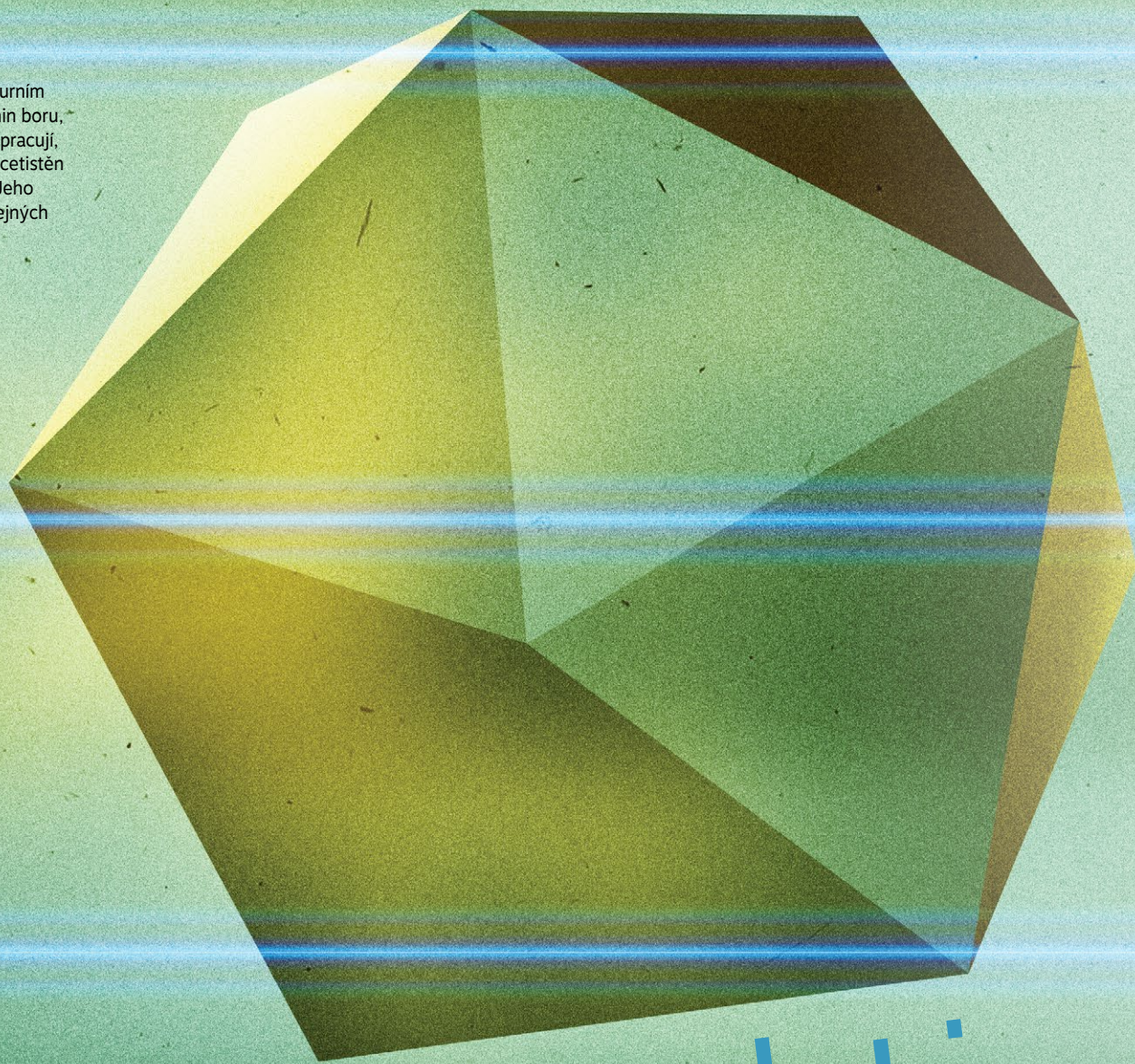


Základním strukturálním motivem sloučenin boru, se kterými vědci pracují, je pravidelný dvacetistěn neboli ikosaedr. Jeho stěny tvoří 20 stejných rovnostranných trojúhelníků.



Architekti nejmenších strojů

Zkoumají nejkrajnější meze miniaturizace, snaží se proniknout do nanosvěta jednotlivých atomů, cíleně navrhovat a vytvářet nové molekuly s různými funkcemi, sestavovat přesné nanostruktury sloužící jako nejmenší vypínače a motory. Kdo? **Paul Weiss, Tomáš Baše a jejich čeští i američtí kolegové, kteří těsně provázali své výzkumy.**

Svět atomů a molekul, kde se měří v nanometrech, tedy miliardtinách metru, má specifické zákony, zcela jiné než v makrosvětě kolem nás, který vidíme a na který si můžeme sáhnout. Poznat zákonitosti nanosvěta a dokázat je napodobit by otevřelo cestu k novým typům sloučenin a k vytváření nanostruktur a systémů s pozoruhodnými vlastnostmi. „Příroda umí vytvářet velice účinné ‚motory‘: dala vzniknout molekulám, které dokážou využít chemickou energii a přeměnit ji na pohyb s více než 99% účinností. Lidé ale nedokážou vyrobit nic, co by se tomu alespoň trochu přiblížilo,“ konstatuje Paul S. Weiss, přední světový odborník na nanovědy, profesor chemie, biochemie a materiálových věd z Kalifornské univerzity v Los Angeles, který úzce spolupracuje s Tomášem Bašem a jeho kolegy z Ústavu anorganické chemie AV ČR v Řeži.

Nanovědci kousek po kousku zkoumají a pokoušejí se reprodukovat klíčové součásti přírodních systémů. „Ovšem místo biologických molekul používáme molekuly, které pro nás syntetizují chemikové a do nichž přidali – nebo z nich naopak odebrali – různé komponenty, které považujeme za klíčové. Snažíme se tedy vyjít od poznání polohy každého atomu a postupovat od kvantové mechaniky až po strojní inženýrství,“ dodává Paul Weiss. Vědci nacházejí inspiraci v biologii, nicméně se snaží navrhovat vlastní molekuly, především proto, že ty, jichž přirozeně využívá příroda, jsou pro jejich účely příliš proměnlivé. Navíc se nedá přesně určit, kde se právě nachází každý atom, což při výzkumu představuje problém: „Klíčem k tomu, proč přírodní

systémy fungují tak skvěle, je pravděpodobně zčásti právě skutečnost, že spolu dokážou ‚tancovat‘ takovým způsobem, aby optimalizovaly svou spotřebu energie – a to se my snažíme naučit.“

Cestou k tomuto cíli jsou umělé molekuly, které připravuje Tomáš Baše a jeho kolegové v Ústavu anorganické chemie AV ČR. Proč nestačí přírodní látky? Molekuly v přírodních systémech totiž kromě toho, že „tančí“, mají i další vlastnost pro vědecké výzkumy poněkud problematickou. Odborně se jí říká konformační volnost a označuje různá uspořádání molekul jedné sloučeniny, vysvětluje Tomáš Baše: „Konformační volnost má mnoho organických molekul v přírodě. Když interagují s povrchem, mohou se různě uspořádat – neboli zaujímat různé konformace – přirovnal bych to k provázku zakotvenému na nějakém povrchu, který může vlát nebo na povrchu ležet, může se různě kroutit a podobně.“

Molekuly v podobě klece

Více možností uspořádání, jakkoli typické pro přirozené organické molekuly,

není pro vědecký výzkum příliš žádoucí. Molekuly, které syntetizují a následně studují v Ústavu anorganické chemie AV ČR, tudíž takovou svobodu nemají. Jsou to pevné, rigidní, tzv. klecové molekuly, jejichž konformační volnost je podstatně omezená. Jinak by byl celý systém příliš složitý a jen obtížně by se daly definovat vlastnosti a působení jednotlivých částí dané molekuly. „Klecové molekuly, které my připravujeme, se sice v přírodě neobjevují, jsou člověkem uměle vytvořené, hodí se ale pro studium některých konkrétních interakcí, které už se v přírodě vyskytují. Můžeme si je představit skoro jako tuhé, rigidní kuličky, které se vždycky uspořádají na povrchu ve dvou rozměrech nejefektivnějším možným způsobem, tedy co nejhustěji. Jako když položíš pomeranče na povrch stolu a pokusíš se jimi vyplnit prostor co nejvíc. Molekuly, které studujeme, mají v podstatě stejný povrchový vzorec: hexagonální uspořádání, typické pro nejtěsnější rozmístění tuhých koulí v dvourozměrném (2D) prostoru,“ pokračuje Tomáš Baše.

Studium takového uspořádání úzce souvisí s miniaturizací a přípravou nanomateriálů, které mají tloušťku právě jediné molekuly. V oblasti nanověd je totiž jedna molekula jakousi přirozenou hranicí, nejmenší jednotkou, která se dá použít jako stavební blok. Materiály sestávající z jediné vrstvy neboli monovrstvy molekul jsou tedy prakticky dvojrozměrné. V důsledku toho mají velice specifické vlastnosti, jelikož molekuly uspořádané ve 2D se vzájemně ovlivňují jiným způsobem

Spolupráce přes oceán

Čeští a američtí vědci společně vynalézají a zkoumají originální postupy pro vytváření nových typů sloučenin, studují interakce uvnitř molekul i mezi nimi. Snaží se je plánovat, směřovat a využívat v dříve nedosažitelně malých měřítkách nanometrů. Jejich cílem je zvládnout konstrukci přesných molekulárních uskupení, nanostruktur a systémů, jejichž funkce se dá stabilizovat a řídit. Ačkoli jsou takové molekuly a z nich vytvořené systémy umělé, mohou mj. významně přispět k poznání základních principů samoorganizace hmoty, tedy jak z neuspořádaných molekul vzniká spontánně jejich vzájemným působením nějaký řád.

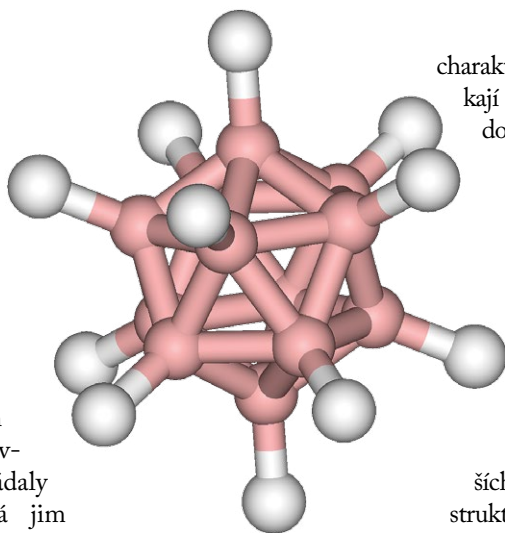


než v běžně známé trojrozměrné hmotě.

„Používáme molekuly jako základní stavební kameny, snažíme se pochopit principy jejich interakcí a nastavením různých podmínek je ovlivnit, aby se uspořádaly do podoby, která jim dává určité charakteristiky. Sledujeme proto, jak se seskupují, jak se změni uspořádání, když pozměníme podmínky, použijeme jiné ‚cihly‘ apod.

Je to náročný postup, ale má obrovský potenciál,“ doplňuje Tomáš Baše.

Spolupráce mezi Ústavem anorganické chemie AV ČR a Kalifornskou univerzitou v Los Angeles je dlouholetá a velmi intenzivní, vědci konzultují své nápady a návrhy a jejich výzkumy na sebe často navazují. V Reži připraví určitý typ látek,



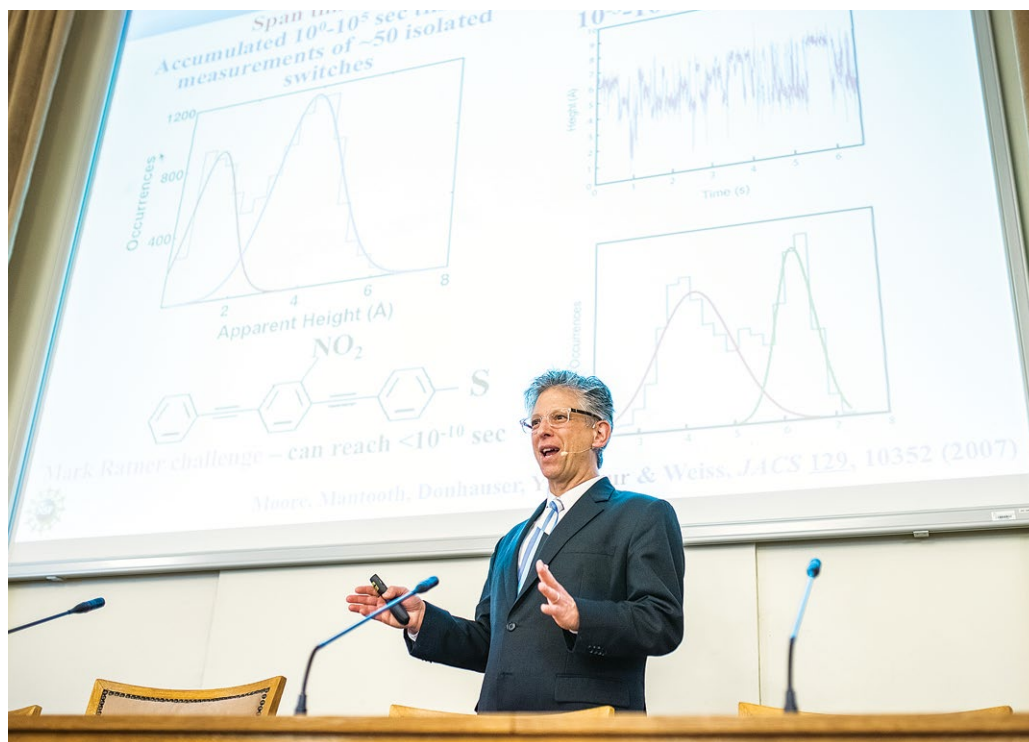
Ideálním nástrojem pro studium jednoho typu interakcí jsou molekuly karboranů podobné tuhým koulím a odvozené od symetrické molekuly $[B_{12}H_{12}]^{2-}$.

charakterizují je a získají o nich poměrně dost poznatků, Paul Weiss je pak dále měří, mimo jiné pomocí skenovacího tunelového mikroskopu, aby ještě hlouběji poznal chování daných látek na 2D površích a jejich různé strukturní a fyzikální charakteristiky.

„Když se podíváme na jeho výsledky, můžeme celý systém dále upravit nebo navrhnout k prozkoumání jinou molekulu. Nebo nějakou úpravu navrhne Paul Weiss. Jde opravdu o velice efektivní spolupráci, protože společnou analýzou získaných dat můžeme vymyslet jiný systém s trochu odlišnými vlastnostmi, což umožňuje ještě lépe pochopit chování stavebních bloků na povrchu,“ říká Tomáš

Baše. A také uvádí jeden z nejnovějších příkladů takové zpětné vazby mezi oběma vědeckými pracovišti: „Kolegové v laboratoři v USA použili jeden typ látek, jejichž základní stavební blok má určitou geometrii, a tím i specifické vlastnosti. My jsme pak připravili látky, které jsou od tohoto systému odvozené, ale nesou další funkční skupinu, čímž umožňují jiný typ interakcí z monovrstev vůči prostředí.“

Zjednodušeně řečeno, k dvojrozměrným monomolekulárním vrstvám se zvláštními vlastnostmi se dají připojit další molekuly, které jim dají novou funkci: dokážou na sebe třeba vázat různé biomolekuly nebo interagovat s ionty kovů. Mohou se tak podle Tomáše Baše vytvářet funkční vrstvy, jichž se dá využít třeba jako nástroje pro diagnostiku. „Z tohoto pohledu je to s našimi systémy podobné, jako kdybychom připravovali chirurgické nástroje pro lékaře. Trochu vznešeně řečeno, jde o molekulární inženýrství, díky němuž můžeme připravit konkrétní molekulu a přichytit ji na povrch tak, aby následně sloužila pro chytání jiných funkčních molekul, biomolekul...“



Prof. Paul S. Weiss

Působí na Kalifornské univerzitě v Los Angeles, je profesorem chemie, biochemie a materiálových věd a světovým odborníkem na nanotechnologie. Na atomární úrovni zkoumá vlastnosti povrchů a uspořádávání molekul. Věnuje se i navrhování a syntéze molekul se speciálními vlastnostmi k vytváření nanostruktur. Je zakladatelem a hlavním editorem významného časopisu v oblasti nanověd *ACS Nano*.

Paul Weiss při přednášce v Akademii věd ČR v Praze



Mgr. Tomáš Baše, Ph.D.

Působí v oddělení syntéz Ústavu anorganické chemie AV ČR, kde se věnuje základnímu výzkumu klastrových sloučenin boru i hledání jejich praktického využití. Zkoumá vlastnosti monomolekulárních vrstev těchto klastrových molekul na kovových površích a věnuje se návrhu nových molekul jako stavebních kamenů pro přípravu materiálů s přesně definovanými vlastnostmi.

Paul Weiss a Tomáš Baše spolupracují na výzkumu nanosvětla atomů a molekul.

Úspěchy a výzvy

Otázky, které si badatelé kladou, jsou velice obtížné, pár zásadních se jim však už podařilo zodpovědět, připouští Paul Weiss: „Dokázali jsme zjistit, jak fungují jednotlivé molekuly napříč několika jejich ‚rodinami‘. Ukázalo se, že když dáme funkční molekuly dohromady, často si vzájemně překážejí a narušují svou funkci, takže přimět je pracovat společně vyžaduje speciální okolnosti.“

Vyvodit z konkrétních výzkumů obecná pravidla je však stále ještě tvrdý oříšek. Podle Tomáše Baše to ale ničemu nevadí, naopak: „Věda začíná tam, kde se objeví něco, co jste nečekali. Když všechno funguje, jak předpokládáte, tak to není úplně věda.“

„Překážky, které se při výzkumu musí překonat, samozřejmě nejsou triviální – a nejsou ani zdaleka pouze vědecké,“

podotýká Paul Weiss s odkazem na svou nedávnou přednášku v Praze: „Někdy je obtížné dosáhnout toho, aby věci fungovaly. Uváděl jsem příklad, kdy jsme se snažili změřit nepatrné množství jedné molekuly. Vyžádalo si to bezpočet pokusů a 20 let práce. Existují i další příklady, kdy uběhlo 25 let, ale experiment nám stále ještě nefunguje. Takže vytrvalost je opravdu nezbytná. A upřímně řečeno, není ani snadné získat peníze. V USA máme dvou- až pětileté cykly financování, pokud ale experiment trvá 20 roků a vy nezískáte po prvních třech letech výsledky, bývá obtížné získat peníze na další léta. Musíme být tedy podnikaví v tom, co po celou dobu

děláme, co se učíme a jak popisujeme význam své činnosti.“

Vědci si chtějí osvojit specifické zákony nanosvětla a napodobit chemické pochody na těchto nejmenších škálách, aby mohli vytvářet nové typy sloučenin, nanostruktur a nanomateriálů s pozoruhodnými vlastnostmi, jejichž funkce se dá řídit a využít v mnoha oborech, včetně neurověd.

Nanovědy a nanotechnologie mohou podle Paula Weisse přinést například nové biosenzory a další nástroje pro výzkum mozku, fungování nervových obvodů či mikrobiomu. Další bádání se proto budou orientovat i tímto směrem. ■

„Věda začíná tam, kde se objeví něco, co jste nečekali.“

– Tomáš Baše –