

# První karboranové kationty na světě

## a jejich potenciální aplikace v protonové borové záchytové terapii

Jana Ždárská

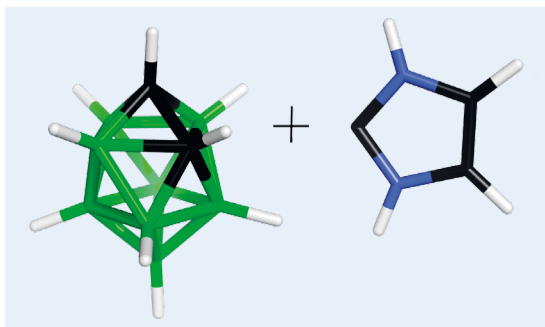
Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Vědci našli způsob, jak připravit první kladně nabitě karborany – tedy sloučeniny boru, vodíku a uhlíku. Objev může pomoci k efektivnějšímu léčení některých zhoubných nádorů pomocí protonové borové záchytové terapie. Tyto sloučeniny lze dopravit přímo do rakovinné buňky, po jejím zničení pak okolní tkáň zůstane nepoškozená. Na výzkumu spolupracovali vědci Univerzity Pardubice spolu s částí tradiční skupiny chemie boranů Ústavu anorganické chemie AV ČR, pracovníků Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR a Auburn University v Alabamě. Výsledky tohoto výzkumu byly publikovány v časopise Nature Communications. O podrobnostech výzkumu jsme hovořili s dr. Drahomírem Hnykem a prof. Alešem Růžičkou.

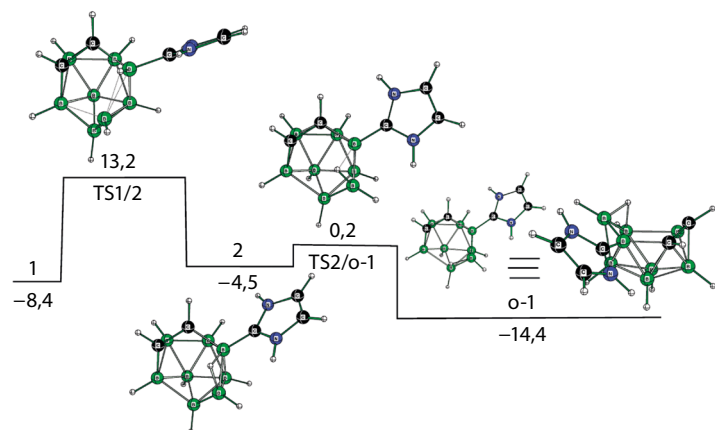
**B**orany (sloučeniny boru a vodíku) a karborany (sloučeniny boru, vodíku a uhlíku) představují velký potenciál v léčbě rakoviny. Na to, jak protonová borová záchytová terapie<sup>1</sup> funguje, jsme se zeptali Drahomíra Hnyka z Ústavu anorganické chemie AV ČR: „Zjednodušeně takto: boran se vpraví do rakovinné buňky, ta se ozáří protony a vznikne léčebné radioaktivní záření alfa, které se uvolní zcela lokálně právě z boranu. Tato jednoduchá a lokálně uskutečněná jaderná reakce, která podmiňuje existenci PBCT, tak zaručuje, že okolní tkáň není poškozena.“

Kationty jsou jako schopnější „cestovatelé“, a proto může PBCT sloužit jako jeden z aplikačních cílů i pro nově objevené karboranové kationty. Doposud provedené průkopnické experimenty v oblasti PBCT ve spolupráci Ústavu anorganické chemie AV ČR a Protonového

1 Proton Boron Capture Therapy



**Obr. 1** Jeden z desetivrcholových karboranů spolu s prototypem N-heterocyklického karbenu: jejich vzájemná interakce je iniciací následného vzniku karboranových kationtů.



**Obr. 2** Pravděpodobný mechanismus otevření jednoho z karboranů N-heterocyklickým karbenem přes dva tranzitní stavy (TS) vyšetřeny metodami *ab initio*, následně přidání dalšího karbenu vede k produktu, ze kterého oxyselením již vzniká karboranový kationt.

centra v Praze byly založeny na využívání záporně nabitých boranů. Zmíněné kladně nabitě karborany však nabízejí další potenciál pro zvýšení efektivity této velmi slibné se rozvíjející metody v léčbě zhoubných nádorů.

„Tyto principiálně nové materiály mohou významně přispět tam, kde může být přechod do okolního prostředí pro kationty daleko snadnější – například přes buněčnou membránu pomocí tzv. iontových kanálů,“ doplňuje Drahomír Hnyk. „Dosud byly borany známy jen jako nenabitě nebo záporně nabitě chemické sloučeniny.“

Čím více boru, tím lépe. Bor jako soused uhlíku v periodické tabulce má s uhlíkem mnoho společného, ale i mnoho odlišného. Uhlík vytváří s vodíkem uhlovodíky, ze kterých jsou tvořeny živé organismy a na-



cházejí se v přírodě například v podobě ropy. Sloučeniny boru s vodíky, borovodíky neboli borany jsou však výlučně produkty lidského snažení.

„Izotop  $^{11}\text{B}$  je schopen po fúzní reakci s protony emitovat energeticky selektivní záření alfa a v boranech či karboranech je ho v přirozeném zastoupení 80 %, s tím, že PBCT pamatuje i na přítomný izotop  $^{10}\text{B}$  a energetickou bilancí protonů eliminuje jeho přeměnu na „škodlivý“ izotop  $^7\text{Be}$ “, vysvětluje jedinečnost těchto sloučenin Drahomír Hnyk. „Čím více atomů boru v podobě boranů či karboranů se dostane do buňky, tím lépe a vůbec nejlépe bude pro tento účel používat karboranové kationty jen s obsahem izotopu  $^{11}\text{B}$ .“

Odlišnost uhlovodíků a borovodíků spočívá v jejich strukturách, protože uhlík společně s vodíkem vytvářejí nejen dlouhé, často i rozvětvené řetězce, ale i cyklické útvary. Borany naopak vytvářejí trojrozměrná strukturní uspořádání. Bor může být v těchto strukturách nahrazen jinými prvky, např. i uhlíkem.

**RNDr. Drahomír Hnyk, CSc., DSc.**, narozen v Mostě v roce 1959, v r. 1983 absolvoval obor organická chemie na Přírodovědecké fakultě UK, kde v roce 1990 obhájil kandidátskou disertační práci pod externím vedením prof. Otto Exnera. Od r. 1988 je zaměstnán v Oddělení syntéz Ústavu anorganické chemie AV ČR, které se už od 60. let minulého století zabývá exkluzivní chemií borových klastrů. V letech 1992–93 a 1996 působil jako postdoktorand na Univerzitě v Edinburghu, kde se pod vedením prof. Davida W. H. Rankina zabýval elektronovou difrací v plynné fázi se zaměřením na borové klastry připravené na ÚACH AV ČR. V roce 1995 působil jako DAAD stipendista na Computer-Chemie-Zentrum při Univerzitě Erlangen-Nuernberg ve skupině prof. Paula von Ragué Schleyera. V těchto zmíněných oborech absolvoval i několik krátkých pobytů v Maďarsku, Norsku, Koreji, Japonsku a USA. V roce 2015 obhájil doktorskou disertační práci (DSc.) na téma *Molekulová struktura volných klastrů boru a galia*. V roce 2006 mu byla udělena cena Akademie věd ČR.

Drahomír Hnyk se ve svém profesním životě zabýval a zabývá stereochemií z pohledů elektronové difrakce, dipólových momentů a výpočetní chemie, teoretickými aspekty NMR spektroskopie borových sloučenin, jejich nekovalentními interakcemi a studiem mechanismů přeměn těchto unikátních sloučenin. Publikoval více než 140 prací v mezinárodních impaktovaných časopisech, které našly ohlas ve dvou tisícovkách citací.

Vědci doufají, že existence těchto prvních kationtů otevře nové cesty pro tuto jedinečnou oblast chemie s aplikacemi nejen v medicíně. A my v redakci Československého časopisu pro fyziku přejeme našim šikovným vědcům mnoho dalších úspěchů v této oblasti výzkumu, jehož výsledky mohou v budoucnu pomoci uzdravit kohokoliv z nás.

 Akademie věd  
České republiky

**BUĎ HRDINOU  
SVÉ DOBY!**



**Barbara Líznerová**  
restaurátorka



**Stanislav Valtera**  
chemik

**Přihlas se na naše stáže.**

stáže pro středoškoláky  
**WWW.OTEVRENAVEDA.CZ**