

TAM DOLE JE SPOUSTA MÍST A NEB OD KVANTOVÝCH TEČEK K NANOARCHITEKTUŘE Miloš Florián

V posledních desetiletích si vědci kladou řadu otázek: Je vesmír spojitý, jak jsme se to učili ve škole, nebo se spíše podobá látce utkané z jednotlivých vláken? Pokud bychom mohli zkoumat dostatečně malé rozměry, uviděli bychom nakonec dále nedělitelné objemy, které už nelze rozložit na nic menšího? A jak to vypadá s časem? Mění se příroda spojitě, nebo se svět vyvíjí řadou velkých i malých kroků a podobá se spíše digitálnímu počítači? There is a Lot of Space Down There or From Quantum Dots to Nanoarchitecture / The past decades have seen scientists posing themselves a number of questions: Is the universe connected as we were taught at school; or rather does it resemble a substance in which the individual fibres interweave? If we were able to examine minute proportions thoroughly, could we ultimately discern those indivisible dimensions which cannot be broken down into anything smaller? And what does time look like? Does nature change in a concerted manner or does the world evolve by means of a series of major as well as minor steps, or rather does it resemble a digital computer?

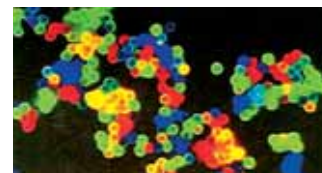
V posledních sedmnácti letech jsme se při hledání odpovědí na tyto otázky dočkali velkého pokroku. Teorie s podivným názvem *kvantová teorie gravitačních smyček (loop quantum gravity - LQG)* předpovídá, že prostor a čas jsou skutečně složeny z malých částic. Teorie se zdá být dovršením obecné teorie relativity, podle které gravitační síla vzniká jako důsledek zakřivení prostoru a času přítomností hmoty, a teorie kvantové mechaniky, jejíž rovnice vyžadují, aby se například energie atomu mohly měnit jen po určitých množstvích – kvantech. Kvantová teorie úspěšně předpovídá vlastnosti a chování atomů a elementárních částic a sil, které je drží pohromadě. Poskytuje nám základ k pochopení chemie, atomární a subatomární fyziky, elektroniky, a dokonce biologie.

NANOTECHNOLOGIE

V současnosti ve vědě a technologii probíhá revoluce, kterou umožňuje naše schopnost měřit, manipulovat a organizovat

hmotu v oblasti nanometrů. Ve vědeckých a technických souvislostech používáme předponu *nano-* pro miliardtinu dané jednotky. Nanometr je např. miliardtina metru. Oblast mezi jedním nanometrem a dejme tomu 100 nanometry je prostor pro nanotechnologie a příslušný výzkum. Nejde o další fázi miniaturizace, ale o kvalitativně nové chování hmoty. Komponenty okolo jednoho nanometru již nemusejí vykazovat chování typické pro makroskopické objekty.

Čím menší zařízení se navrhuji a realizují, tím víc se blíží světu kvantové mechaniky, kde se fyzikální zákony podstatně liší od těch, které známe z makrosvěta. Jedním z příkladů jsou *kvantové tečky*, kde se studuje možnost přenosu informací pomocí přeskoků jednotlivých elektronů z jedné tečky na druhou. Kvantové tečky jsou na podklad nanosené ostrůvky fluorescentních nanočástic vodivého nebo polovodivého materiálu, jež jsou tak malé, že mohou nést jen jeden elektron. Tento elektron nepatří k elektronům atomů tvořících kvantovou tečku a může být



1 makrosnímek kvantových teček



2-6 sekvence generování stavby a detail struktury / Atom House, studie, autor: M. Florián, spolupráce: M. Kutálek, 2005-7. Elektrické motory v makroměřítku pracují na základě magnetismu. Tento princip nefunguje v nanoměřítku, protože magnetický jev ztrácí na síle, když se měřítko zmenšuje, a naopak se zesiluje elektrický jev. Elektrický jev je dostatečně silný, aby způsobil pohyb i v makroměřítku – a to je to, co způsobuje statickou elektrinu v oděvu. V nanoměřítku je to všemocná síla. Ve skutečnosti se jedná o sílu, která drží atomy a molekuly pohromadě. Je možné analyzovat Drexlerovy nanomotory o průměru 390 nm a šířce 25 nm. Takový nanomotor rotuje na velikost 800 megahertzů. Lopatky s elektrony se pohybují rychlostí 3 machy, přičemž uvnitř motoru musí být vakuum. Spotřebuje 110 nanoampérů při 10 voltech a vyrobí 1,1 mikrowattu. Nanomotor má přítom velikost kuličky na hrotu propisovací tužky. Jestliže je nanomotorů miliarda, vyrobí 1,1 kilowattu. Správně projektovaný a postavený nanomotor nemá žádné povrchové nedokonalosti a zrnitost. Atomově hladký neznámá matematicky hladký. V případě, když se budou pohybovat dva povrchy vytvořené z atomů jeden po druhém, budou atomy jednoho tlačit střídavě na atomy druhého a mezery mezi nimi. Když jeden atom klouže po druhém, není zde žádné tření či drhnutí, atomy samy jsou dokonale hladké. Pokud se atom pohybuje po hrbolatém povrchu, je odrážen nahoru a dolů, čímž dochází k zahřívání. Tyto vibrace se mohou eliminovat, když se tyto dva povrchy uvedou do kontaktu s jiným povrchem, takže jeden má jiný počet atomů na nanometru než druhý. Dva závit stejného povrchu se uzavřou tím, že zapadnou do sebe, při odlišném tvaru povrchu klouzají. Makroskopická zařízení používající nanotechnologie nebudou nikdy vidět.

přenesen pomocí napětí přiloženého na blízko umístěnou elektrodu. Vzhledem k tomu, že k přechodu elektronů mezi tečkami dochází beze ztrát, v systému se plně zachovává energie a je možné pracovat s velkým počtem takovýchto kvantových buněk v rozmanitém uspořádání. Výhodou je i jejich malý rozměr. Na kvantové tečky a jejich vlastnosti se lze dívat jako na umělé atomy, emitující nebo absorbující jeden nebo několik elektronů. Mohou se generovat částice rozmanitých tvarů, včetně kuliček, tyček a tetrapondů. Je důležité vytvořit kvantové tečky jednotné velikosti a skladby, protože velikost tečky určuje její elektronické, magnetické a optické vlastnosti. Barva fluorescence kvantové tečky může být ušita na míru v závislosti na její velikosti. Tato vlastnost je důležitá, protože dovoluje, aby částic různých velikostí bylo použito k barevnému rozlišování struktur částí povrchu.

VIRTUÁLNÍ NANOTECHNOLOGIE

Počítačová virtuální simulace stanoví polohu a rychlost každého atomu v systému. Výkon počítače roste exponenciálně se zvyšujícím se počtem atomů. Simulace ukazuje jednotlivé atomy jako kuličky o poloměrech daných van der Waalsovými poloměry atomů. Počítání je zvláště komplikované, když bere v úvahu nejen atomy, ale i každý z jejich elektronů. Stále výkonnější softwary počítačů vytvářejí přesné modely materiálů v různých časových i velikostních měřítkách na základě vhodné kombinace chemických a fyzikálních vlastností. Navíc se tímto způsobem mohou modelovat teprve předvídatelné hmoty, které dosud nebyly vyrobeny.

ATOM HOUSE

V projektu Atom House vycházíme z nanotechnologie, která není souborem zvláštních technik, zařízení a produktů. Jedná se spíše o soubor schopností, které bude možno využívat, až se naše technologie dostane blízko hranic stanovených atomovou fyzikou. Předpovědi pro takovou technologii je možné dělat, aniž známe způsoby, jak jí bude dosaženo. Dále lze například znát sílu látky s daným vzorem atomů a kovalentních vazeb,

aniž známe proces, jakým byly formovány. Musíme však znát vzory atomů a vazeb. Zákony fyziky nesdělují přímo, jak silný může být nějaký materiál, ale řeknou nám, jak silný bude určitý materiál. Podobně, fyzikální zákon nám nesdělí, jak silný může být motor, ale řekne nám, jak silný bude určitý motor. Hranice schopností nanotechnologie lze pochopit pouze analýzou souboru projektů.

Tyto projekty musejí být proto dostatečně jednoduché, aby se mohly posuzovat a hodnotit. Čím více mají design a fungují jako stroje, které jsou známy, tím méně předpovědi se musí udělat a tím je pravděpodobnější, že jsou vytvořeny správně. Jestliže se nanostroje navrhují stejně, jako se v současnosti projektují stroje velkého měřítko, je třeba analyzovat vše od konstrukční síly až po zahřívání třením a pak je naděje, že budou fungovat. To znamená, že skutečné nanostroje příštích projektů budou téměř jistě lepší než projekty současnosti.

Další důležitou vlastností, která by měla být součástí budoucí technologie, je *autogenika*. Technika autogeniky představuje výrobní základnu – všechny stroje, které vyrábějí stroje – schopnou produkovat kterýkoli komponent stroje. V našem kontextu to znamená projekty, které by byly schopny, kdyby existovaly, stavět více a více strojů, jako jsou samy.

Projekt Atom House je postaven na schopnosti vyrábět z molekulární stavebnice rotory, něco, co má osičku, setrvačnik, co se může točit, co se dá pohánět elektrickým polem, světlem nebo proudem plynu. Jednotlivé stavební bloky stavebnice se skládají z molekul o desítkách až stovkách atomů. Molekulární stavebnice umožňuje v rámci struktury projektu stavbu syntézu zatím neznámých materiálů neobvyklých vlastností. V tomto případě jde o zcela nové materiály, při jejichž přípravě by se mohla řídit přesná poloha jednotlivých chemicko-fyzikálních skupin. V těchto materiálech se využívá všech možností, které chemie poskytuje, a zároveň není jasné, zda se ještě pohybujeme na půdě fyziky pevných látek, či již v oblasti, na niž si činí nárok chemie.

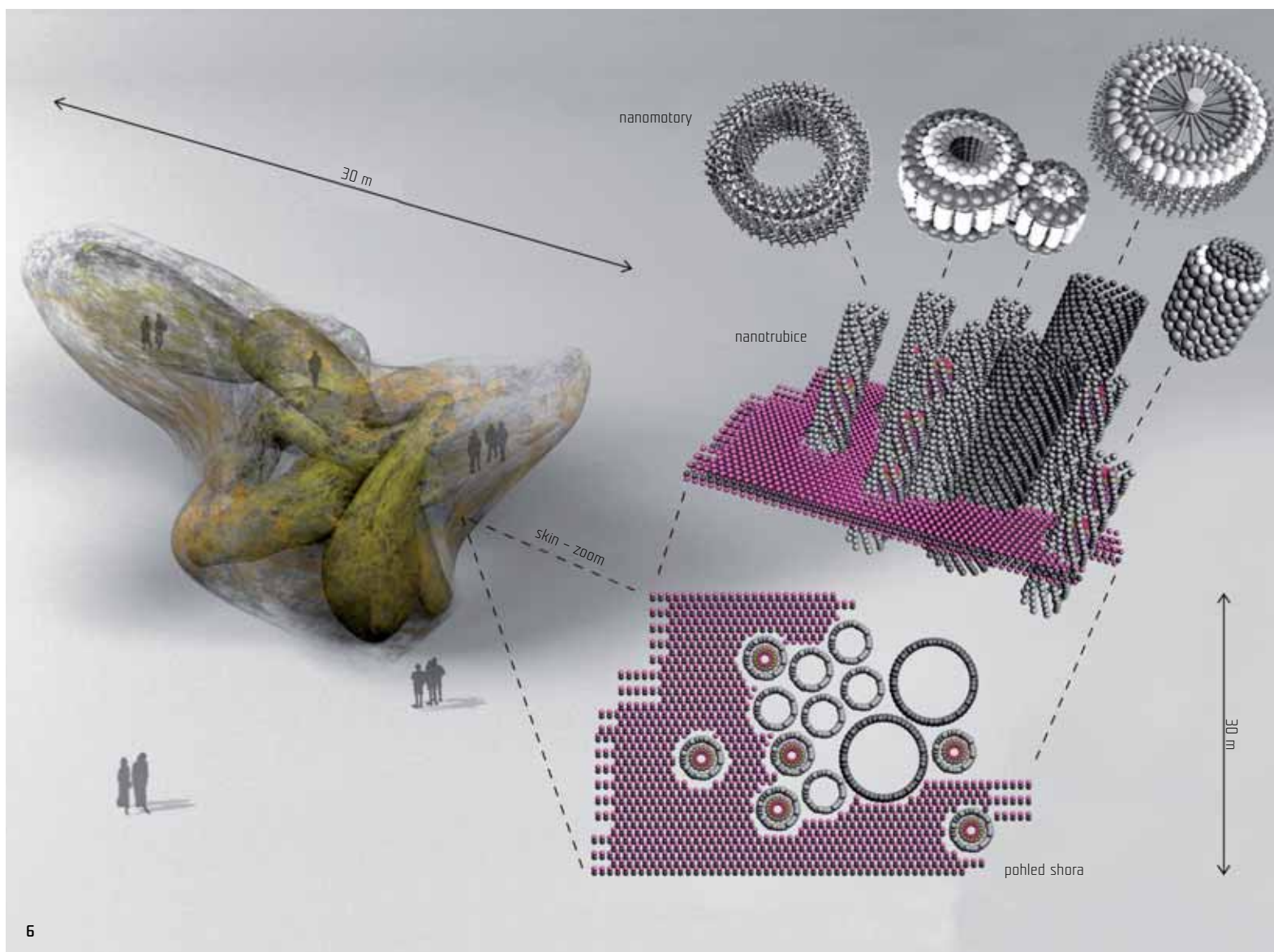
Racionálně konstruované materiály mají unikátní vlastnosti a jejich použití je široké. Jako o základních strukturálních modelech

4



5





se uvažuje o sendvičových molekulárních rastroch a trojrozměrných vícepatrových vrstvách sestavených z molekulárních spojek a tyčinek. Podle toho, jaký druh spojek a tyčinek bude aplikován, se budou moci vyrobit molekulární sendvičové rastry různé symetrie a velikosti ok. Zajímavější materiály pro struktury vznikají přidáním různých aktivních prvků nejen do dutin ok, ale i k uzlovým bodům rastru. Jako aktivní prvky mohou být použity například molekulární motory, rotory, turbíny, vrtule, ložiska, setrvačníky, čerpadla, ventily, trysky, katalyzátory, vodiče, přepínače, senzory, nabitě skupiny, bipolární skupiny, katalytická centra, těžké atomy, části DNA, enzymy a další komponenty. Počítačové simulace vedou k pochopení vztahu mezi strukturou a funkcí. Zkoumají závislost chování těchto systémů na struktuře motoru a rastru, na mechanismu pohánění čerpadla, setrvačníku či vrtule, na teplotě systému i na dalších faktorech. Výsledkem jsou optimální struktury materiálu pláště stavby s integrovanými rotory, setrvačníky, čerpadly a vrtulemi, které

mohou mít například podobu sendviče, který lze programovat pomocí elektrického náboje. Programovatelné kvantové body mohou vytvářet kovové vodiče uvnitř struktur, vytvořit elektrický obvod, který provede určitou úlohu, a následně tento obvod smazat. Cílem je konstrukce materiálů s přesně definovanou adaptivní strukturou na atomární úrovni a s vestavěnými molekulárními zařízeními, která vykonávají různé řídicí funkce, jako větrání, topení, chlazení, osvětlení a podobně. Tyto systémy lze programovat tak, aby měly neuvěřitelně malou velikost, měnily tvar a přizpůsobovaly se změnám prostředí. Struktura projektu je schopna se chovat distribuovaným způsobem velmi podobně jako vzájemně spolupracující buňky v lidském těle. Jednotlivé stavební komponenty struktury projektu získávají design pomocí CAD systémů a pak se pomocí speciálního softwaru buď přímo tisknou, anebo se vyrábějí v plně automatizované nanotovárně.

ING. ARCH. MILOŠ FLORIÁN, PH.D., je architekt, pedagog na FA ČVUT Praha. Od podzimu roku 2004 vedoucí ateliéru Glass & Freeform Architecture. Zajímá se o počítačem simulované navrhování inteligentních skleněných fasád, struktur architektury volných forem a nanotechnologie.