



Člověk, 1 ks. Složení: kyslík (61 %), uhlík (23 %), vodík (10 %), dusík (2,6 %), vápník (1,4 %), fosfor (1,1 %), draslík (0,2 %), síra (0,2 %), sodík (0,1 %), chlor (0,1 %), hořčík, železo, fluor, zinek a další stopové prvky.

Copyright © 2003 by Matt Tweed
© Wooden Books Limited 2003, 2013
Published by Arrangement with Alexian Limited.
Translation © Jiřina Vítů, 2017
Design and typeset by Wooden Books Ltd, Glastonbury, UK.

Z anglického originálu *Essential Elements. Atoms, Quarks,
and the Periodic Table* přelořila Jiřina Vítů.

Edice Pergamen – svazek 24

První vydání v českém jazyce.
Odpovědný redaktor Zdeněk Kárník.

Redakce Marie Černá.

Sazba Michal Puhač.

Vydalo roku 2017 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,
Holečkova 9, 150 00 Praha 5,
dokořan@dokořan.cz, www.dokořan.cz,
jako svoji 847. publikaci.

Vytiskla Akcent tiskárna Vimperk, s. r. o.,
Špidrova 117, 385 01 Vimperk.

ISBN 978-80-7363-769-9

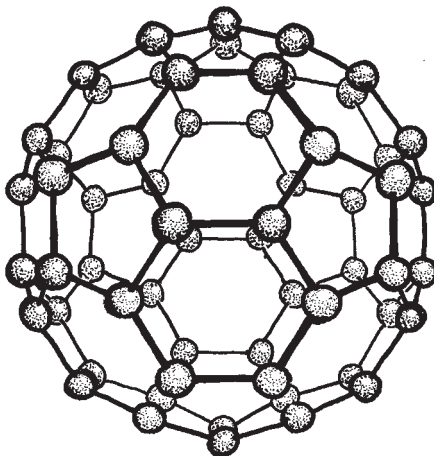
ISBN 978-80-7363-769-9



9 788073 637699

DŮLEŽITÉ PRVKY

ATOMY, KVARKY
A JINÉ VELKÉ DROBNOSTI



Matt Tweed

*S láskou...
Děkuji rodině Blackabyových za jejich podporu
a mamince za to, že je tak skvělá.*



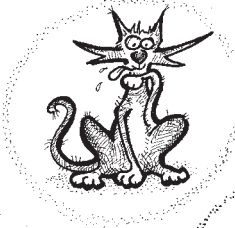
*„... to, co jest dole, jest jako to, co jest nahoře, a to, co jest nahoře, jest jako to,
co jest dole, aby dokonány byly divy jediné věci.“*

Smaragdová deska Herma Trismegista

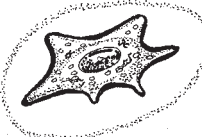
OBSAH

Úvod	1
Počátky alchymie	2
Jdeme na to vědecky	4
Uvnitř atomu	6
Periodické tabulky	8
Teplota chemikova domova	10
Chemická vazba	12
Krystalografie	14
Vodík a helium	16
Kovy skupin I.A a II.A	18
P-prvky	20
Uhlík a křemík	22
Kyslík a síra	24
Voda a kyseliny	26
Organická chemie	28
Halogeny a vzácné plyny	30
Přechodné kovy	32
F-prvky a transurany	34
Velký třesk	36
Továrny na prvky	38
Radioaktivita	40
Atomové orbitály	42
Kvanta kvarků	44
Čtyři síly	46
Kvarky, leptony a mezony	48
Exotické částice	50
Teorie strun	52
Dodatek I: Konstanty a hadrony	54
Dodatek II: Organické sloučeniny	55
Dodatek III: Periodická tabulka prvků	56
Dodatek IV: Příklady atomových orbitalů	58

Chemikova kočka



Buňka: 10^{-5} metru



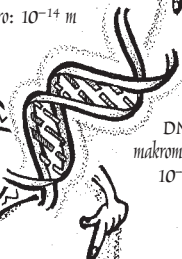
Atomové jádro: 10^{-14} m



Atomový orbital: 10^{-10} m



DNA
makromolekula:
 10^{-8} m



Molekula:
 10^{-9} m



Nukleony: 10^{-15} m



Interakce superstrun
a p-blan



Kvark-gluonové plazma

Hyperdimenzionální
kvantové gravitační
coś ???



... a tak dál

ÚVOD

Náš svět vypadá na první pohled pevný a neměnný. Vše, s čím se v životě setkáváme, je ale tvořeno kvintiliony maličkých atomů z více než stovky různých prvků. Ty spolu reagují a shlukují se mnoha různými způsoby, a tím vytvářejí fantastickou mozaiku našeho vesmíru.

Podíváme-li se blíže na samotné atomy, překvapí nás, že jsou tvořeny z větší části prázdnotou. Lehoučké elektrony se proplétají okolo maličkého jádra, které je drobným pevným bodem ve středu této „energetické koule“ připomínající miniaturní galaxii. I to je ovšem pouze velmi zjednodušený popis – ve skutečnosti je atom malým kvantovým světem s podivnými pravidly, kde nic nezůstává na místě a hmota je energií. Najdeme tu celé rodiny subatomárních částic, které interferují, rekombinují se, tunelují bariéry a řídí se svými vlastními pravděpodobnostními zákony. V tomto světě vládne vysoké energie a základní interakce, které rozhodují o tom, jak se chovají hmatatelné objekty okolo nás.

Při dalším přiblížení zjistíme, že i tyto malé galaxie jsou spleteny z pomíjivých částic na hranici lidského chápání, které drží pohromadě díky zvláštním symetriím napříč dimenzemi a fungují podle složitých matematických zákonů.

Upřímně doufám, milí čtenáři, že vás tato krátká cesta do světa chemie bude bavit a něco vám přinese. A také si přeji, abychom v budoucnosti všechny tyto znalosti používali s rozumem.

POČÁTKY ALCHEMIE

chemie, nebo magie?

Kořeny chemie sahají daleko do temné minulosti, kdy naši předkové poprvé namíchali barevné pigmenty a malovali s nimi po stěnách jeskyní i po svých tělech. A také když objevili oheň a začali pronikat do spletitých zákoutí kulinářského umění.

Starověcí Egypťané znali sedm kovů a také nekovy jako uhlík a síru – všechny je možné získat z rud vyskytujících se v přírodě. Umění zvané *Khemia*, které podle nich lidem odhalovali andělé, přiřadilo kovům sedm tehdy známých planet a jedinečné vlastnosti (*nahore vlevo*). Starodávné indické spisy hovoří o třech *gunách*, ohni, vodě a zemi. Čínští mudrcové přidali další dvě, kov a dřevo (*nahore vpravo*).

Podle řeckých filozofů se vše skládá ze čtyř živlů, ohně, vody, země a vzduchu (*dole vlevo*). Společný název jim dal Aristoteles, který ve 3. století př. n. l. přidal ještě pátý živel, *kvintesenci*, ze které jsou vytvořena nebesa. Jiný filozof, Demokritos, přišel s myšlenkou, že neustálým dělením hmoty dojdeme nakonec k dále nedělitelné částici, kterou nazval *atom*. Zavrhnut Aristotelem, zůstal atom po mnoho století zapomenut.

Srozpadem římské říše se bádání přesunulo do arabského světa pod názvem *Al-khemia*. Knihy jako Ar-Raziho *Tajemství všech tajemství* z 10. století nebo dílo Džábira ibn Hajjána zmiňují *elixír mládí*, nápoj, který může člověku zajistit nesmrtelnost a proměnit jakýkoli kov ve zlato.

Pátrání po zázračné substancii se ve středověku rozšířilo i do Evropy, kde se Albert Veliký, Roger Bacon, Nicolas Flamel a další alchymisté 13. a 14. století pokoušeli nalézt všemocný *kámen mudrců*, také nazývaný *Gloria mundi*. Za pomoci experimentů, intuice a staré dobré náhody položili základy úžasné vědy zvané chemie.

JDEME NA TO VĚDECKY

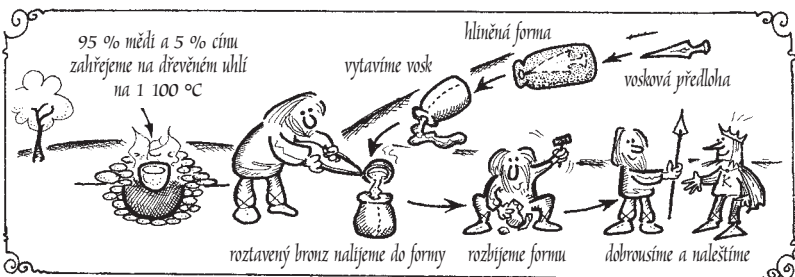
od alchymie k chemii

V 18. století se vědci konečně odpoutali od metafyziky a pomocí experimentů porovnávajících hmotnosti a objemy dokázali, že mnoho látek, které byly považovány za elementární, jsou ve skutečnosti *molekuly* složené z více prvků.

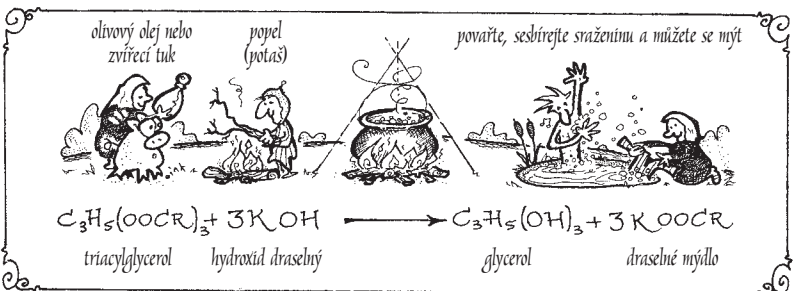
V roce 1789 Antoine Lavoisier publikoval první tabulku s dvaceti třemi prvky a již v roce 1808 vyslovil John Dalton svou atomovou teorii (která pak byla následujících padesát let ignorována).

Jak se vědecké metody zlepšovaly, nové prvky byly objevovány nebyvalou rychlostí. Dimitrij Mendělejev si všiml, že některé prvky mají podobné chemické vlastnosti, a v roce 1869 vytvořil svou proslulou periodickou tabulku, z níž předpověděl existenci scandia a germania. První náznak toho, že může existovat i něco menšího než atom, se objevil v roce 1896, kdy Becquerel nechal nevědomky ležet smolinec (uranovou rudu) na neexponované fotografické desce, čímž „omylem“ objevil radioaktivitu.

Na počátku 20. století přišel Ernest Rutherford na to, že větší část atomu tvoří prázdný prostor okolo jádra, byly objeveny atomové orbitály a Albert Einstein vyslovil svou teorii o jednotě hmoty a energie. To vedlo Maxe Plancka, Erwina Schrödingera, Nielse Bohra a další vědce k objevu podivného „vnitřního“ světa kvantové mechaniky. V roce 1932 se podařilo rozbít atomové jádro a po celý zbytek století se vědci zabývali zkoumáním subatomárního světa. V obřích srážkách do sebe nechávali narážet atomy a zkoumali nově vzniklé těžké částice i celé nové rodiny podivných částic vzniklých rozpadem atomů.



Bronz byl jednou z prvních slitin a většinou se odlával metodou ztraceného vosku.



K objevu mýdla došlo pravděpodobně tak, že někomu upadl kus tuku do mokrého popela.



Někteří vědci, kteří přispěli k objevu nových prvků.

UVNITŘ ATOMU

protony, neutrony a elektrony

Atomy se skládají z malého *jádra* obklopeného jedním nebo více *elektronů*. Dvě různá znázornění atomu vidíme naproti. Jádro, které má poloměr pouhou tisícinu pikometru, se skládá ze dvou druhů částic podobné velikosti, *protonů* a *neutronů*. Protony mají kladný elektrický náboj, který je vyvážen zápornými náboji elektronů. Neutrony jsou bez náboje. Počet protonů udává *protonové číslo* prvku, na kterém závisí jméno prvku a jeho pozice v periodické tabulce.

Ačkoli má každý prvek neměnný počet protonů a elektronů, počet neutronů jednoznačně dán není a prvky mají izotopy s různým počtem neutronů. Ty mají stejné chemické vlastnosti, ale jejich jádra se někdy chovají zcela odlišně.

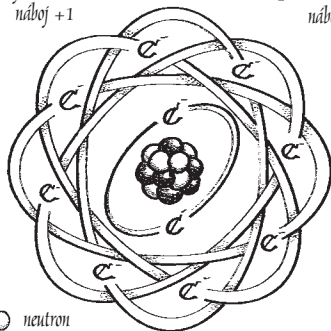
Elektrony mají téměř dvoutisíckrát menší hmotnost než protony a neutrony. Navzájem se odpuzují a zároveň jsou přitahovány kladnými protony, zatímco neutrony bez náboje je nezajímají. Aby vyvážíly všechny přitažlivé a odpudivé síly, spojují se do elektronových párů a pohybují se okolo jádra v orbitalech, trojrozměrných útvarů, které ve větších atomech nabývají stále složitějších tvarů. Orbitály se zaplňují v určitém pořadí (*naproti dole*).

Atomy jsou překvapivě tvořeny z naprosté většiny prázdným prostorem. Elektron obíhající okolo jádra si můžeme představit jako čmeláka letícího okolo kočky na gumě dlouhé deset kilometrů.

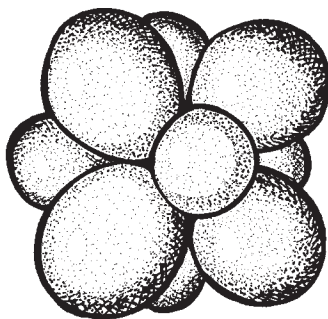


● proton
náboj +1

⊖ elektron
náboj -1

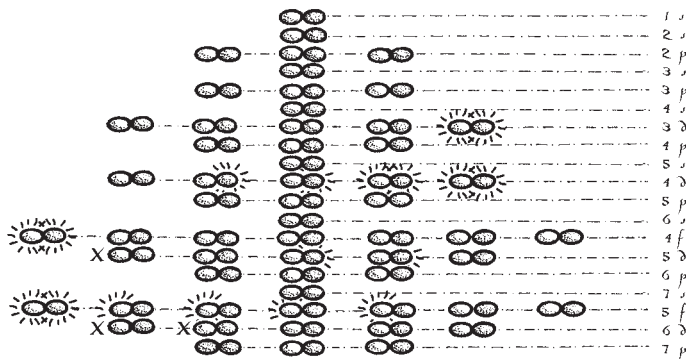


○ neutron
bez náboje



Tradiční planetární model atomu neonu: jádro tvořené deseti protony a deseti neutrony je obklopeno deseti obíhajícími elektrony – dvěma ve vnitřní vrstvě a ostatními ve vnější.

Kvantově-mechanický model téhož atomu: zde každá bublina představuje místo, kde se s největší pravděpodobností vyskytuje elektron. Ta je dána Schrödingerovou vlnovou funkcí.



Orbitály se zaplňují postupně od 1s. V každém řádku se orbitály vždy nejprve z poloviny zaplní jedním elektronem (bílá kulička) a teprve poté se zaplňují elektrony s opačným spinem (černá kulička) a tvoří páry. Paprsky okolo kuliček označují elektrony nebo elektronové páry, které jsou schopny „přeskočit“ do jiného orbitálu a zpět a narušit tím jinak pevně daný pořádek. Zlato, stříbro a měď patří mezi prvky s touto zvláštní vlastností. Orbitály d označené písmenem x se někdy zaplňují dříve než předchozí řada.

PERIODICKÉ TABULKY

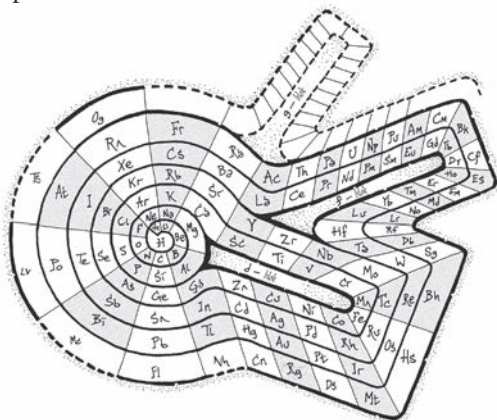
přehledně prvek po prvku

Každý prvek má své místo v periodické tabulce prvků a existují různé varianty této tabulky, které vyzdvihují určité vlastnosti.

Spirála profesora Benfeye (*dole*) je uspořádána podle rostoucího protonového čísla, prvky stejné skupiny jsou paprsky vycházející ze středu tvořeného vodíkem. Prvky jedné skupiny mají stejný počet valenčních elektronů, a tedy podobné vlastnosti. Zaplňováním vyšších orbitalů se objevují *d*- a *f*-prvky jako postranní paprsky.

Tabulka doktora Stowea (*naproti nahoře*) skládá prvky do pater podle umístění elektronů ve *slupkách* (vnitřní jsou nahoře) a rozmístění prvků v každém patře je dáno jejich jedinečnými *kvantovými čísly*.

Moderní verze původní Mendělejevovy tabulky (*naproti dole*) uspořádává skupiny do svislých sloupců a elektronové slupky do vodorovných period. Prvky jsou seřazeny zleva doprava a shora dolů podle protonového čísla.



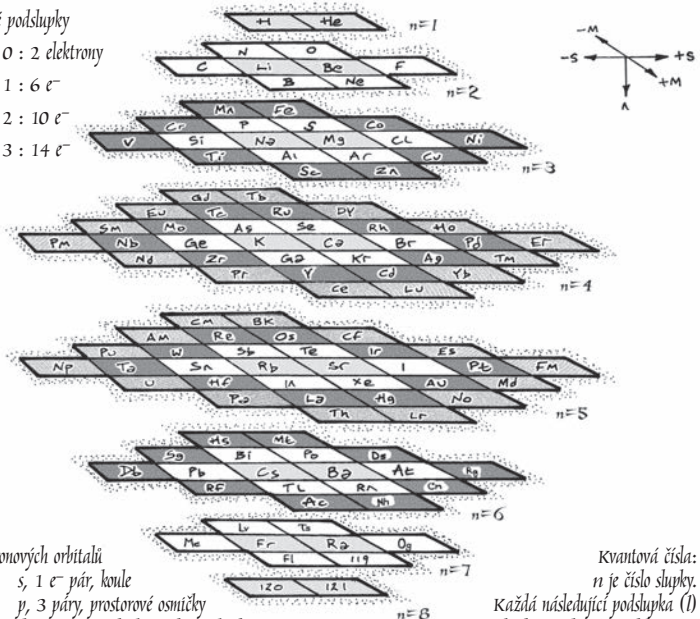
Elektronové podslupky

s $l = 0 : 2$ elektrony

p $l = 1 : 6$ e⁻

d $l = 2 : 10$ e⁻

f $l = 3 : 14$ e⁻



Tvary elektronových orbitalů

- $l = 0$ s, 1 e⁻ pár, koule
- $l = 1$ p, 3 páry, prostorové osmičky
- $l = 2$ d, 5 páří, čtyřlístky a plovací kruh
- $l = 3$ f, 7 páří (strana 58)

Kvantová čísla:

n je číslo slupky.
Každá následující podslupka (l) obsahuje o dva (m) elektronové páry (s) více než ta předcházející.

Nahoře: Elektronové slupky tvoří patra a skládají se z barevně odlišených podslupek.
Dole: Moderní periodická tabulka, která je uspořádána podle protonového čísla zleva doprava (strana 56–57).

s-prvky										p-prvky																									
H	He																	H	He																
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne											Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
K	Ca																	K	Ca																
																		f-prvky		d-prvky															
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
																		f-prvky		d-prvky															
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

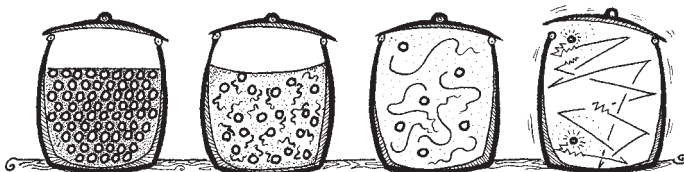
TEPLO CHEMIKOVA DOMOVA

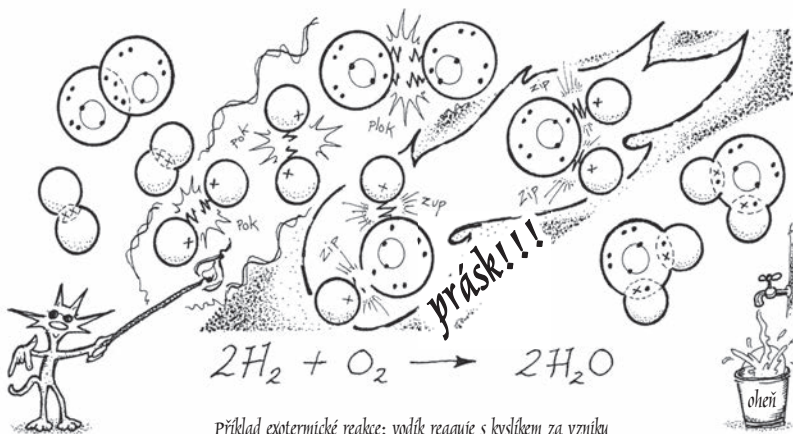
když pro sebe prvky vzplanou

Věci kolem nás jsou převážně sloučeniny, kombinace různých prvků. Atomy se vážou valenčními elektrony s nejvyšší energií z poslední vrstvy, elektrony ve spodních vrstvách zůstávají nedotčeny.

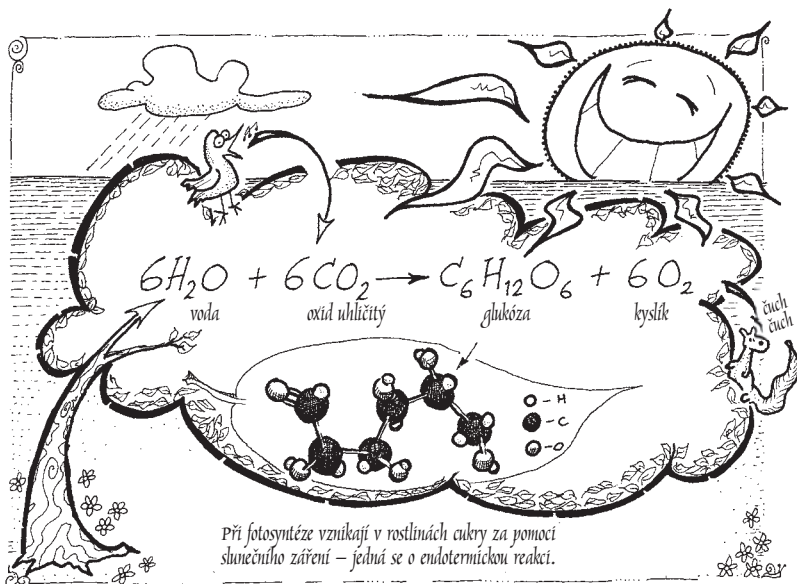
Na horním obrázku vidíme *exotermickou* reakci, při které vzniká teplo. Malé množství energie z plamene aktivuje reakci a zaničují vazby v molekulách plynu. Vznikají molekuly vody s novými vazbami s nižší energií. Energie, která se uvolňuje, udržuje reakci v chodu a nakonec dojde k výbuchu a atomy se zuřivě přeskupují. Na dolním obrázku je *fotosyntéza*, *endotermická* reakce, která probíhá v rostlinách. Energií je potřeba dodávat, a to v podobě slunečního záření. Produkty tedy mají vyšší energii než reaktanty a vznikající glukóza je zásobníkem energie. Reakce probíhající opačným směrem se nazývá *respirace* neboli buněčné dýchání.

Hmota existuje v několika různých *skupenstvích* (dole). Atomy *pevných* látek mají pevné a těsné uspořádání. Zahříváním se rozpohybují, naruší se pravidelná struktura a vznikají *kapaliny*, které mohou téci a měnit tvar. Další zahřívání rozruší i slabé vazebné interakce a částice se rychle rozletí všemi směry jako *plyn*. Při extrémních teplotách se mohou z atomů odštěpit elektrony a vzniká elektricky nabitě ionizované *plazma*, které najdeme například ve žhavé koruně okolo Slunce.





Příklad exotermické reakce: vodík reaguje s kyslíkem za vzniku vody. Během reakce se uvolňuje energie.



Při fotosyntéze vznikají v rostlinách cukry za pomoci slunečního záření – jedná se o endotermickou reakci.

CHEMICKÁ VAZBA

jak to drží pohromadě

Molekuly vznikají sdílením elektronových párů mezi atomy. Odevzdáním či přijetím elektronu vzniká kladně nebo záporně nabitý *iont*. Většina prvků jsou buď kovy (*elektropozitivní*, raději elektrony odevzdávají, tvoří *kationty*), nebo nekovy (spíše *elektronegativní*, většinou elektrony přijímají, tvoří *anionty*).

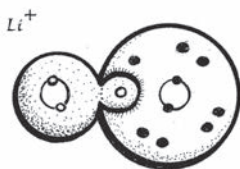
Iontová vazba vzniká v případě, že jeden prvek zcela odevzdá jeden nebo více elektronů druhému a vzniklý kationt i aniont tím získávají stabilní elektronovou konfiguraci nejbližšího vzácného plynu (*nahoře vlevo*). Ačkoli jsou iontové sloučeniny pevné a křehké a mají vysoké teploty tání, mnohé z nich jsou dobře rozpustné ve vodě.

Nekovy se vážou *kovalentní vazbou* – prvky své valenční elektrony sdílejí a opět se snaží zaplnit prázdné orbitály a stabilizovat elektronovou konfiguraci (*nahoře vpravo*). Elektrony se sice odpuzují, ale přitahují je kladná jádra, takže molekuly drží pohromadě.

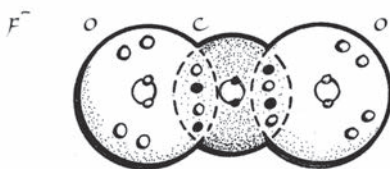
V *kovové vazbě* opouštějí valenční elektrony zcela své původní majitele a volně se pohybují v „elektronovém oblaku“ mezi kladnými ionty (*uprostřed*). Vodivost a lesklost kovů je přímým důsledkem tohoto jevu a jejich vysoké hustoty a teploty tání jsou způsobeny přítlačností kladných iontů a jejich elektronových protějšků.

Vodík ve sloučeninách s prvky s vysokou elektronegativitou (fluorem, kyslíkem a dusíkem) od sebe nechává odčerpávat elektrony, čímž na atomech v molekule vznikají částečné náboje. Když je v okolí jiný elektronegativní prvek, vzniká mezi ním a vodíkem *vodíkový můstek*, který je zásadní pro strukturu vody i molekul DNA (*dole vlevo*).

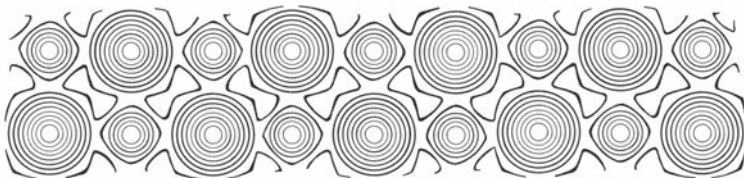
Vazeb a interakcí je ještě mnohem více, od vazeb π po slabé *van der Waalovy* síly.



iontová vazba ve fluoridu lithném



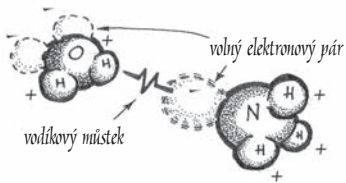
kovalentní vazba v oxidu uhličitém



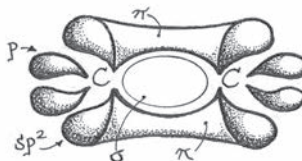
mapa elektronové hustoty krystalického fluoridu lithného (jádra jsou od sebe vzdálena 200,9 pikometru)



Loď jménem Elektrický proud pluje vodami elektronů kovové vazby.



vodíkový můstek mezi
vodou (H_2O)
a amoniakem (NH_3)



Dvojná vazba mezi uhlíky v molekule ethylenu
je tvořena jednou vazbou σ
a jednou vazbou π .

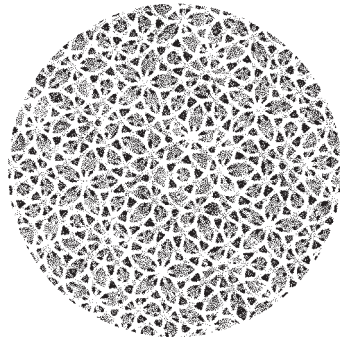
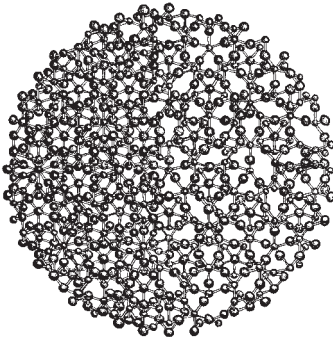
KRYSTALOGRAFIE

na těchto základech se dá stavět

Krystaly jsou periodicky opakované jednotkové buňky. Molekuly pevných látek lze uspořádat do velkých trojrozměrných struktur stejně, jako se skládají jablka na stánku. Částice jsou uspořádány tak, aby byla rovnováha mezi přitažlivými a odpudivými silami co nejvýhodnější. Miliony miliard maličkých stavebních kostek tvoří mnoho pevných látek okolo nás – jsou z nich sestaveny horniny a z nich celé hory.

Existuje sedm krystalografických soustav podle sedmi základních možností vyplnění prostoru geometrickými útvary. V kombinaci se čtyřmi typy jednotkových buněk dávají celkem čtrnáct *Bravaisových buněk (naproti)*. Změna teploty nebo tlaku může způsobit změnu krystalické struktury na energeticky výhodnější uspořádání. Například síra mění při zahřátí na 96 °C uspořádání z kosočtverečného na jednodlonné a při ochlazení zpět na kosočtverečné.

Jsou i komplexnější, semi-symetrická či neperiodická krystalická uspořádání, třeba v živých organismech (*dole vlevo*) a v kvazikrystalech z rychle ochlazených slitin kovů (*krystal Al-Mn, dole vpravo*).





krychlová (kubická) prostá



šesterečná (hexagonální) prostá



jednoklonná (monoklinická) prostá



klencová (trigonální) prostá



čtverečná (tetragonální) prostá



kosočtverečná (ortorombická) prostá



trojklonná (triklinická) prostá



krychlová tělesně centrovaná



krychlová plošně centrovaná



jednoklonná bazálně centrovaná



čtverečná tělesně centrovaná



kosočtverečná tělesně centrovaná



kosočtverečná plošně centrovaná



kosočtverečná bazálně centrovaná

VODÍK A HELIUM

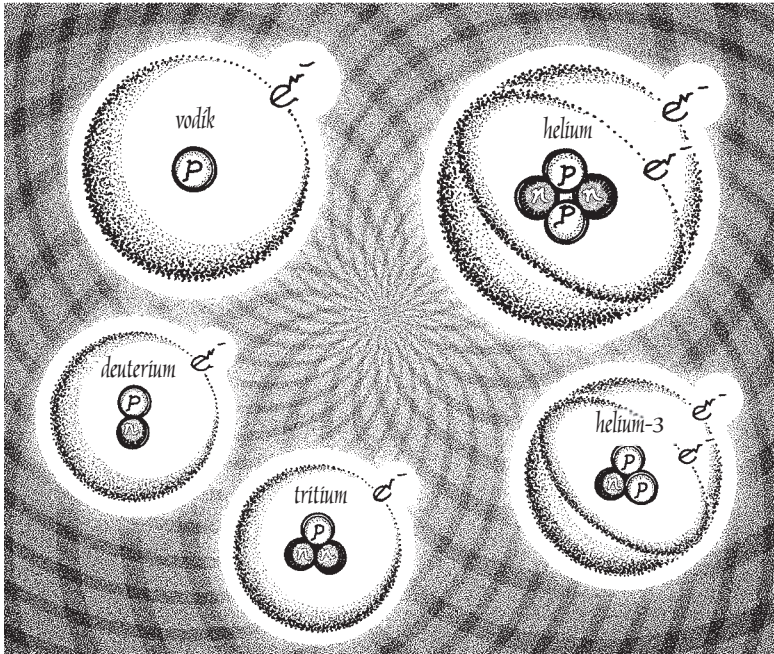
první dva prvky

Vodík tvoří tři čtvrtiny nám známého vesmíru a je hlavní složkou hvězd. Je prvním prvkem periodické tabulky a má nejjednodušší atom ze všech – skládá se pouze z jednoho protonu a jednoho neutronu.

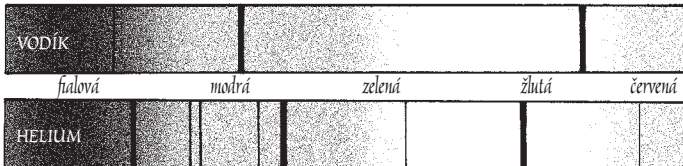
Plynný vodík je nejspokojenější jako *dvouatomová molekula* H_2 s kovalentní vazbou mezi atomy. Na vzduchu je silně výbušný a hoří s kyslíkem za vzniku vody. Při extrémním tlaku a teplotě (což jsou běžné podmínky v jádrech velkých planet, jako je Jupiter a Saturn) se z něj stává kov.

Druhým prvkem periodické tabulky je *helium*. Má dva protony, dva elektrony a dva neutrony (v 99,99 % případů) a je druhým nejvíce zastoupeným prvkem ve vesmíru – tvoří ho téměř čtvrtinu. S orbitalem $1s$ zaplněným dvěma elektrony nemá potřebu reagovat s ostatními prvky a většinou žije osamocen. Je prvním ze skupiny *vzácných* (nebo také *inertních*) plynů, které mají valenční vrstvu zcela zaplněnou elektrony. Helium bylo kupodivu neznámým prvkem až do roku 1870, kdy bylo objeveno za pomoci *spektroskopie* slunečních paprsků, metody podobné analýze otisků prstů u lidí (*dole*). I když je dvakrát těžší než vodík, je stále lehčí než vzduch, takže i to malé množství, které se na Zemi vytvoří, rychle odlétá do vesmíru. Na rozdíl od vodíku je helium bezpečné k nadnášení aerostatických balonů, a když ho vdechnete, budete mluvit vysokým písklavým hlasem.

Kromě své běžné podoby má vodík i dva izotopy, *deuterium* s jedním neutronem a *tritium* se dvěma neutrony. Tritium je vzácné a nestabilní a jeden z jeho neutronů se radioaktivní beta přeměnou snadno mění na proton za vzniku „lehkého helia“, *helia-3* (*strana 40*).



Vodík, helium a jejich izotopy: jsou znázorněny počty protonů (p), neutronů (n) a elektronů (e⁻).



Každý prvek absorbuje světlo jedinečným způsobem a vytváří tmavé pruhy na specifických místech elektromagnetického spektra: tímto způsobem můžeme analyzovat i vzdálené hvězdy a zjistit jejich složení.