

NANO – fascinující fenomén současnosti

Nanočástice, nanostruktury a nanotechnologie
– důmyslné formy hmoty

Od objevu fenoménu po biomedicínské aplikace

Tajemná realita NANO

*Důmyslné formy hmoty otvírající široký prostor
převratnému vývoji vědy a novým technologiím*

Anton Fojtík

Milan Kálal

Tasilo Prnka

Karel Šperlink

Miroslav Mašláň

Radek Zbořil

Vladimír Bencko

Milan Šiňor

Česká společnost pro nové materiály a technologie (ČSNMT) je řešitelem projektu LE 11003 „Oborová kontaktní organizace pro nové materiály a technologie ČNMT“ v rámci programu EUPRO II, vyhlášeného MŠMT na podporu integrace českého výzkumu a vývoje do sítě evropských výzkumných pracovišť.

V rámci řešení projektu v roce 2013 byla připravena publikace „NANO-fascinující fenomén současnosti“, jejímž hlavním autorem a vedoucím kolektivu spoluautorů je doc. Dr. Ing. Anton Fojtík, CSc. (viz kap. 1 – Úvod).

Považuji za oprávněný předpoklad, že tato kniha může být kvalitní učebnicí pro studenty tohoto vědního oboru se zaměřením na aplikaci nanotechnologií v biologii a medicíně.

Knihu věnujeme památce našeho vzácného kolegy Ing. Tasila Prnky, DrSc., který nás opustil před více než čtyřmi roky. Taso se významně zasloužil o založení Nanosekce při ČSNMT, kde na jeho práci velice dobře navázala Ing. Jiřina Shrbená. Byl iniciátorem programu „Nanotechnologie pro společnost“, konferencí „METAL“ a „NANOCON“ a zastupoval ČSNMT v řídícím výboru „Federace evropských materiálových společností“.

doc. Ing. Karel Šperlink, CSc.
prezident ČSNMT

PŘEDMLUVA

Na knižní trh přichází publikace věnovaná nanostrukturám, nanočásticím a nanotechnologiím, ve které je po vysvětlení základních pojmů a principů této moderní oblasti vědy pozornost soustředěna zejména na její možné využití v biomedicině, kde jsou její potenciální aplikace doslova bez hranic. Vzhledem k tomu, že bádání v těchto oblastech je na neustálém vzestupu, dochází v této souvislosti i k akreditacím nových studijních oborů, které jsou věnovány přípravě potřebných specialistů v oblasti „nano“. Z tohoto důvodu je tedy každá publikace zabývající se uvedenou problematikou velice vítaná, zejména pokud by mohla být také využita v procesu výuky. Podle mého názoru tento předpoklad uvedená kniha zcela jistě splňuje.

Autorům se podařilo v publikaci velice čtivým jazykem, který pomůže vtáhnout čtenáře do fascinujícího světa velice malých forem hmoty, popsat nejenom zajímavou historii samotného objevu nanočástic jako takových, ale také zde ilustrovat současný stav znalostí z tohoto vědního oboru, včetně využití unikátních vlastností popisovaných nanostruktur ve výzkumu i praktických aplikacích (zejména v lékařství).

Ten, kdo si prolistuje tuto knihu, celkem rychle dojde k závěru, že z ní mohou čerpat jak úplní začátečníci, kteří se danou problematikou teprve hodlají zabývat (pro tuto část čtenářů budou velice užitečné zejména první kapitoly), tak i badatelé, kteří v této oblasti vědy již pracují. Pro co nesnadnější přenos informací je text vybaven velkým množstvím obrázků, tabulek a ilustrací. Barevnost knižky podtrhuje celkový příznivý dojem, který dle mého názoru publikace na zájemce učiní.

V prvním Appendixu zde čtenář také najde i velmi přijatelně zpracovaný kvantově mechanický popis podstaty unikátních vlastností nanočástic. Pro práci s knihou není prostudování tohoto Appendixu nezbytné a lze ho bez obav vynechat. Je zde však uveden pro ty zájemce, kteří mají touhu nejen „vědět“, ale i „rozumět“ a „chápat“. A do této vyšší úrovně poznání se mohou posunout kdykoliv později, pokud si to budou přát. Dosažení takového cíle ovšem předpokládá jistou úroveň znalostí z matematiky a fyziky, které je za tímto účelem třeba nejprve získat.

Na českém knižním trhu podobná publikace dosud chyběla. Proto jsem přesvědčen, že si kniha brzo najde své čtenáře a stane se nepostradatelnou „učebnicí“ v knihovnách všech, kteří se rozhodli studovat tento nesmírně zajímavý a rychle se rozvíjející obor. Věřím také, že i pro vědce, pracující v základním výzkumu v oblasti nanočástic, nanostruktur a nanotechnologií, jakož i pro aplikační vědecké týmy se kniha může stát užitečnou „příručkou“, kterou budou ve své práci rádi využívat, přičemž jim v některých oblastech jejich bádání může pomoci rozšířit spektrum znalostí.

Zcela závěrem bych také rád poděkoval kolektivu autorů za jejich nelehký, ale zdařilý počín. A upřímně přeji knize mnoho spokojených čtenářů.

Prof. MUDr. Jozef Rosina, PhD.

Děkan Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze

Autoři

Doc. Ing. Anton Fojtík, CSc.

Fakulta biomedicínského inženýrství, ČVUT v Praze

Doc. Ing. Milan Kálal, CSc.

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

Ing. Tasilo Prnka

TANGER, spol. s r.o.

Doc. Ing. Karel Šperlink, CSc.

Prezident

Česká společnost pro nové materiály a technologie

Prof. RNDr. Miroslav Mašláň, CSc.

Universita Palackého, Olomouc

Prof. RNDr. Radek Zbořil, Ph.D.

generální ředitel

Regionální centrum pro nové technologie a materiály, Olomouc

Prof. MUDr. Vladimír Bencko, DrSc.

1. lékařská fakulta, UK, Praha

Doc. Ing. Milan Šiňor, Dr.

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	HISTORICKÝ POHLED	17
2.1	První experimenty	17
2.2	Období zrodu	19
3	SOUČASNÝ STAV	21
4	NANOSTRUKTURY A NANOČÁSTICE	23
5	FYZIKÁLNÍ PODSTATA NANOSTRUKTUR	27
5.1	Kvantová jáma	28
5.2	Kvantová tečka	31
5.3	Shrnutí jevu prostorové restrikce	33
6	PŘÍPRAVA KVANTOVÝCH NANOSTRUKTUR	34
6.1	Top-down	34
6.2	Bottom-Up	34
7	VÝZNAMNÉ METODY PŘÍPRAVY A STUDIA NANOSTRUKTUR	35
7.1	Chemické metody	35
7.2	Chemické využití micelárních systémů	35
7.3	Chemické rozpouštění – „Chemical Etching“	36
7.4	Pulsní laserová metoda	36
7.5	Stínová (nebo také „molekulární“) litografie	36
8	NĚKTERÉ METODY DETEKCE NANOSTRUKTUR	39
8.1	Elektronová mikroskopie	39
8.2	Rastrovací tunelová mikroskopie	39
8.3	Mikroskopie atomárních sil	41
8.4	Kapalinová chromatografie	42
9	CESTY KE KVANTOVÝM NANOSTRUKTURÁM	43
9.1	Rozměrový efekt u polovodičových nanočástic	43
9.2	Exciton	43
9.3	Lokalizované částice	44
9.3.1	Excitony	44
9.4	Absorpční spektra polovodičových materiálů	45
9.5	Absorpce excitonů	45
9.6	Absorpční spektra nanočástic	46
9.7	Struktura spekter nanočástic	47
9.8	Magické aglomerační číslo Q	48
9.9	Rozměrový efekt Q-částic	48
9.10	Fotooxidace částic – optický mlýn	49
9.11	Vliv prostředí na povrchové vlastnosti	50
9.12	Potvrzení vyšších excitovaných stavů nanočástice	51
10	POVRCHOVÉ VLASTNOSTI	52
10.1	Povrchově modifikované nanočástice	53
10.2	Nosiče náboje v nanočásticích polovodičů	54
11	VÍCEVRSTVÉ „SANDWICHOVÉ“ STRUKTURY	56
11.1	Separace náboje – objasnění senzibilizace	57
11.2	Separace náboje – fotovoltaické materiály	61
11.3	Emise fotoelektronů z kvantových nanostruktur	61
11.4	Interakce nosičů náboje ($e^- + h^+$)	64

12 NANOČÁSTICE KŘEMÍKU.....	66
13 METODY SYNTÉZY NANOČÁSTIC ŽELEZA A OXIDŮ ŽELEZA	70
13.1 Chemické metody (srážení, krystalizace)	70
13.1.1 Syntéza nanočástic Fe_3O_4 oxidativní hydrolýzou síranu železnatého	70
13.1.2 Syntéza nanočástic Fe_3O_4 alkalickou hydrolýzou směsi iontů Fe^{2+} a Fe^{3+}	71
13.1.3 Syntéza $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ pevnolátkovou reakcí	71
13.2 Tepelný rozklad (pyrolýza)	72
13.2.1 Syntéza nanočástic železa rozkladem ferrihydritu	72
13.2.2 Syntéza nanočástic $\text{Fe}(0)$ redukcí oxidů železa	72
13.2.3 Syntéza nanočástic $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ z octanu železnatého	73
13.3 Jiné metody	73
13.3.1 Sonochemické metody	73
13.3.2 Elektrojiskrová eroze	74
13.3.3 Syntéza v mikrovlnném výboji	75
13.3.4 Laserová pyrolýza	75
13.3.5 Syntéza Fe_3O_4 magnetozomů pomocí magnetotaktických bakterií	77
14 APLIKACE NANOČÁSTIC ŽELEZA A OXIDŮ ŽELEZA	78
14.1 Využití nanočástic Fe_3O_4 a $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ v medicíně a bioaplikací	78
14.1.1 Kontrastní látky při zobrazování metodou magnetické rezonance (MRI) ..	78
14.1.2 Biomagnetické separace	78
14.1.3 Magnetické nosiče cytotoxických látek	79
14.1.4 Nanočástice při léčbě metodou hypertermie.....	79
14.2 Nanočástice a katalýza	79
14.3 Použití nanočásticového železa k čištění podzemních vod	80
Seznam literatury (KAPITOLY 1-14)	82
15 APPENDIX A – ZÁKLADY KVANTOVÉ MECHANIKY	85
15.1 Vlnové vlastnosti částic	85
15.2 Schrödingerova rovnice	85
15.3 Některé jednoduché kvantové systémy	88
15.3.1 Částice v nekonečné potenciálové jámě.....	88
15.3.2 Částice v konečné potenciálové jámě	91
15.3.3 Průchod částice potenciálovou bariérou (Tunelový jev).....	93
15.3.4 Harmonický oscilátor	95
16 APPENDIX B – ŽELEZO A OXIDY ŽELEZA.....	98
16.1 Železo	98
16.2 Oxidy železa	99
16.2.1 Oxid železitý – Fe_2O_3	99
16.2.2 Oxid železnato-železitý – Fe_3O_4 (magnetit).....	102
16.2.3 FeO – wüstit.....	103
17 BIOTECHNOLOGIE	104
17.1 Lekce z přírody – molekulární biologie	104
17.2 Biologické stavební částice	105
17.2.1 Nukleové kyseliny (DNA, RNA).....	108
17.2.2 Proteiny a peptidy	114
17.2.3 Lipidy.....	118
17.2.4 Polysacharidy	119
18 BIOLOGICKÉ NANOSTRUKTURY A MIKROSTRUKTURY	122
18.1 Strategie vytváření struktur na molekulární úrovni	122
18.1.1 Biomolekulární samosestavování.....	123

18.1.2	Biomolekulární samoorganizace.....	124
18.2	Biologické prostředí v nanorozměrech	125
18.2.1	Přitažlivost a setrvačnost	125
18.2.2	Tepelný pohyb.....	126
18.2.3	Vodní prostředí.....	126
18.3	Hierarchické uspořádání	127
18.4	Biomíneralizace	129
18.4.1	Plž – Ušň mořská	132
18.4.2	Magnetotaktická bakterie.....	133
18.5	Biologické membrány	133
18.6	Molekulární kanály a pumpy	135
18.7	Molekulární motory	135
18.8	Molekulární továrna – buňka	139
18.8.1	Jádro.....	140
18.8.2	Syntéza proteinů	141
18.9	Aplikace biomolekul a biosystémů –biotechnologie	143
18.9.1	Proteinové inženýrství	144
18.9.2	DNA v biotechnologii.....	144
18.9.3	RNA bio-technologie.....	154
18.9.4	Peptidy a proteiny v biotechnologiích	156
18.9.5	Využití lipidů v bio-(nano) technologiích.....	162
18.9.6	Další biologické objekty	163
18.9.7	Závěry.....	164
19	NANO V BIOTECHNOLOGIÍCH	165
19.1	Bionanotechnologie	166
19.2	Biotechnologie, biofarmacie a medicína	168
20	ZOBRAZOVACÍ A ANALYTICKÉ METODY, PŘÍSTROJE PRO NANO	170
20.1	Moderní zobrazovací a analytické metody a přístroje	170
20.1.1	Optické zobrazování a analýza.....	171
20.1.2	Elektronová mikroskopie a analýza.....	183
20.1.3	Mikroskopie skenující sondou.....	186
20.1.4	RTG diagnostika a nukleární zobrazování	189
20.1.5	Lékařská sonografie.....	193
20.1.6	Vybrané molekulárně-biologické analytické techniky	194
20.2	Nanobiosenzory	204
20.2.1	Senzory s nosníkovým uspořádáním	204
20.2.2	Senzory na bázi nanotrubic.....	206
20.2.3	Senzory na bázi nanodrátů	208
20.2.4	Bio-bar code ASSAY (biologický čárový kód)	209
21	NANOMATERIALY V NANO-BIOAPLIKACÍCH.....	211
21.1	Nanočástice pro biomolekulární diagnostiku	211
21.1.1	Nanočástice zlata.....	211
21.1.2	Využití při elektrochemické detekci	214
21.1.3	Kvantové tečky.....	214
21.2	Nanočástice SiO ₂	217
21.2.1	Využití při optické detekci	218
21.2.2	Další příklady použití nanočástic SiO ₂	218
21.3	Magnetické nanočástice	220
21.3.1	Použití při zobrazování magnetickou rezonancí.....	220

21.3.2	Použití při magnetickém označování	220
21.4	Jiné nanočástice	221
21.5	Uhlíkové nanomateriály	221
21.5.1	C ₆₀ – fullereny.....	222
21.5.2	Syntéza fullerenů.....	223
21.5.3	Vlastnosti a uplatnění.....	223
21.6	Uhlíkové nanotrubicе	224
21.6.1	Struktura.....	225
21.6.2	Syntéza.....	225
21.6.3	Dopované uhlíkové nanotrubicе.....	227
21.6.4	Endohedrál ní uhlíkové nanotrubicе.....	227
21.6.5	Funkcionalizované uhlíkové nanotrubicе.....	227
21.6.6	Vlastnosti a uplatnění.....	228
21.6.7	Potenciální využití v biotechnologiích a nanomedicině.....	229
21.7	Nanočástice hydroxyapatitu (NanoHAP)	230
21.8	Nanočástice stříbra	231
21.9	Dendrimery	232
21.10	Ormosily	233
21.11	Polymerní nanovlákn a	234
21.12	Nanoporézn í materiály	236
21.13	PEG (polyetylen glykol)	236
22	BIOTECHNOLOGIE, FARMACIE A NANOTECHNOLOGIE.....	237
22.1	Příspěvek biotechnologií k farmakologii a farmacii	239
22.1.1	Výzkum lidského genomu	239
22.1.2	Diagnostika	239
22.1.3	Terapeutika	240
22.1.4	Farmakogenetika	240
22.1.5	Vakcíny a protilátky.....	241
22.1.6	Současná praxe při objevování nových léků	242
22.1.7	Stručný popis postupu při objevování nových léků.....	243
22.1.8	Syntéza látek	244
22.1.9	Knihovny biologických látek.....	244
22.1.10	Identifikace receptorů (targetů)	245
22.1.11	Prověřování targetů	246
22.2	Možnosti aplikace mikro- a nanotechnologií	247
22.2.1	Aplikace moderních zobrazovacích a analytických metod.....	249
22.3	Cílená doprava léků do organismu	249
22.3.1	Způsoby podávání léků.....	249
22.4	Nové systémy cílené dopravy léků do organismu – přínos nanotechnologií	252
22.4.1	Nosiče léků	253
23	NANO V MEDICÍNĚ	258
23.1	Přehled oblastí nanomedicíny	258
23.2	Zobrazovací a diagnostické metody a zařízení	259
23.2.1	Diagnostika in vitro.....	259
23.2.2	Nano-zobrazování in vivo.....	261
23.3	Tkáňové inženýrství	263
23.3.1	Materiály a způsoby syntézy koster pro podporu tkání.....	265
23.3.2	Vybrané způsoby syntézy koster	265
23.4	Regenerace tkání – přínos nanotechnologií	266

23.4.1	Inteligentní biomateriály a chytré implantáty	266
23.4.2	Bioaktivní signalizační molekuly	267
23.4.3	Buněčná terapie	268
23.4.4	Další zaměření výzkumu	269
23.5	Přínos nanotechnologií k terapii rakoviny	269
23.5.1	Onkologický program České republiky (NOP)	270
23.5.2	Podpora výzkumu rakoviny v ČR	271
23.5.3	Cancer Nanotechnology Plan	274
23.5.4	Současný přínos nanotechnologií v léčbě rakoviny	275
23.5.5	Možnosti, které vyplývají ze zás. porozumění rakovinným procesům	276
24	MOLEKULÁRNÍ BIOTECHNOLOGIE	280
24.1	Biovýroba	281
24.2	Monoklonální protilátky	281
24.3	Buněčné kultury	282
24.3.1	Buněčné kultury rostlin	282
24.3.2	Buněčné kultury hmyzu	282
24.3.3	Buněčné kultury savců	282
24.4	Technologie rekombinace DNA	283
24.5	Klonování	283
24.5.1	Molekulární klonování	283
24.5.2	Buněčné klonování	284
24.5.3	Klonování zvířat	284
24.6	Proteinové inženýrství	284
24.7	Biosenzory	284
24.8	Otisky DNA (fingerprinting)	285
25	VÝHLEDY NANO-BIO	286