



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Voda – unikátní látka

Štěpán Smoljak, Ondřej Šimůnek, Matyáš Knespl, Jonáš Hlaváček, Pavel Staněk

Gymnázium Jana Nerudy

Hellichova 3, Praha 1

Obsah

1. Úvod - proč se zabývat „obyčejnou“ vodou?	2
2. Molekulová struktura	3
2.1. Historické představy	3
2.2. Tvar molekuly	3
2.3. Rozložení náboje molekuly a vodíkové můstky	4
3. Anomálie vody	4
3.1. Rozdíly hustot	4
3.2. Rozdíly hustot – experiment	5
3.3. Regelace ledu - experiment	5
3.4. Tepelné vlastnosti vody	6
4. Voda – mýty	7
4.1. Polyvoda (Polywater)	7
4.2. Dlouhodobá paměť vody (Water memory)	7
4.3. Živá voda/mrtvá voda	8
4.4. Studená fúze (Cold fusion)	8
5. Povrchové vlastnosti	9
5.1. Povrchové napětí	9
5.2. Povrchové napětí – experiment	9
5.3. Adsorpce	10
6. Nestálý bod tání	11
6.1. Podchlazená kapalina	11
6.2. Podchlazená voda - experiment	11
6.3. Pevná amorfnní voda	11
7. Závěr	12
8. Poděkování	12
9. Seznam použitých zdrojů	12

1. Úvod - proč se zabývat „obyčejnou“ vodou?

V naší práci jsme se zaměřili na životně důležitou látku vodu. Voda je unikátní látka, která okolo sebe skrývá mnoho mýtů a záhad. Některé z mýtů a záhad jsme se snažili v našem projektu vyvrátit či potvrdit. Nejdříve jsme se zabývali teoretickou částí a posléze i praktickými důkazy. Zaměřili jsme na povrchové napětí vody, se kterým jsme se snažili zjistit, jak si na tom stojí voda v porovnání s lihem. Další co nám vrtalo v hlavě, byla hustota vody. Jak mohou ryby přežít v zamrzlém jezeře? A jak je to vlastně s teplou a studenou vodou, která bude na hladině a která u dna. V jednom článku jsme se dočetli, že voda v tekutém stavu může mít teplotu až pod bodem mrazu. Jak je to možné? Když voda dosáhne teploty pod nulou, promění se přeci v led? Poslední co jsme chtěli zjistit, bylo to, jak je možné, že drátek projde ledem a led zůstane v celku?

Na praktické části našeho projektu jsme spolupracovali s Vysokou školou chemicko – technologickou v Praze. Všechny pokusy, které jsme zrealizovali, jsme natočili a posléze je sestříhali do prezentace. Práci jsme vypracovali k účasti na Studentské konferenci GJN, konající se 12. 2. 2015 v prostorách Gymnázia Jana Nerudy.

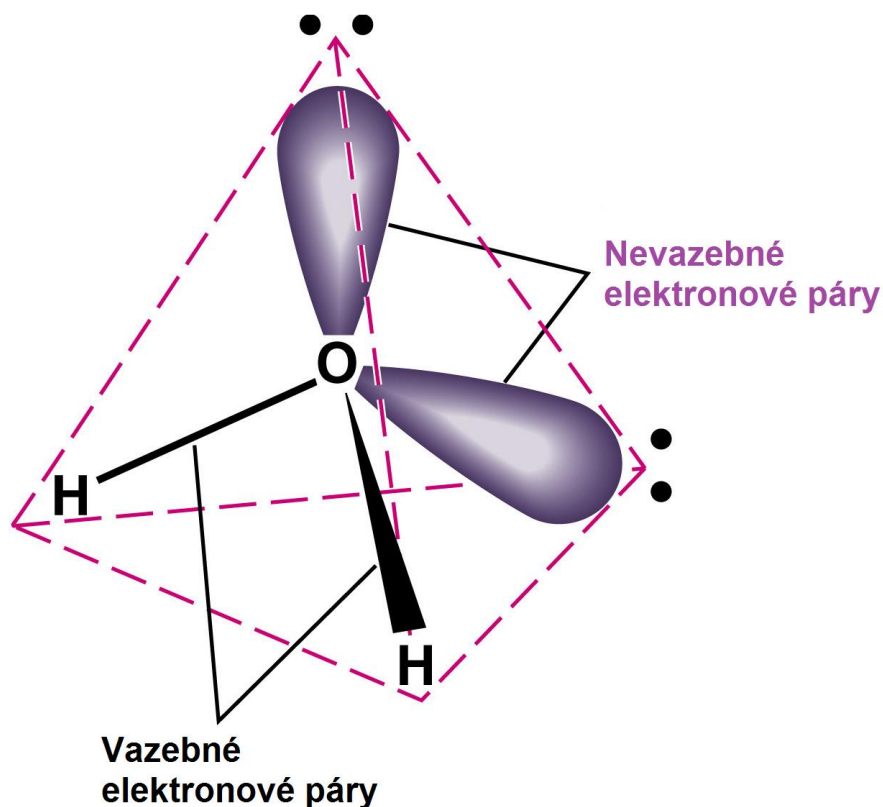
2. Molekulová struktura

2.1. Historické představy

První vědecký pohled na vodu se objevil v 6. století př. n. l. Řecký filozof Thalés z Milétu určil ve svých představách o fungování světa vodu jako základní element, ze kterého se Země skládá. O dvě století později se Aristoteles ve své filozofii zmiňuje o vodě jako o základním, dále nedělitelném prvku, spolu s ohněm, zemí a vzduchem. Podle této myšlenky se až do poloviny 18. století mělo za to, že všechny aristotelovské prvky je možné převést na vodu. V druhé polovině 18. století se tato představa zhroutila. Francouzský chemik Antoine Lavoisier provedl pokus, kdy vysyntetizoval vodu hořením vodíku přivedeného z jedné nádoby, a to za přítomnosti kyslíku přivedeného z druhé nádoby. Z tohoto pokusu jasně vyšlo najevo, že voda je sloučeninou vodíku a kyslíku. Anglický chemik John Dalton později určil poměr mezi těmito dvěma látkami, a sice jako 1:1. Švédský chemik Jöns Jacob Berzelius pak sestavil systém chemických značek pro známé prvky, upřesnil poměr mezi vodíkem a kyslíkem na 2:1, z čehož se vyvinula chemická značka vody používaná dodnes – H_2O .

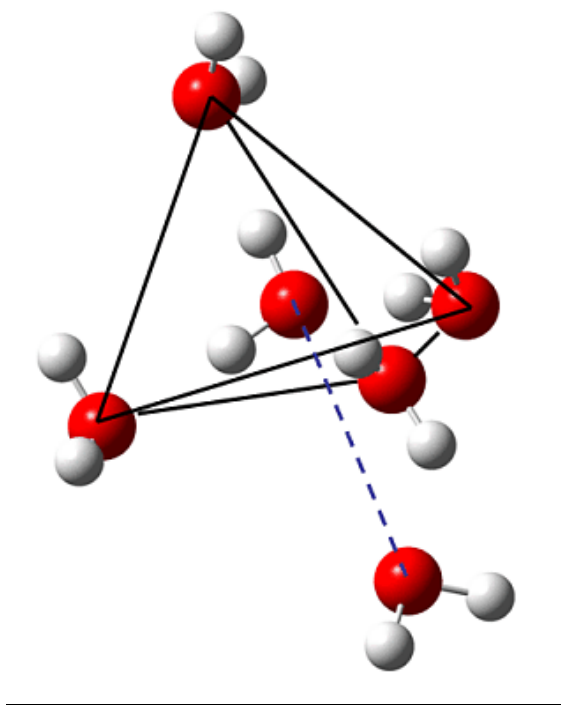
2.2. Tvar molekuly

Molekulu vody si lze poněkud překvapivě představit jako prostorový čtyřstěn. V tomto čtyřstěnu tvoří střed atom kyslíku. Dva ze čtyř rohů tohoto čtyřstěnu vyplňují atomy vodíku. Zbylé dva rohy čtyřstěnu jsou vyplněny dvěma zbylými volnými elektronovými páry kyslíku. V případě zcela pravidelného čtyřstěnu by pak vazebný úhel – úhel mezi atomy H-O-H – byl $109,5^\circ$. Ale jelikož volné elektronové páry kyslíku se s atomy vodíku odpuzují, jsou vodíky tlačeny mírně více k sobě a úhel se tak zmenší o pět stupňů – na $104,5^\circ$.



2.3. Rozložení náboje molekuly a vodíkové můstky

Kyslík svými volnými elektronovými páry přitahuje elektronovou hustotu z vodíků. Elektrony atomů vodíku se tak „nahustí“ na straně blíže k elektronovým párům kyslíku. Dva vrcholy obsazené těmito volnými elektronovými páry kyslíku jsou pak záporně nabitě, protože přitahují záporně nabitě elektrony vodíku. Druhé dva rohy jsou kladně nabitě, protože zde zbyde částečně odhalené, kladně nabitě jádro vodíku. Toto rozložení náboje vede ke vzniku vodíkových můstků – vazeb mezi jednotlivými molekulami vody. Každá molekula se může podílet na čtyřech těchto vazbách. Ve dvou případech molekula vodík nabízí a ve dvou případech přijímá. Vodíkové můstky jsou jasně směřované a tudíž poměrně silné. Vodíkové můstky také způsobují změny skupenství a umožňují při teplotách pod bodem mrazu vznik perfektně uspořádané krystalické struktury ve tvaru sněhové vločky.



3. Anomálie vody

3.1. Rozdíly hustot

U většiny látek, přesněji téměř u všech nám známých sloučenin platí, že pevné skupenství dané sloučeniny má vyšší hustotu, než sloučenina v kapalném skupenství. U vody tento jev neplatí. Jedná se o látku, která má za normálního tlaku hustotní maximum při 4°C, kdy se stále ještě nachází jako kapalina. Voda však není jedinou látkou, u které platí to, že kapalná fáze má vyšší hustotu než pevná. To samé platí ještě například pro germanium, bismut a galium.

Existuje ale i druh ledu, který má tuto hustotu vyšší. Tímto ledem je těžký led, který je tvořen z těžké vody D_2O , tj. běžné atomy vodíku (obsahující pouze proton v jádře) jsou nahrazeny atomy deuteria, které v jádře obsahuje proton a neutron.

To že má led nižší hustotu, než kapalná forma znamená, že voda musí mít bod největší hustoty někde ve své kapalně fázi. Tímto bodem jsou již zmíněné cca 4°C. Když vodu ochlazujeme např. z původních 25°C, tak do 4°C se bude její objem zmenšovat a její hustota zvyšovat (zmenšení vzdálenosti atomů a molekul od sebe). Do tohoto okamžiku jsou molekuly vody navzájem vázány do pětiúhelníkové soustavy.

Při poklesu teploty pod hranici 4°C se začne objem vody zvětšovat, hustota klesat a molekuly vody se začnou vázat v rámci šestiúhelníkové soustavy a vytváří tak krystalickou mřížku ledu.

Tato vlastnost vody, její změna hustoty při přechodu ze skupenství kapalného do skupenství pevného, je životně důležitá pro všechny vodní živočichy. Díky ní v zimě zamrzají vodní plochy odshora a u dna zůstávají příjemné 4°C. Ryby tak mohou nechat svůj metabolismus odpočívat. Kdyby této vlastnosti nebylo, musely by být aktivní a nedokázaly by přežít zimu.

3.2. Rozdíly hustot – experiment

Abychom ukázali, jaký má vliv rozdíl hustot v různých skupenstvích, resp. při různých teplotách vody, obarvili jsme nejprve roztok s vařící vodou červeným potravinářským barvivem a modrou skalicí vodu chladnou. Při smíchání těchto dvou roztoků můžeme pozorovat, že se červený roztok, tedy roztok horké vody, drží na hladině, nad studenou vodou. Bohužel se roztoky velmi rychle smísí a teplota se ustálí, tudíž není pokus příliš viditelný a není ho možné pozorovat déle nebo při větším množství kapaliny.

Dále pak můžeme vypořádat z přírody, že led plave na vodě, protože voda v pevném skupenství má menší hustotu než voda v skupenství kapalném. Hustota ledu činí cca 11/12 hustoty vody. Vhodíme-li kostku ledu do kádinky s vodou, plave. Hodíme-li však kostku do kádinky s lihem, klesne kostka na dno.

3.3. Regelace ledu - experiment

Připravili jsme si kus ledu vyrobený z PET lahve. Po vyndání z mrazáku byl led trochu oteplen v lednici, aby se ohřál na teplotu co nejbližší 0 °C, ovšem tak, aby neroztál. Poté jsme kus ledu upevnili a zavěsili na něj měděný drátek zatížený zhruba 1kg závažím. Drátek se začal pomalu zařezávat do ledu a zhruba po hodině prošel skrz ledem. Led ovšem zůstal neporušený.

Jev je důsledkem toho, že led plave na vodě. Při zvýšení tlaku je totiž stabilnější fáze o vyšší hustotě (voda), a proto led pod drátkem taje. Skupenské teplo, které je pro tání potřeba, se získá opětovnou krystalizací vody v místech s menším tlakem, tedy nad drátkem. Teplo proudí drátkem shora dolů (proto je vhodná měď, která má velkou tepelnou vodivost) a voda okolo drátku nahoru, kde opět mrzne. Rozdíl teplot při běžném uspořádání je setiny stupně, a proto se pokus nepovede, pokud je led příliš studený (z mrazáku). (zdroj: VSCHT.cz)

3.4. Tepelné vlastnosti vody

U vody je na první pohled udivující to, že se vzhledem k velikosti molekul za běžných podmínek nachází v kapalně podobě. Jiné sloučeniny s takto malou molekulou (CH_4 , H_2S , NH_3) se za běžných podmínek nachází jako plyn. Tuto anomálii vody způsobuje neobvykle velká tepelná kapacita, kterou tato sloučenina disponuje ($4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$). To je zapříčiněno neobvyklým jevem, který se nachází pouze u sloučenin několika elektronegativních prvků s vodíkem (např. HF). Touto zvláštností jsou vodíkové můstky.

Vodíkový můstek vzniká při vazbě vodíku se silně elektronegativnějším prvkem (především O a F), který vodíku odtahuje jeho jediný elektron a v různé míře odhaluje jeho kladně nabitě jádro. Tento vodík následně vytvoří slabou vazbu s kyslíkem (či jiným elektronegativním atomem) jiné sloučeniny, který nese naopak záporný náboj. K tomu aby se mohl z kapalně H_2O stát plyn, je zapotřebí tyto vazby „zpřetrhat“. Tato interakce je sice dostatečně slabá na to, aby se rozpadla při dodání běžné tepelné energie (na rozdíl od kovalentních vazeb), ale zase dostatečně silná na to, aby té energie nebylo málo (oproti jiným snáze vroucím kapalinám).

Díky této originalitě vody je možný veškerý život na Zemi. Nebýt jí, voda by byla za normálních podmínek plyn a tudíž všechny věci spojené s vodou by nebyly schopny existovat. Př. Naše tělo používá vodu, jako rozpouštědlo, kterým rozvádí živiny. Zároveň umožňuje tok krve a tudíž rozvádění kyslíku do těla.

Voda nepřechází do pevného skupenství přesně při 0°C , ale je možné ji za vhodných podmínek podchladit až na -35°C (pouze v laboratořích). Abychom mohli vodu podchladit, nesmí se v ní nacházet žádné nečistoty, nebo krystaly minerálních látek. Na těchto nečistotách (jakožto nukleačních centrech) se totiž začínají vytvářet krystalky ledu a to spustí hotovou řetězovou reakci. Led k tomu aby se začal tvořit, potřebuje impuls, když jej nemá z čeho získat, nezačne se tvořit ani ve vodě s teplotou hluboko pod 0°C .

To že led se začne tvořit, když mu dodáme impuls, si můžeme ověřit tím, že do láhve s podchlazenou vodou cvrnkneme prstem, zatřepeme s ní, nebo jí pustíme na zem. Tím dáme impuls a voda začne velice rychle zamrzat (záleží na hloubce podchlazení vody). Láhev bude zamrzat od místa, kde došlo k narušení (kde jsme dali impuls).

4. Voda – mýty

4.1. Polyvoda (Polywater)

Mýtus s názvem polyvoda vznikl v 60. letech minulého století (zřejmě roku 1966), kdy výzkumníci z tehdejšího Sovětského svazu v technologickém institutu ve městě Kostroma objevili, že voda pozorovaná v úzkých kapilárách může mít za určitých podmínek anomální vlastnosti, a to vyšší hustotu než obvyklá voda, teplotu varu asi okolo 200°C a teplotou tání okolo -30 °C, specifickou infračervenou strukturu a také znaky polymerní struktury, která se vyznačuje mimo jiné například nekonečně dlouhou molekulovou strukturou. Samotný název polyvoda vznikl o několik let později na Západě, kde byly pokusy s polyvodou zopakovány a kde byl objev popularizován.

Polyvoda byla vyvrácena o pět let později (1971), když americký biofyzik Denis L. Rousseau, který byl tehdy zaměstnancem AT&T Bell Laboratories (nyní vyučuje na Albert Einstein College of Medicine, která je součástí Yeshiva University) zjistil, že anomální vlastnosti takzvané polyvody vznikly kontaminací ze stěn kapilár a z potu experimentátorů.

Přesto ještě v roce 1973 vyšel v časopise Nature varovný článek pojednávající o polyvodě jako o nejnebezpečnější látce na zemi, která je schopna kontaminovat a změnit konzistenci veškeré vody na Zemi. S tématem polyvody se můžeme setkat také v science-fiction kinematografii. Ve známém sci-fi seriálu Star Trek se v sedmém díle první sezóny „Čas obnažení“ („The Naked Time“) objeví otrava polyvodou.

4.2. Dlouhodobá paměť vody (Water memory)

Podle některých teorií je voda schopna zapamatovat si látky, které v ní byly rozpuštěny. První zmínky se objevily v časopise Nature roku 1988, kdy byl francouzským imunologem Jacquem Benvenistem (Jacques Benveniste – *1935- †2004) publikován článek o reakci krevních buněk na protilátky extrémně zředěné ve vodném roztoku. Tak vznikla teorie, že si voda musí pamatovat molekuly rozpuštěné látky, které v ní byly přítomny před zředěním a nějakým způsobem se do ní otiskly. Pokus se bohužel již nepodařilo zopakovat, a to ani v laboratoři tvůrců teorie. Spektroskopické studie za pomoci ultrarychlých laserových impulzů navíc odhalily, že termální pohyb molekul vody činí její „paměť“ extrémně krátkodobou.

S pamětí vody také souvisí způsob alternativní medicíny zvaný homeopatie, jejímž průkopníkem byl německý fyzik Samuel Hahneman (*1755- †1843). Ta staví na teorii o používání vysoce zředěných látek, které ve vyšší dávce u zdravého člověka vyvolávají příznaky podobné těm, jaké má léčená choroba. S teorií je úzce spojena také s tzv. placebem (neúčinná látka upravená do stejné formy jako lék), resp. placebo efektem.

4.3. Živá voda/mrtvá voda

S pojmy živá voda a mrtvá voda se můžeme setkat, jak v klasických pohádkách, tak ale také v alternativním léčitelství, kde se tyto pojmy spojují s produkty elektrolýzy vody. Dle těchto teorií je pro různá použití vhodná voda s různou hodnotou pH (viz. tabulka). Elektrolýzu lze provádět pomocí ionizátorů, které lze koupit domů a provádět elektrolýzu vodu dle potřeby. Ceny takových ionizátorů se však pohybují v desítkách tisíc korun a teorie není nijak potvrzena.

4.4. Studená fúze (Cold fusion)

Studená fúze je způsob získávání energie pomocí specifické jaderné fúze za nižších teplot, než je potřeba u standardní (teplé) jaderné fúze, která byla zatím použita pouze ve formě jaderných bomb. V roce 1989 se prý podařilo britskému chemikovi Martinu Fleischmannovi a americko-francouzskému elektrochemikovi Stanley Pons provést studenou fúzi pomocí elektrolýzy těžké vody (obsahující izotopy vodíku deuterium a tritium), což znamenalo, že průmyslově výhodné provedení této reakce by zajistilo lidstvu téměř nevyčerpatelné zdroje energie. Při pokusu o zopakování experimentu byla však reakce na hranici měřitelnosti, teorie nebyla potvrzena a vědci se vrátili k náročnějšímu výzkumu využití standardní jaderné fúze. Nicméně, dnes se na několika pracovištích po světě (mimo jiné i ve Výzkumném centru NASA) testují nízkoenergetické nukleární reakce, které pracují se slabou jadernou interakcí (Low Energy Nuclear Reaction – LENR).

5. Povrchové vlastnosti

5.1. Povrchové napětí

Mezi molekulami vody působí velmi silné vodíkové můstky, díky kterým se voda snaží minimalizovat svůj povrch. Na povrchu vody vzniká povrchové napětí. Čím větší je povrchové napětí, tím snáze se na povrchu kapaliny mohou udržovat tělesa. Povrchové napětí je laicky řečeno síla potřebná k odtržení předmětu z hladiny kapaliny. Povrchové napětí vody při 20°C je 0,073 N/m. Napětí je závislé na druhu kapaliny, ale také na prostředí, které se nachází nad hladinou kapaliny. Čím vyšší je teplota, tím nižší je povrchové napětí.

Snižovat povrchové napětí můžeme také tak, že do vody přidáme látku, která bude s vodou slaběji interagovat, než molekuly vody mezi sebou. Látka bude následně vytlačena na povrch, což bude mít za následek snížení povrchového napětí. Příkladem této látky mohou být různé detergenty (chemické látky určené k čištění). Při tomto efektu dokážou detergenty vyčistit zamaštěné nádoby a ještě si k tomu vyrábějí krásné bublinky.

Opačným jevem ke snižování povrchového napětí je jeho zvyšování, ke kterému dochází, když do vody přidáme látku, která bude silněji interagovat, než molekuly vody mezi sebou. Potom tedy dochází ke zvýšení povrchového napětí. Tento jev způsobují některé anorganické soli a zásady. Ionty solí jsou odpuzovány z povrchu vody, kde by měly zůstat jen molekuly vody, ale není tomu vždy tak, jsou výjimky jako např. bromid, chlorid nebo jodid.... Tyto ionty se na povrchu resp. v mezifázi adsorbují.

5.2. Povrchové napětí – experiment

Pomocí série pokusů jsme demonstrovali, jak vysoké je povrchové napětí vody a její snahu minimalizovat svůj povrch.

Jako první jsme naplnili kádinku destilovanou vodou a opatrně jsme na hladinu kladli drobnější předměty, jako jsou svorky, desetníky nebo lehčí knoflíky. V důsledku povrchového napětí (při opatrném položení) voda udrží všechny tyto předměty, které se zdržují u sebe (můžeme tak pozorovat i působení gravitace).

Do kádinky, kterou napustíme až po okraj destilovanou vodou, vhazujeme postupně těžší mince (tím pomalu zvyšujeme hladinu). Opět se nám ukazuje, co povrchové napětí dokáže, potom, co jsme dokázali hladinu zvýšit zhruba o půl centimetru nad okraj kádinky, aniž by došlo k přetečení. Vyzkoušíme-li to samé s kádinkou plnou lihu, hladina přetéká okamžitě.

Jako poslední jsme zkusili opět porovnat povrchové napětí vody a lihu a jak si povede obyčejný papír s udržení těchto kapalin v užší kádince. Napustíme tedy kádinku po okraj kapalinou a přiložíme papír a pak točíme dnem vzhůru. Voda nám zůstane v kádince, kdežto líh se rozlije.

5.3. Adsorpce

Adsorbovat samo o sobě znamená vstřebávat, nasávat.

Hydroxidové a hydroxoniové ionty vznikají při samotné autolýze (autoprotolýze) vody. Autolýza vody je chemická reakce, během níž se molekuly vody přemění na hydroxoniové kationty a hydroxidové anionty. Vědci jsou přesvědčeni, že jeden druh z těchto iontů se adsorbuje do povrchu vody. Na čem se ale vědci neshodují, je, o který z iontů se jedná. Jedna skupina říká, že se do povrchu (povrchové vrstvy, resp. mezifázi) vody adsorbují hydroxidové anionty, druhá zase že to jsou hydroxoniové kationty. V dnešní době ještě nejsme schopni říci, která skupina má pravdu a která ne. Nelze také popřít variantu, že by pravdu měly oba tábory. Důležité je si uvědomit, že povrch vody je elektroneutrální, takže buď se adsorbují kationty a anionty se akumulují v těsné vrstvě pod nimi nebo naopak.

Anorganické ionty vyskytující se na povrchu vody ovlivňují to, jestli se na vodní hladině bude tvořit pěna nebo nebude. Všichni víme, že na mořské hladině se pěna tvoří, zato ve sladkovodních jezerech se pěna nikdy nevytvoří. Lze si to vysvětlit tak, že v čisté vodě (sladkovodní) se rozpuštěné bublinky vzduchu rychle spojují, což zabraňuje vzniku pěny. Zato v mořích sůl brání spojování bublinek, a proto se vytváří na hladině pěna. Teoreticky to funguje tak, že dochází k adsorpci solných iontů. Adsorpce znamená, že tyto solné ionty se rozpouštějí a následně se hromadí na povrchu vody, proto vzniká pěna. Vědci si, ale pořád nejsou jistí tím, proč adsorpce ovlivňuje spojování bublin.

6. Nestálý bod tání

6.1. Podchlazená kapalina

Podchlazená kapalina je taková, která má nižší teplotu, než je její (rovnovážná) teplota tuhnutí. Podchlazená kapalina je pořád v kapalném stavu až do chvíle kdy do ní přidáme nějaký krystal nebo vhodnou chemikálii. Pokud voda není v kontaktu s těmito krystalizačními jádry, kterými mohou být např. stěny nádob, nemrzne voda při 0°C, ale jsme ji schopni podchladit.

Příkladem ze života, kde se můžeme setkat s podchlazenou kapalinou, jsou samoohřívací polštářky. V polštářcích je roztok, ve kterém je plíšek. Roztok má nižší teplotu, než je jeho teplota tuhnutí, a proto když ohneme plíšek, tak tento malý impuls zahájí tuhnutí roztoku a jeho ohřívání.

6.2. Podchlazená voda - experiment

Pokusili jsme se podchladit vodu. Vzali jsme větší misku a do ní dali led a také sůl, abychom zajistili větší mrznutí. Do této misky jsme pak vložili menší misku, ve které byla voda z lednice, zchlazená na teplotu asi 3C. Do ní přišel teploměr a poté jsme pozorovali, jestli teplota klesne pod bod mrazu, který je v případě vody 0° C, a voda jestli nezačne tuhnout.

Teplotu vody se nám ale bohužel nepodařilo dostat níže než -0,5°C, z důvodu vytvoření špatných podmínek (je těžké zabránit impulzům, které zahájí nukleaci).

6.3. Pevná amorfni voda

Amorfni pevná voda vzniká při depozici vodni páry na velmi chladnou podložku (při teplotách kolem - 140°C). Amorfni pevná voda má podobnou strukturu jako podchlazená kapalina, ale liši se hodnotou viskozity. U amorfni pevné vody je viskozita mnohem větší, než u podchlazené kapaliny. Viskozita je veličina, která nám charakterizuje vnitřni třeni v kapalině. Viskozita je závislá na velikosti přitažlivých sil mezi částicemi v kapalině. Čím větší jsou přitažlivé síly mezi částicemi v kapalině, tím bude konečná viskozita větší. Zvýšená viskozita má za následek zpomalení pohybu kapaliny nebo zpomalení pohybu tělesa v kapalině. Pokud, ale máme jen malé množství pevné amorfni látky, jsme schopni ji ohřát na -70°C. Od -70°C jsem už jen malý krůček k podchlazené kapalině.

7. Závěr

Na závěr by se slušelo celou naši práci stručně zhodnotit. Naším cílem bylo potvrdit či vyvrátit nějaké mýty a záhady. Jako první jsme se zaměřili na povrchové napětí vody. V pokusech na povrchové napětí jsme vodu porovnávali s lihem. Voda na rozdíl od lihu udrží na celý obsah kádinky. Hladinu vody se nám také povedlo o něco málo zvednout nad úroveň kádinky. To se nám s lihem nepovedlo. Další záhada pro nás byla, proč vlastně voda neplave na ledě. Samozřejmě jsme si mysleli, že je to naopak. Naše domněnka se nám pak následně potvrdila. Hustota vody v tekutém stavu je větší, a proto led plave na vodě. Největší naše zjištění bylo, jak je možné to, že ledem projde drátek a led zůstane v celku. Celá práce přinesla mnoho zajímavých pozorování.

8. Poděkování

Celá naše práce proběhla bez sebemenšího problému. Velkou zásluhu na tom měli i naši usměrňovatelé a to paní profesorka RNDr. Jana Parobková z Gymnázia Jana Nerudy a pan profesor prof. Dr. RNDr. Pavel Matějka s Dr. Marcelou Dendisovou. Všem patří velký dík, protože bez jejich pomoci by naše práce nebyla na tak vysoké úrovni, jako je.

9. Seznam použitých zdrojů

<http://marge.uochb.cas.cz/>

Příručný slovník naučný (Československá akademie věd – 1966)

Pavel Jungwirth - Voda, samá voda

Otova encyklopedie