>>.
8. The Royal Society and The Royal Academy of Engineering. What are nanoscience and nanotechnologies? In *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties* [online]. 2004, s. 5–6. [cit. 29. ledna 2008]. Dostupné na: <<http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>>.
9. BUFFAT, P. and BOREL, J.P. Size effect on the melting temperature of gold particles. *Phys. Rev. A.*, 1976, vol. 13, issue 6, s. 2287–2298.
10. KUBÍNEK, R. a STRÁNSKÁ, V. *Úvod do problematiky nanotechnologií* [online]. [cit. 15. července 2008]. Dostupné na: <<http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz/nanotechnologie.pdf>>.
11. MIJATOVIC, D.; EIJKEL, J.C.T.; VAN DEN BERG, A. Technologies for nanofluidic systems: top-down vs. bottom-up – a review. *Lab on a Chip*, 2005, vol. 5, no. 5, s. 492–500. ISSN 1473-0197. Dostupné na: <<http://www.rsc.org/publishing/journals/LC/article.asp?doi=b416951d>>.
12. LEONHARDT, U. Optical metamaterials: Invisibility cup. *Nature Photonics*, 2007, vol. 1, issue 4, s. 207–208. Dostupné na: <www.nature.com/naturephotonics>.

13. LIZ-MARZAN, L.M. Nanometals: Formation and color. *Materials today*, 2004, vol. 7, issue 2, s. 26–31. ISSN 1369-7021. Dostupné na:
<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6X1J-4BHSWT8-W&_user=10&_coverDate=02/29/2004&_alid=911789033&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=7244&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=cddab3dd6bae56e51ea3059cfb99df2a>.
14. *The British Museum* [online]. [cit. 29. ledna 2008]. Dostupné na:
<<http://www.britishmuseum.org>>.
15. PÉREZ-ARANTEGUI, J.; MOLERA, J.; LARREA, A. et al. Luster Pottery from the Thirteenth Century to the Sixteenth Century: a Nanostructured Thin Metallic Film. *Journal of the American Ceramic Society*, 2001, vol. 84, issue 2, s. 442–446. Dostupné na:
<http://www3.interscience.wiley.com/search/allsearch?mode=viewselected&product=journal&ID=118965158&view_selected.x=44&view_selected.y=8>.
16. BALL, P. Where is There Wisdom to be Found in Ancient Materials Technologies? *MRS Bull.*, 2005, vol. 30, no. 3, s. 149–151.
17. VON HIPPEL, A.R. *Molecular science and molecular engineering*. New York : The Technology Press of MIT and John Wiley and Sons, 1959.
18. FEYNMAN, R.P. There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics. *Eng Sci Mag*, 1960, vol. 23, no. 5. Přepis článku dostupný na:
<<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>>.
19. DREXLER, K.E. Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1981, vol. 78, no. 9, s. 5275–5278. Dostupné na: <<http://www.pnas.org>>.
20. DREXLER, K.E. *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York : Anchor Books, 1986. Dostupné na: <http://www.e-drexler.com/d/06/00/EOC/EOC_Cover.html>.
21. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. [cit. 12. února 2008.] Dostupné na:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Grey_goo>.
22. KAŠPAROVÁ-ŠVÍGLEROVÁ, P. a SEDLÁK, M. Biomimetika a biominerály: Jak přírodní materiály inspirují člověka. *Vesmír*, 2003, roč. 82, č. 11, s. 616–619. Dostupné na:
<<http://www.vesmir.cz/clanky/clanek/id/598>>.
23. ALBERTS, B.; BRAY, D.; JOHNSON, A. et al. *Základy buněčné biologie: Úvod do molekulární biologie buňky*. Ústí nad Labem : Espero Publishing, 1998. ISBN 80-902906-0-4.
24. WHITESIDES, G.M.; MATHIAS, J.P.; SETO, C.T. Molecular self-assembly and nanochemistry: a chemical strategy for the synthesis of nanostructures. *Science*, 1991, vol. 254, issue 5036, s. 1312–1319.
25. ŠTOLL, I. *Fyzika pro gymnázia: Fyzika mikrosvěta*. 2. vyd. Praha : Prometheus spol. s r. o., 1993. ISBN 80-85849-48-8.

26. KUBÍNEK, R. a PŮLKRÁBEK, J. *Moderní mikroskopické techniky* [online]. Olomouc : Katedra experimentální fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, Oddělení didaktiky fyziky. [cit. 28. ledna 2008]. Dostupné na: <<http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz>>.
27. RUSKA, E. *Autobiography* [online]. 1986. [cit. 15. dubna 2008]. Dostupné na: <http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/ruska-autobio.html>.
28. McMULLAN, D. *Scanning electron microscopy 1928–1965* [online]. 1993. [cit. 15. dubna 2008]. Dostupné na: <<http://www-g.eng.cam.ac.uk/125/achievements/mcmullan/mcm.htm>>.
29. *Electron Microscopy* [online]. [cit. 3. ledna 2009]. Dostupné na: <http://steve.gb.com/science/electron_microscopy.html>.
30. BINNIG, G.; RÖHRER, H.; GERBER, C. et al. Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. *Phys. Rev. Lett.*, 1982, vol. 49, issue 1, s. 57–61.
31. BINNIG, G. and RÖHRER, H. Scanning tunneling microscopy. *Surface Sci*, 1983, vol. 126, issues 1–3, s. 236–244. Dostupné na: <<http://www.sciencedirect.com>>.
32. *The Nobel Foundation* [online]. [cit. 14. února 2008]. Dostupné na: <<http://nobelprize.org>>.
33. *Stručný popis metod SPM* [online]. Olomouc : Laboratoř mikroskopie atomárních sil, 2007. [cit. 2. ledna 2008]. Dostupné na: <<http://atmilab.upol.cz/texty/ospm.pdf>>.
34. KUBÍNEK, R.; VŮJTEK, M.; MAŠLÁŇ, M. *Mikroskopie skenující sondou*. Olomouc : Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, 2003, s. 145. ISBN 80-244-0602-0. Pro potřeby výuky je k dispozici volná verze textu ve formátu pdf dostupná na: <<http://atmilab.upol.cz/brozura.html>>.
35. BINNIG, G.; QUATE, C.F.; GERBER, C. Atomic Force Microscopy. *Phys. Rev. Lett.*, 1986, vol. 56, issue 9, s. 930–933.
36. EIGLER, D.M. and SCHWEIZER, E.K. Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. *Nature*, 1990, vol. 344, s. 524–526. Dostupné na: <<http://www.nature.com>>.
37. *Czech Nanoteam* [online]. [cit. 30. července 2008]. Dostupné na: <<http://www.fzu.cz/~nanoteam>>.
38. KOČKA, J. Proč ta nanománie? *Technický týdeník*, 2004, č. 24 [online]. [cit. 30. července 2008]. Dostupné na: <<http://www.fzu.cz/~nanoteam/what/index.php>>.
39. *Nanotechnologie* [online]. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická Univerzita Ostrava. [cit. 15. července 2008]. Dostupné na: <<http://nanotechnologie.vsb.cz>>.
40. *Nanosilver - elektronický obchod s nanoprodukty* [online]. [cit. 15. července 2008]. Dostupné na: <<http://www.nanosilver.cz>>.
41. *Ekonom* [online]. [cit. 31. března 2009]. Dostupné na: <<http://ekonom.ihned.cz/c1-33886550-nanocasticemi-proti-spine>>.
42. *Elmarco* [online]. [cit. 15. července 2008]. Dostupné na: <<http://www.elmarco.cz>>.

43. International Carbon Black Association (ICBA) [online]. [cit. 13. února 2008]. Dostupné na: <<http://www.carbon-black.org>>.
44. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 12. února 2008]. Dostupné na: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Saze>>.
45. LHOTÁK, P. *Chemie fullerenů* [online]. [cit. 14. února 2008]. Dostupné na: <http://www.uochb.cas.cz/Zpravy/PostGrad2004/7_Lhotak.pdf>.
46. BENÁKOVÁ, Z. *Fullereny* [online]. 2004. [cit. 14. února 2008]. Dostupné na: <http://math.fce.vutbr.cz/konference/workshop_2004/pdf/R03.pdf>.
47. GRÉGR, J. *Moderní pohled na formy a modifikace uhlíku* [online]. [cit. 14. února 2008]. Dostupné na: <http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/3Aplikace/3.2_publikace/%5B3.2.51%5D.pdf>.
48. KROTO, H.W.; HEATH, J.R.; O'BRIEN, S.C. et al. C₆₀: Buckminsterfullerene. *Nature*, 1985, vol. 318, s. 162–163. Dostupné na: <<http://www.nature.com>>.
49. SODOMKA, J. *Fullereny – struktura, vlastnosti a perspektivy použití v dopravě* [online]. [cit. 14. února 2008]. Dostupné na: <http://www.cvut.cz/pracoviste/odbor-rozvoje/dokumenty/hab_inaug/hp/2003/hp2003-05cz.pdf>.
50. KOSHLAND, D.E. Molecule of the Year. *Science*, 1991, vol. 254, no. 5039, s. 1705.
51. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. [cit. 12. února 2008.] Dostupné na: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene>>.
52. HUFFMAN, D.R. Synthesis, Structure, and Properties of Fullerenes. In *Nanomaterials, Synthesis, Properties and Application*. Inst. of Physics Publishing, 1996, s. 477–494. ISBN 0-7503-0358-1.
53. IJIMA, S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 1991, vol. 354, s. 56–58. Dostupné na: <<http://www.nature.com>>.
54. *The Wondrous World of Carbon Nanotubes: a review of current carbon nanotube technologies* [online]. Eindhoven : University of Technology, 2003. [cit. 9. února 2008]. Dostupné na: <http://engineer.tamu.edu/safety/guidelines/Nanotechnology/Wondrous%20World%20of%20Carbon%20Nanotubes_Final.pdf>.
55. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. [cit. 12. února 2008.] Dostupné na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanofoam>.
56. RODE, A.V.; GAMALY, E.G.; CHRISTY, A.G. et al. Unconventional magnetism in all-carbon nanofoam. *Phys. Rev. B*, 2004, vol. 70, issue 5, s. 9. Dostupné na: <http://laserspark.anu.edu.au/Pubs/rode_04_unconventional.pdf>.
57. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. [cit. 12. února 2008.] Dostupné na: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Nanobiotechnology>>.

58. CHOW, D.C.; JOHANNES, M.S.; LEE, W.K. et al. Nanofabrication with biomolecules. *Nanotoday*, 2005, vol. 8, issue 12, s. 30–39. Dostupné na: <<http://www.sciencedirect.com>>.
59. PETR, J. Jak sežehnout nádor? [online]. *OSEL (Objective Source E-Learning)*, 2003. [cit. 18. července 2008]. Dostupné na: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=456>>.
60. PŘEUČIL, P. Platinové svaly pro supermana [online]. *21. STOLETÍ : Revue objevů, vědy, techniky a lidí*, 2003. [cit. 18. července 2008]. Dostupné na: <<http://www.21stoleti.cz/view.php?cislocclanku=2003081822>>.
61. FISHER, R. *Učíme děti myslet a učit se*. Praha : Portál, 1997. ISBN 80-7178-120-7.
62. ŠARBORT, M. Nobelova cena a obří disky [online]. *Korespondenční aktivity fyzikálního elaborování. KAFE 2007/2008*, 2007. [cit. 29. ledna 2008]. Dostupné na: <http://ganymed.math.muni.cz/pack_attachments/0000/0011/kafe2.2.pdf>.
63. MIČKA, Z. a LUKEŠ, I. *Anorganická chemie I: Teoretická část*. Praha : Karolinum, 2003. ISBN 80-7184-988-X.
64. MAREČEK, A. a HONZA, J. *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. 1. díl. 2. přeprac. vyd. Brno : Proton, 1997, s. 248. ISBN 80-902402-0-8.
65. FLEGR, J. *Evoluční biologie*. Praha : Academia, 2005. ISBN 80-200-1270-2.
66. European Science Foundation. *Nanomedicine: An ESF – European Medical Research Councils (EMRC) Forward Look report*. Strasbourg : IREG, 2005. ISBN 2-912049-52-0. Dostupné na: <[http://www.esf.org/index.php?eID=tx_ccdamdl_file&p\[file\]=4466&p\[dl\]=1&p\[pid\]=279&p\[site\]=European%20Science%20Foundation&p\[t\]=1220031630&hash=d897c289a634227c2f48fea33503d5cf&l=en](http://www.esf.org/index.php?eID=tx_ccdamdl_file&p[file]=4466&p[dl]=1&p[pid]=279&p[site]=European%20Science%20Foundation&p[t]=1220031630&hash=d897c289a634227c2f48fea33503d5cf&l=en)>.
67. *Laboratoř mikroskopie atomárních sil* [online]. Olomouc : Katedra experimentální fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého a Centrum výzkumu nanomateriálů. [cit. 2. května 2009]. Dostupné na: <<http://atmilab.upol.cz>>.
68. ČEJKA, J. A ŽILKOVÁ, N. Syntéza a struktura zeolitů. *Chemické listy*, 2000, roč. 94, č. 5, s. 278–287. ISSN 1213-7103. Dostupné na: <<http://www.chemicke-listy.cz>>.
69. GREŠ, J. První nanolék je tady. *Respekt*, 2005, roč. 16, č. 6, s. 12.
70. GABRYŠ, J. *Nanotrubky* [online]. 2005. [cit. 14. února 2008]. Dostupné na: <<http://disk.jabbim.cz/sef@njs.netlab.cz/nanotrubky.pdf>>.
71. JOHANSSON, B. *Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2007: The Discovery of Giant Magnetoresistance* [online]. Stockholm : The Royal Swedish Academy of Sciences, 2007. [cit. 29. ledna 2008]. Dostupné na: <<http://agenda.albanova.se/conferenceDisplay.py?confId=413>>.
72. MONTHIOUX, M. and KUZNETSOV, V.L. Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes? *Carbon*, 2006, vol. 44, issue 9, s. 1621–1623. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TWD-4JWMT99-

1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=773187a0b1ea3ed430356d60dcff2d00>.

73. NASALEAN, L.; BAUDREY, S.; LEONTIS, N.B. et al. Controlling RNA self-assembly to form filaments. *Nucleic Acids Res.*, 2006, vol. 34, no. 5, s. 1381–1392. Dostupné na: <<http://nar.oxfordjournals.org/cgi/reprint/34/5/1381.pdf>>.

74. NĚMEC, P.; NAHÁLKOVÁ, P.; SPRINZL, D. et al. *Polovodičová spintronika a časově rozlišená laserová spektroskopie* [online]. Praha : Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy. [cit. 16. července 2008]. Dostupné na: <<http://physics.mff.cuni.cz/kchfo/ooo/pdf/spin-komplet.pdf> >.

75. TANIGUCHI, N. On the Basic Concept of Nanotechnology. *Proc. Int. Cong. Prod. Eng.*, 1974.

76. *Technická univerzita v Liberci* [online]. [cit. 15. července 2008]. Dostupné na: <<http://www.tul.cz>>.

77. TRUHLÁŘ, M. *Kvantové tečky a jejich využití* [online]. Brno : Masarykova univerzita, 2005. [cit. 17. července 2008]. Dostupné na: <<http://mealtiner.net/publikace/tecky.pdf>>.

78. NOSKA, M. Ovládnou nanotechnologie oblast IT? *ComputerWorld*, 2008, roč. 19, č. 1, s. 9–10. ISSN 1210-9924.

79. V Liberci si můžete vyrobit vlastní vzorek netkané nanotextilie [online]. *Novinky.cz*, 2009. [cit. 31. března 2009]. Dostupné na: <<http://www.novinky.cz/vzdelavani/164937-v-liberci-si-muzete-vyrobti-vlastni-vzorek-netkane-nanotextilie.html>>.

80. AMBROŽ, A. *Úvod do chemie nových materiálů - studijní text pro střední školy*. Praha : Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra učitelství a didaktiky chemie, 2008. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Daniel Nižňanský, Ph.D.

81. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 12. února 2008]. Dostupné na: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Biotechnologie>>.

82. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 12. února 2008]. Dostupné na: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Magnetismus>>.

Tato rigorózní práce vznikla rozšířením následující diplomové práce:

HÁJKOVÁ, Z. *Návrh implementace nových poznatků z interdisciplinárního oboru „nanotechnologie“ do výuky přírodovědných předmětů na SŠ*. Praha : Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra učitelství a didaktiky chemie, 2009. Vedoucí diplomové práce RNDr. Petr Šmejkal, Ph.D.