

● OBSAH

Kapitola 1.	15
MOLEKULÁRNA PARFUMÉRIA – SVET BIZARNÝCH VŇÍ	
Čaro vonnej sviečky	18
Bakteriálny parfum	23
Chutný smrad	26
Plávajúce zlato	30
Vôňa literatúry	33
Pach kozmu	36
Kapitola 2.	41
MOLEKULÁRNA GASTRONÓMIA – VÁŠNIVÉ CHUTE	
Hriešne dobrá	44
Sladšie ako cukor	49
Horká	52
Kyslá	56
うま味	60
Vymrazte si superpivo	64
Kapitola 3.	69
MOLEKULÁRNA BOTANIKA – ČO RASTLINY VEDIA	
Čo rastliny vidia	72
Rastlinný čuch	76
Botanika dotyku	80
Kontroverzná fytoakustika	84
Rastlinná navigácia	88
Farby jesene	92
Muchotrávky a spol.	95
Slzy praveku	99
Kapitola 4.	103
MOLEKULÁRNA ZOOLÓGIA – AKO TO TIE ZVERY ROBIA?	
Prírodné inšpirácie	106
Radšej nedráždiť!	109

Ako nezamrznúť _____	112
Extrémny život _____	116
Svietiaca medúza _____	120
Farby kamufláže _____	124
Sieť _____	127
Superlepidlo _____	130

Kapitola 5. _____ 135

MOLEKULÁRNA ANATÓMIA – BIOCHÉMIA À LA HOMO

Béčko _____	138
Céčko _____	142
Éčko _____	146
Hľa, ribozóm! _____	150
Fascinujúce receptory _____	154
Hlavne si to neškrab! _____	157
Chémia lásky _____	160
Izumo a Juno _____	163

Kapitola 6. _____ 167

MOLEKULÁRNA TOXIKOLÓGIA – JED ČI LIEK?

Etanol _____	170
Nikotín _____	174
Chinín _____	178
Kapsaicín _____	181
Kurkumín _____	185

Kapitola 7. _____ 189

MOLEKULÁRNE MATERIÁLY – INŠPIRATÍVNA CHÉMIA

Kovové antibiotikum _____	192
Vzácne talentovaný plyn _____	195
(Ne)obyčajná voda _____	198
Dokonale vypraté peniaze _____	202
Môžu byť cigarety aj užitočné? _____	205
Prečo hnojíme výbušninou? _____	208
Ohňostroj _____	211
Paládium _____	214
Kvázikryštály _____	217

Kapitola 1.

MOLEKULÁRNA PARFUMÉRIA

—

SVET BIZARNÝCH VŔNÍ





● Čaro vonnej sviečky

Neodmysliteľným symbolom tunajších Vianoc je nepochybne zapálená sviečka. Bez jej hypnotizujúceho plameňa a typickej vône si koncoročné sviatky dokážeme asi len ťažko predstaviť. Pričom celá tá vosková mágia vzniká kombináciou iba niekoľkých fyzikálnych princípov a chemických reakcií.

A je úplne jedno, či sa bavíme o luxusnej parfumovanej sviečke so zlatým gravírovaním alebo o triviálnom voskovom šúľku z balíčka na prežitie – v oboch prípadoch ide v princípe o to isté: horľavý knôt obalený tuhým palivom. Sviečky existujú už asi 5 000 rokov a v priebehu času ich vynaliezaví ľudia postupne zhotovovali z rôznych, a to najmä živočíšnych surovín. Či už to bol obligátny včelí vosk, exotické jačie maslo, alebo dokonca aj sušené ryby. Jednoducho, čo príroda dala.

Kvalitné sviečky sa pred dvesto rokmi vyrábali napríklad zo spermacetu, voskovitej hmoty, získavanej z lebečnej dutiny vorvaňa tuonosého (*Physeter macrocephalus*). Keďže ide o jedného z najväčších cicavcov, asi neprekvapí, že z pätnástmetrového exemplára sa vydolovali aj tri tony (!) sviečkového paliva. Uloviť obrovské vodné zviera však dozaista nebola každodenná záležitosť, a aj preto sa drvivá väčšina vtedajších sviečok vyrábala z oveľa dostupnejšieho tuku hovädzieho dobytká, oviec alebo ošípaných.

A hoci bol masťný zoomateriál pomerne lacný, s jeho kvalitou to už bolo podstatne horšie. Lojové sviečky totiž pri horení produkovali ťažký a smradľavý dym, čím dokázali udusiť aj ten najmenší náznak romantiky hneď v zárodku. Oveľa prijateľnejšou alternatívou boli sviečky z včelieho vosku. Horeli plameňom prakticky bez dymu a ešte navyše aj krásne voňali. Boli však vzácné, a teda drahé, preto si ich mohli dovoliť iba zámožní občania a, samozrejme, bohatá cirkev. Ale čo majú spoločné včelie plásty, maslo z jaka, veľrybí tuk a bravčová slanina, ak je z toho všetkého možné vyrobiť funkčnú sviečku? Nuž, ide o univerzálne palivo, ktoré je známe pod spoločným názvom uhľovodíky.

.palivo

Úplnú revolúciu vo výrobe sviečok však spôsobil až objav parafínu v polovici 19. storočia. Od toho momentu bolo nielen možné produkovať sviečky masovo a lacnejšie, ale tie ešte navyše aj horeli vcelku slušne a esteticky. Parafín je ved-

lajší produkt destilácie surovej ropy a drvivá väčšina sviečok sa dnes vyrába práve z neho.

Relatívne mäkký voskový materiál sa skladá zo zmesi nasýtených uhľovodíkov (alkánov), pozostávajúcich z 20 až 40 atómov uhlíka v rámci jedného reťazca. A práve tie prepozičujú parafínu unikátnu kombináciu požadovaných vlastností: zatiaľ čo za izbovej teploty je dostatočne tuhý, pôsobením horúceho plameňa sa pomaly topí, vďaka čomu môže sviečka horieť. Bod topenia parafínu je pritom úmerný počtu uhlíkov v reťazci. Čím je dlhší, tým väčšia je molárna hmotnosť príslušného uhľovodíka a s ňou súvisí vyššia teplota topenia vosku. Dôsledkom potom je, okrem iného, aj proporčne dlhší čas horenia sviečky. Parafín má však ešte jednu zaujímavú a celkom užitočnú vlastnosť – mimoriadne odpudzuje vodu. Nuž, a keďže tá má väčšiu hustotu ako vosk, zapálené čajové sviečky v nej dokážu nádherne plávať.

Celkový estetický dojem sensoricky umocní prídavok aromatickej zmesi do parafínového základu. Vôňu ihličia navodia terpenické pinény, vanilku mimitkuje etylvanilín a levanduľu linalol, škoricu nápadne pripomína cinamaldehyd a jahodový arómu presvedčivo navodí etylmetylfenylglycidát. Používané vonné molekuly – či už prírodného, alebo syntetického pôvodu – však musia mať, pochopiteľne, žiaduce fyzikálno-chemické vlastnosti. Čo znamená, že by sa mali primeranou rýchlosťou uvoľňovať z parafínu a zároveň nesmú interferovať s plynulým horením sviečky. Na dôvažok ich (potenciálne toxické) spaliny nesmú pri danom zložení a koncentrácii prekračovať hygienické normy stanovené pre uzavreté priestory.

.knôt

Ako je parafín telom, tak je knôt dušou každej sviečky. Najčastejšie sa skladá z pevne spletených vlákien prírodnej bavlny alebo syntetického nylonu. Všetky knôty sa však pred vložením do sviečok impregnujú – paradoxne – spomaľovačmi horenia. Ak by tomu tak nebolo, knôt by veľmi rýchlo zhorel a sviečka by vôbec nefungovala. Zatiaľ čo nasýtenie knôtu dusičnanom amónnym zabezpečí jeho akurátnu horľavosť, prídavok kyseliny boritej zaručí, že po sfúknutí plameňa sviečky už knôt nebude ďalej tlieť. Kľúčovou úlohou knôtu je však „nacučiť“ teplom roztopený parafín a následne ho priviesť do plameňa, aby tam mohol horieť.

To však nie je celkom triviálna úloha, lebo pre správne fungovanie sviečky je nutné dosiahnuť ideálnu rovnováhu medzi množstvom roztopeného a zhore-

ného vosku. Ak by totiž knôt nasával príliš málo tekutého parafínu, jeho prebytok by sa zhromažďoval tesne pod plameňom, až by ho nakoniec zalial a uhasil. Naopak, ak by knôt dodával plameňu príliš veľa tekutého vosku, ten by nemal čas kompletne zhorieť a sviečka by začala dymiť.

Čo sa teda deje v optimálnom prípade? Nuž, zapálený knôt rýchlo zohreje studený povrch tuhého parafínu, ktorý sa začne topiť. Vznikne malilinké jazierko tekutého vosku, ktorý je kapilárnymi silami materiálu knôtu unášaný až na jeho horný koniec. Tu sa kvapalný parafín splyňuje a jeho pary následne začnú horieť. Vosk sa totiž nikdy nespája v tuhom alebo tekutom stave, ale výlučne len vo forme uhľovodíkových pár. Uvoľnené teplo následne roztápa čoraz viac vosku a sviečka horí až dovtedy, kým sa jej neminie všetko parafínové palivo.

.plameň I.

Ako každé horenie organického materiálu, aj spaľovanie parafínu je z chemického hľadiska *exotermickou* (teplo uvoľňujúcou) oxidáciou. Zjednodušene povedané, uhľovodíky reagujú so vzdušným kyslíkom za vzniku vody a oxidu uhličitého, pričom sa zároveň produkuje svetlo a teplo. (Pre pyromanov: vysokoteplotnou pyrolýzou alkánov dochádza k vzniku rôznych C, H, O-radikálov, ktoré sa vzájomne rekombinujú.)

Keď sa zblízka a poriadne zahľadíme do horiacej sviečky, všimneme si minimálne tri, bystrozrakejší aj štyri rôzne farby jej plameňa: oranžovú a červenohnedú tesne nad knôtom (tmavá zóna), modrú po okrajoch (emisná zóna) a nakoniec typickú žltú farbu celej zvyšnej časti plameňa (svetlá zóna). Každá z nich, samozrejme, zodpovedá špecifickým chemickým dejom.

Na úplnom spodku plameňa dochádza vďaka dobrému nasávaniu vzduchu k úplnému spaľovaniu parafínu, čo sa prejaví modrým sfarbením podobne, ako je to pri plynových horákoch. (Pre fajnšmekrov: modrú emisiu spôsobuje chemiluminiscencia excitovaných CH-radikálov.) Nečudo, že v tejto časti plameňa dosahuje teplota približne 1 400 °C.

Paradoxne, len o kúsok vyššie sa nachádza jeho najstudenšia časť. Plameň v tesnej blízkosti knôtu má totiž „len“ osemsto stupňov Celzia, a to z dôvodu značne obmedzeného prístupu kyslíka do tejto vnútornej oblasti. Spaľovanie vosku je tým pádom nekompletné a dochádza k vzniku a hromadeniu sadzí (mikročastíc uhlíka), čo sa prejaví viditeľne tmavšími odtieňmi červenej a žltej.

Nuž, a nakoniec najväčšiu, a nepochybne aj najkrajšiu časť plameňa sviečky tvorí intenzívne svietiaci vrchná žltá zóna. Jej teplota sa pohybuje medzi hod-

notami oboch nižšie položených oblastí a dosahuje približne 1 200 °C. Keďže aj do tejto časti plameňa má vzduch obmedzený prístup, parafín sa tu nespája kompletne, hoci predsa len v oveľa väčšej miere, ako v studenejšej tmavej zóne. V každom prípade, zďaleka nie všetky molekuly parafínu tu zhoria na vodu a oxid uhličitý, zvyšok sa premení na atómy a molekuly uhlíka. Dá sa o tom presvedčiť veľmi jednoduchým pokusom: stačí podržať čisté sklíčko nad plameňom voskovej sviečky a o pár sekúnd sa pokryje nepriehľadnou vrstvou čiernych sadzí.

Fajn, ale prečo potom vydáva zapálená sviečka to krásne žlté svetlo? Paradoxne, práve vďaka nespáleným čiastočkám čierneho uhlíka, ktorý má tú unikátnu vlastnosť, že pri teplotách nad tisíc stupňov začína jasne žiariť. V tomto prípade už nejde o chemickú reakciu, ale o fyzikálny proces a zároveň dokonalú optickú ilúziu. Prehriate mikročastice sadzí totiž premieňajú svoju „nadbytočnú“ tepelnú energiu na viditeľné svetlo, ktorého červená a žltá spektrálna zložka sú oveľa intenzívnejšie ako modrá farba. Summa summarum tak horúci plameň sviečky nakoniec vnímame zrakom ako žltý.

.plameň II.

Uvedené skutočnosti však platia len za predpokladu, že na horiacu sviečku zároveň pôsobí gravitačná sila. Za týchto okolností je plameň vždy kónický – naspodku rozšírený a smerom nahor sa zoštiehľuje – z dôvodu prúdenia (*konvekcie*) v smere opačnom, než naň pôsobí zemská prítťažlivosť. Vznikajúci horúci plyn je totiž ľahší ako okolitý studenší vzduch, ktorý je teda nasávaný zdola a z bokov plameňa. Prirodzene, aj vzduch navôkol sa teplom sviečky zohrieva a spolu so splodinami horenia následne putuje smerom nahor. Výsledkom je potom krásne žltý a vysoký plameň.

Bude však to isté platiť aj v bezváhovom stave? Americká NASA sa pred časom rozhodla nájsť odpoveď. Astronauti na kozmických stanicách ISS a MIR uskutočnili sériu experimentov s horiacimi sviečkami v uzavretom kontajneri. Samozrejme, primárne im nešlo o vytvorenie vianočnej atmosféry vo vesmíre, skôr o získavanie dôležitých informácií o spaľovaní rôznych materiálov, potenciálnom vzniku sadzí, ale najmä o možnostiach uhasenia prípadného ohňa v ich prechodných domovoch. A zistili veľmi zaujímavé veci.

Úplne prvou a najbizarnejšou bola farba a tvar kozmického plameňa. Žiadna sviečka totiž nehorela štíhlym žltým plameňom, ale zásadne iba guľatým a navyše modrým! Pričom vyprodukované svetlo bolo také slabé, že astronauti mali problém rozpoznať, či sviečka vôbec horí. Čo sa to stalo?

Keďže kyslíka tam bolo dost' (aj kozmonauti musia dýchať), príčinou môže byť absencia konvekčného prúdenia v prostredí bez gravitácie. V bezváhovom stave totiž neexistuje „ľahší“ a „ťažší“ plyn, pretože všetko „váži“ rovnako. Spaliny teda nestúpajú nahor, ale zostávajú v bezprostrednej blízkosti plameňa a jeho výsledný tvar je preto guľatý. Dôsledkom toho je však relatívny nedostatok kyslíka potrebného na spaľovanie vosku. Oba faktory tak spôsobia výrazne nižšiu teplotu horenia, vďaka čomu je nielen obmedzená tvorba väčších čias-točiek sadzí, ale tie navyše ani nemôžu svietiť nažltlo. Nuž, Vianoce v kozme asi nikdy nebudú také romantické ako na Zemi.

● Bakteriálny parfum

Znie to síce ako úvodná replika otrepaných vtipov, ide však o niečo oveľa zaujímavejšie: čo spája vlhkú pôdu, vzduch po búrke, čerstvú cviklu, stuchnuté víno a ľavu v oáze?

Nie, nie je to (iba) voda. Je to (najmä) geosmín – prchavá organická zlúčenina zo skupiny terpénov. Molekula, ktorá prepožičiava pôde jej charakteristickú vôňu hliny a cvikle jej typickú zemitú chuť, ktorou však pomerne často cítiť aj (ne)pitnú vodu. Taktiež je to molekula, vďaka ktorej smädna ľava neomylnne zavedie púštnu karavánu k najbližšiemu zdroju životodarnej tekutiny. A nakoniec je to aj molekula, pre ktorú musia someliéri chtiac-nechtiac vylievat' stuchnuté drahé vína. Ako však môže jedna a tá istá organická zlúčenina hrať kľúčovú úlohu v tak rôznorodom kontexte?

.geosmín

Dôvod je celkom prozaický: spoločným menovateľom všetkých uvedených fenoménov sú totiž baktérie. Samozrejme, nie všetky a už vôbec nie hocijaké. Najčastejšie ide o nepatogénne *streptomycéty*, ktoré sa bežne vyskytujú v pôde a preslávili sa najmä ako prírodní producenti väčšiny dodnes používaných humánných antibiotík. Tieto užitočné mikroorganizmy sú však schopné okrem účinných liečiv syntetizovať aj mimoriadne aromatický geosmín, na ktorý je (nielen) ľudský čuch až extrémne citlivý.

Priemerný človek dokáže zacítiť tento bakteriálny parfum už pri koncentrácii jeden k biliónu! Ešte lepšie je na tom ľava dvojhrbá (*Camelus bactrianus*), ktorá je preslávená tým, že je schopná nájsť vodu v púšti až na vzdialenosť 80 kilometrov. A to pravdepodobne tak, že svojimi špeciálne vybavenými nozdrami neomylnne nasleduje hoci aj minimálnu pachovú stopu geosmínu v okolitom prostredí. Evolučne to dáva zmysel, pretože v prípade púštneho zvierata je schopnosť „vyňuchať“ vlhkú pôdu – ergo dostať sa k nenahraditeľnej vode – doslova otázkou života a smrti.

Fajn, ale prečo vôbec produkujú baktérie geosmín? Aktuálnych vedeckých teórií je hneď niekoľko. Jedna z nich napríklad tvrdí, že ide o chemickú obranu streptomycét pred potenciálnymi konzumentmi. Keďže však geosmín nie je senzoricky nejako extrémne odpudivý, muselo by ísť o značne rozmazaného predátora. Iná, sympatickejšia hypotéza postuluje, že by mohlo ísť o rafinovaný