

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA PEDAGOGICKÁ  
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

**FYZIKA NA TALÍŘI**  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Petr Koza**

*Přírodovědná studia, Fyzika se zaměřením na vzdělávání*

Vedoucí práce: PhDr. Zdeňka Kielbusová

**2015**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 15. dubna 2015

.....  
vlastnoruční podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucí práce PhDr. Zdeňce Kielbusové za odborné vedení, cenné rady, vstřícné jednání a pomoc s výběrem tématu.

ZDE SE NACHÁZÍ ORIGINÁL ZADÁNÍ KVALIFIKAČNÍ PRÁCE.

## OBSAH

ÚVOD .....	2
PEDAGOGICKO-PSYCHOLOGICKÝ ÚVOD .....	4
FYZIKÁLNÍ ČÁST.....	7
1 MECHANIKA .....	8
1.1 FYZIKÁLNÍ KOKTEJL .....	8
1.2 KOUZELNÉ PÁRÁTKO.....	11
1.3 PERLY A STŘÍBRNÉ VEJCE .....	14
2 KMITÁNÍ A VLNĚNÍ .....	20
2.1 ČAJOFON.....	20
3 ELEKTŘINA A MAGNETISMUS.....	26
3.1 BATERIE S CHUTÍ.....	26
4 MOLEKULOVÁ FYZIKA A TERMODYNAMIKA .....	30
4.1 MOLEKULÁRNÍ MĚCHAČKA .....	30
4.2 MOLEKULÁRNÍ PUMPIČKA .....	32
4.3 JAKO PÁRA NAD HRNCEM .....	34
5 ATOMOVÁ FYZIKA .....	40
5.1 BOUŘKA V CUKRU .....	40
6 ASTRONOMIE.....	44
6.1 SLUNEČNÍ SOUSTAVA K NAKOUSNUTÍ.....	44
ZÁVĚR.....	51
RESUMÉ .....	53
SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ .....	54
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	57
SEZNAM TABULEK .....	58
SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A KONSTANT .....	59
SEZNAM VZORCŮ .....	60

## Úvod

Téma Fyzika na talíři mě zaujalo tak říkajíc na první pohled. Spojení talíře s fyzikou je zajímavé a nabízí několik možností, jak na něj pohlížet. Jako první mě napadlo vzít talíř naprosto věcně a konkrétně a vytvořit sérii pokusů, kde bude figurovat v seznamu potřeb jako nutná pomůcka. Dále už následovaly asociace s přeneseným významem. Když se dá ve fyzice využít talíř, mohlo by stejně posloužit i další nádobí a kuchyňské pomůcky. Talíř používáme pro servírování jídla, proto by mohl seznam pokusů obsahovat i ty, ve kterých požijeme potraviny. Přitom mě napadlo, že by bylo zajímavé zkoumat i fyzikální jevy, které sice pozorujeme u jídla, ale mnohem lépe je probádáme při experimentech s jinými předměty, u nichž je jev mnohem patrnější. Protože mě ke všem nastíněným pojetím napadlo několik zajímavých pokusů, nevybral jsem si jen jedno z nich, ale rozhodl se použít všechna. Dohromady jsem je zastřešil poslední dedukcí, která popisuje filozofii celé práce: Na talíři bývá přichystán pokrm určený ke konzumaci. Hlad tak zaženeme docela snadno, nemusíme vařit, máme ulehčenou práci. Podobné ulehčení by měly přinést i pokusy. Pokud je látka představena studentům dostatečně stravitelně, tzn. názorně a prakticky, mnohem snáze pochopí princip a naučí se teorii.

To zároveň vysvětluje, proč jsem se rozhodl, že se ve své práci budu soustřeďovat na pokusy. Pokusy jsou dle mého soudu totiž pro výuku fyziky klíčové. Pokusem nebo demonstrací by měla začínat výuka každého tématu, aby si žáci uvědomili, že fyzika není jen umělým nezáživným předmětem, ale že je vědou o nás a o našem světě, že nám umožňuje pochopit a popsat, co se děje s námi i kolem nás, že je velice zajímavá a dokáže nám odpovídat na otázky začínající slovem proč.

Ze všech možných pokusů bych pak vyzdvihl především ty s jednoduchými a snadno dostupnými pomůckami, které má každý doma nebo si je může lehce opatřit. Do této kategorie spadá právě fyzika na talíři. Potraviny, kuchyňské pomůcky a jednoduché domácí potřeby má každý k dispozici, případně si je lehce sežene.

Provedeme-li jednoduchý pokus, student snáze pochopí princip. To mu otevírá dveře k pochopení obtížnějších pokusů a následně k pochopení obecné problematiky. Výsledkem je pak spojení světa vědy a světa zkušeností žáka. U fyziky tak opravu platí, že méně je někdy více.

Pokusy ve výuce fyziky se zabývá celá řada sbírek, knih a populárně-naučných webů. Stanovil jsem si, že některé z uvedených zdrojů prostuduji, vyberu z nich několik pokusů, které sám provedu, zdokumentuji, popíšu a zařadím je do své práce. Při tom se soustředím na vzájemné souvislosti mezi pokusy, aby se v práci nenacházely jen vedle sebe, ale tvořily logické celky. Zdůrazním také mezipředmětové souvislosti a případné zajímavosti.

## PEDAGOGICKO-PSYCHOLOGICKÝ ÚVOD

Před tím, než se začneme zabývat konkrétními pokusy, je nutné rozebrat, proč se pokusy jako takové ve výuce fyziky vůbec využívají, v čem jsou prospěšné a jaký je jejich pedagogický a psychologický efekt.

Důležitým pojmem je motivace. Pomáhá nám vysvětlit, proč někdo něco dělá a proč to dělá daným způsobem. Jinými slovy zkoumáme, co jedince k jeho jednání a chování motivuje. Každé konání je motivováno vnitřním napětím, pocitem potřeby konat. Pokud máme žízeň, máme nutkání se napít. Když se cítíme osaměle, máme tendenci vyhledat společnost. Jestliže nepociťujeme potřebu něco dělat, tak přirozeně nic neděláme.

Ve škole je proto nutné s motivací pracovat. Při vyučování je nezbytné vytvořit takové prostředí, které žákům navodí pocit potřeby dozvědět se něco nového a pochopit podstatu probíraného tématu. K dosažení kýženého efektu můžeme využít motivace vnější nebo vnitřní. Těžištěm vnější motivace jsou odměny a tresty. Ty ale vedou k tomu, že je aktivita žáka podmíněna touhou získat odměnu (v podobě dobré známky a pochvaly) nebo se vyhnout trestu (poznámce a špatné známce). Objektem zájmu tedy není probíraná látka jako taková. Proto má mnohem příznivější efekt motivace vnitřní. Je-li úspěšná, dojde k probuzení přirozeného zájmu vycházejícího ze samotných žáků.

*„Učitel může vnitřní motivaci žáků vzbudit i tím, že hodinu zahájí předvedením překvapivého pokusu nebo zajímavého problému, který aktivizuje poznávací potřeby žáků, navodí pocit rozporu mezi dosavadním pojetím a tím, co žák vidí nebo se dozvídá.“[8]*

Je zřejmé, že pokus je velmi vhodným prostředkem k vyvolání zájmu žáků o zkoumání a objevování. Dobře zvolený a provedený pokus totiž splňuje podmínky, jejichž respektování je předpokladem úspěšné motivace. Při začátku pokusu žáci zpozorní, jsou aktivizováni, protože se něco děje. Poté se soustředí na obsah toho, co se před nimi odehrává. Pokud zjistí, že je to zajímavé a že demonstrováný jev znají ze svého života, začnou uvažovat v kontextu, klást si otázky, objevovat souvislosti a reálně se zajímat o podstatu. Projeví tak přirozený zájem o látku, která je náplní vyučování. Motivace k vzdělávání je ještě zesílena, pokud žáky přímo zapojíme do pokusu jako pomocníky. Jsou na sebe hrdí, že pomáhají učiteli, téma se jim zdá bližší, přístup k předmětu se stává osobnějším.



Jak již bylo naznačeno, u pokusů je velmi důležité, aby vycházely z běžného života a aby byla dostatečně zdůrazněna paralela mezi nimi a světem žáků. Každý se totiž primárně soustřeďuje na to, co se ho bezprostředně týká a co má vliv na jeho život.

Z logiky věci by tedy měli být žáci motivováni k vzdělávání sami od sebe. Předpokládá se, že čím více toho budou umět, tím lepší zaměstnání v budoucnu získají, což bude mít pozitivní vliv na jejich život. Tento způsob motivace ale bohužel dostatečně nefunguje. Motivace je silně tlumena, protože se výsledek případného snažení dostaví až za dlouhou dobu a nemá konkrétní rysy. Dalo by se říci, že je člověk nastaven tak, aby cítil nutnost být aktivní jen pro jasně charakterizovanou činnost s konkrétním výsledkem. Proto je důležité žákům jejich cestu za poznáním členit do menších celků, aby pro ně měly dílčí cíle co nejjasnější obrysy a aby byly co nejvíce ukotveny v jejich reálném životě. Z tohoto hlediska jsou pokusy velmi vhodné. Jsou jasně strukturované a zaměřují se na princip fungování toho, co nás obklopuje.

S motivací souvisí tvořivost, kterou je obdařen každý člověk, ovšem jinou měrou. Za tvořivostí si můžeme představit schopnost pohlízet na určitou problematiku vlastní optikou a vymýšlet nová a mnohdy překvapivá řešení. Není přitom nutné, aby byla řešení obecně nová. Svoji úlohu splní, i když budou nová jen pro žáka. Tvořivost se dá rozvíjet tréninkem, má pozitivní vliv na kognitivní funkce a nejlépe se využívá při řešení tzv. divergentních úloh. Tedy těch, které nemají jen jeden správný výsledek, lze u nich brát v úvahu více alternativ a hypotéz a existuje u nich více řešení.

Tvořivost je také základem známé a často používané techniky brainstormingu. Tu můžeme využít i při pokusech. Jednou možností je bez předchozího probrání látky předvést před třídou pokus a následně vznést otázku, na jakém principu podle žáků funguje. Další variantou je vyzvání žáků, aby na základě probrané látky zkusili navrhnout pokus. Je také možné provést jeden pokus a požádat žáky, aby se zamysleli nad jeho možnými obměnami a variantami.

Aby byl brainstorming opravdu účinný, musíme dodržovat několik zásad. Ve fázi, kdy žáci vymýšlejí nejrůznější odpovědi a přicházejí s nápady a vysvětleními, nesmíme do tvůrčí činnosti nijak zasahovat. Dobré je jen sepisovat všechno, co slyšíme. Žáci se mohou od sebe vzájemně inspirovat a uchýlit se zajímavým směrem. Hodnocení přichází na řadu

až ve druhé fázi. Posbírané a zapsané nápady nám pomohou udělat si představu o tom, jak jsou žáci schopni uvědomit si podstatu problému a jakou měrou dokážou používat dosavadní fyzikální poznatky. Za odpovědi blízké realitě je dobré žáky pochválit. Vděční bychom ovšem měli být i za nápady skutečnosti vzdálené. Můžou nám ukázat, jak o problematice žáci uvažují, a tím odkrýt případná místa, ve kterých dochází k nepochopení. Proto je dobré všechny nápady probrat společně s třídou tak, že je podrobíme kolektivnímu hodnocení.

U popsané metody existuje jedno úskalí. Někteří žáci s vysokou schopností tvořivosti se dokážou snadno odtrhnout od zažitých myšlenkových rámců a jejich nápady vychází více z fantazie než z vlastní zkušenosti. Kantor proto musí na základě osobní zkušenosti se třídou vyhodnotit, ve kterém případě jde o vážnou chybu v pochopení problému a ve kterém o čistě fantazijní konstrukt. Proto může být vhodnější, když učitel nepodrobuje svému hodnocení samotné nápady, ale až následující diskusi s žáky o jednotlivých návrzích, při které se předpokládá již plné zapojení analytického myšlení.

S motivací a tvořivostí jdou ruku v ruce mezipředmětové vztahy. Když žák vidí, že se téma probírané ve fyzice vyskytuje například i v chemii a biologii, motivuje ho to k jeho pochopení v širších souvislostech. Efekt je ještě umocněn, je-li v každém předmětu téma obohaceno přesahy do běžného života. O to více je pak zřejmé, že souvislost jednoho předmětu s druhým není náhoda, ale spíše pravidlo. Ve světě, který prostřednictvím jednotlivých předmětů poznáváme, souvisí všechno se vším. I naše tělo, které je probíráno v biologii, by nefungovalo bez životně důležitých chemických reakcí a fyzikálních zákonů.

Pro opravdu dobré pochopení látky probírané v jednotlivých předmětech je tedy nezbytně nutné uvědomovat si souvislosti. Cenné zde může být zapojením tvůrčích schopností a vymyšlení souvislostí pro žáka nových. Jen tak mohou být vědomosti pospojované, uspořádané, ukotvené v reálném světě a připravené k praktickému použití.

## **FYZIKÁLNÍ ČÁST**

Následující část práce je věnována fyzikálním pokusům. Ty jsou řazeny do tematických celků: mechanika, kmitání a vlnění, elektřina a magnetismus, molekulová fyzika a termodynamika, atomová fyzika, astronomie.

Každý pokus je strukturován. Začátek se vždy věnuje teoretickým poznatkům, jež má experiment názorně demonstrovat. V další části jsou vypsány potřeby a pak postup přípravy a realizace pokusu. Dále je obsažena část s výsledky, která zahrnuje hodnoty naměřených veličin, popis toho, jak se pokus zdařil, co nám vyšlo a co to prakticky znamená. Poslední část je věnována zajímavostem a souvislostem. V ní jsou zařazeny informace popisující zajímavé skutečnosti, vazby s dalšími předměty nebo ostatními pokusy. Pro dostatečnou názornost jsou součástí každého pokusu fotografie a obrázky.

# 1 MECHANIKA

## 1.1 FYZIKÁLNÍ KOKTEJL

### 1.1.1 TEORIE

Pro přípravu fyzikálního koktejlu potřebujeme znát hustotu  $\rho$ . Ta podle vzorce 1 udává, jakou hmotnost  $m$  má jednotka objemu  $V$  dané látky.

Vzorec 1

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Hustota nezávisí jen na konkrétní látce, ale také na teplotě  $t$ . To souvisí s teplotní roztažností. Zvýšíme-li teplotu, zvětší se objem, avšak hmotnost látky zůstává stejná. Ze vzorce proto plyne, že se musí snížit hustota.

Konkrétní změnu hustoty vypočteme pomocí vzorce 2, kde  $\rho_1$  značí počáteční hustotu,  $\Delta t$  změnu teploty a  $\beta$  je součinitelem objemové roztažnosti. Pro každou látku má svou specifickou hodnotu, kterou najdeme v tabulkách.

Vzorec 2

$$\rho = \rho_1(1 - \beta\Delta t)$$

Vzorec bohužel neplatí pro všechny kapaliny. Výjimku tvoří voda v intervalu od 0 °C do 4 °C. Díky anomálii nemá nejvyšší hustotu při 0 °C, jak bychom předpokládali, ale až při 4 °C.

### 1.1.2 POTŘEBY

Vyšší sklenice, líh, voda, olej, injekční stříkačka nebo pipeta s dlouhou úzkou kapilárou a balónek, různá barviva.

### 1.1.3 POSTUP

Sklenici naplníme do poloviny vodou a opatrně dolijeme lihem, aby se obě kapaliny co nejméně promíchaly. Chceme-li, aby bylo rozhraní mezi kapalinami lépe zřetelné,

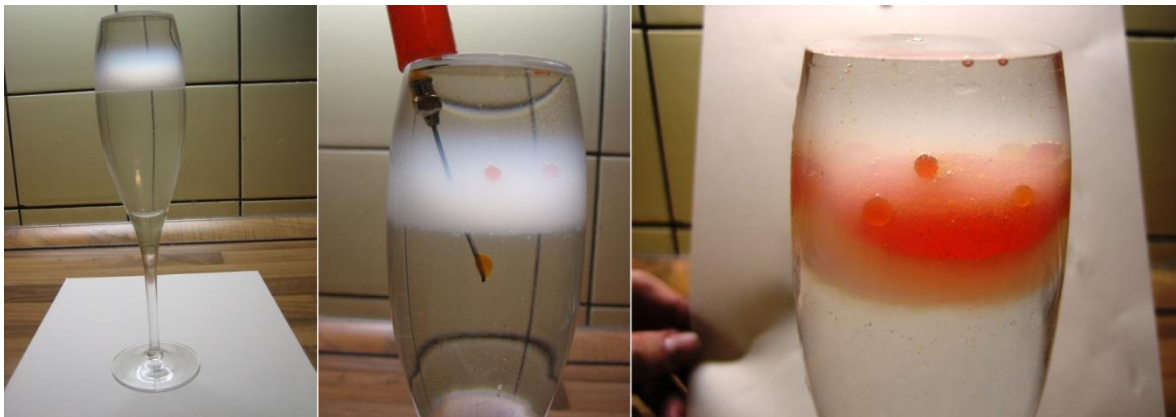
můžeme před tím jednu z nich jemně obarvit. Do mezní vrstvy vpravíme pomocí injekční stříkačky nebo pipety olej. Vzniklé kapky jsou nejlépe zřetelné, když olej také obarvíme.

#### 1.1.4 VÝSLEDKY

Pokusem jsme ověřili posloupnost hustot zkoumaných látek. Nejnižše se nacházela voda o hustotě  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , uprostřed olej o hustotě  $917 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a ve svrchní vrstvě líh s hustotou  $789 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Vodu ani líh jsme neobarvili a rozhraní se nám přesto zvýraznilo přítomností bílého zákalu. Ten zřejmě vznikl reakcí vody a denaturačních příměsí přítomných v použitém technickém lihu. Pro obarvení oleje jsme zkoušeli napřed prášková barviva, ta se v něm ale špatně rozpouštěla. V úvahu nepřipadala ani kapalná z důvodu nesmísitelnosti s olejem. Proto jsme zvolili přírodní barvivo – červenou mletou papriku. Tu jsme zamíchali do oleje a nechali klesnout ke dnu. Do stříkačky jsme pak nabrali jen horní vrstvu obarveného oleje bez kalu. Průběh pokusu je zachycen na obrázku 1.

Obrázek 1 – průběh pokusu Fyzikální koktejl



#### 1.1.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) Pojem hustota má většina lidí zafixovaný v hlavě. Veličina se ale někdy označuje jako měrná hmotnost. Toto sousloví vystihuje podstatu veličiny mnohem lépe. Název hustota je totiž poněkud zavádějící a směřuje nás spíše k představě jiné veličiny – viskozity. Stačí si představit olej a vodu. Pokud bychom je bez fyzikálních vědomostí míchali nebo

přelávali a následně měli určit, jaká látka je hustější, na základě logických dedukcí bychom pravděpodobně zvolili olej.

2) V pokusu jsme použili líh a vodu – tedy mísitelné kapaliny. Ve sklenici proto došlo k difuzi částic a tedy ke změně hustoty. To lze ukázat na příkladu. Do sklenice nalijeme vodu a na ní velmi opatrně líh. Aby pokus netrval moc dlouho, pomůžeme si tím, že použijeme již zředěný líh. Roztok však může obsahovat maximálně 50% vody. Při této hraniční hodnotě se hustota zředěného lihu ( $895 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) již pohybuje v blízkosti hustoty oleje ( $917 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Do místa styku obou kapalin pomocí injekční stříkačky nebo pipety umístíme olej. Zpočátku by se měl udržovat na rozhraní, kam byl aplikován. Později ale dojde vlivem difuze k promísení lihu s vodou za vzniku roztoku, jehož hustota je natolik vysoká, že kapky oleje začnou stoupat vzhůru. To ilustruje obrázek 2 se sklenicí bez oleje a se stoupajícími kapkami oleje, které se u hladiny začínají spojovat.

Obrázek 2 – změna hustoty vlivem difuze



3) Jak víme, hustotu ovlivňuje i teplota. Toho využíváme v horkovzdušných balonech nebo při vytápění domů k cirkulaci vody v uzavřeném systému trubek a radiátorů. Ohřátá voda stoupá od kotle do vyšších pater a po předání tepla ochladne a samovolně klesá potrubím zpět ke kotli. Proces je ale někdy pomalejší, než bychom chtěli, proto se k urychlení využívají cirkulační čerpadla. Jev ale není vždy naším pomocníkem. Při vytápění starých domů s vysokými místnostmi se teplý vzduch drží u stropu, a ohřátí celého prostoru znamená delší čas a vyšší náklady.

Jevu využíváme i pro estetické účely – např. v lávových lampách. Vespod se nachází žárovka, v baňce voda nebo olej s kusy vosku. Po zapnutí žárovky se vosk rozehtívá a stoupá v podobě barevných bublin vzhůru, kde ochladne a začne opět klesat.

### 1.1.6 POUŽITÉ PRAMENY

[7][13][19][24][26]

## 1.2 KOUZELNÉ PÁRÁTKO

### 1.2.1 TEORIE

Základním pojmem, na kterém stojí celý pokus, je povrchové napětí  $\sigma$  [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]. To vzniká díky silám působícím mezi částicemi. Každá částice má kolem sebe kulovou sféru, ve které působí přitažlivě na okolní částice a ty stejným způsobem působí na ní a další v jejich okolí. Uvnitř kapaliny, kde se vedle sebe nachází dostatek molekul, se vzájemné silové účinky vyruší. Pokud se ale molekula nachází blízko hladiny, do její sféry spadají i částice vzduchu. Ten je řídký a přitahuje danou částici mnohem méně než molekuly kapaliny. Převládá tak přitažlivá síla směřující dolů ke dnu. Molekula se ale nemůže pohybovat ve směru působící výsledné síly, protože jsou nižší vrstvy obsazeny jinými molekulami. Kapalina se na svém povrchu snaží mít co nejmenší množství takových molekul – proto se snaží zaujmout co nejmenší obsah. Tato vlastnost vychází z fyzikálního principu, kdy se všechny soustavy snaží dosáhnout stavu nejnižší energie. Pokud chceme do mezní vrstvy přemístit molekulu z vnitřku kapaliny, musíme vykonat práci. Tenká vrstva na povrchu kapaliny tak má větší potenciální energii než zbylé molekuly. Rozdíl mezi potenciální energií molekul uvnitř a na povrchu označujeme pojmem povrchová energie. Ta se mění dle vzorce 3 v přímé závislosti na ploše.

Vzorec 3

$$\Delta E = \sigma \cdot \Delta S$$

V ideálním případě bez působení vnějších sil dosáhne kapalina stavu nejnižší energie tím, že zaujme kulový tvar. (Toto chování je zřetelné na obrázku 1 u pokusu 1.1.) Právě ten má za daného objemu nejmenší povrch. Ve vzorci figuruje i diskutované povrchové napětí  $\sigma$ . To způsobuje efekt, že se hladina kapaliny chová jako pružná blanka, a závisí na druhu kapaliny (rtuť > voda > líh), prostředí nad volnou hladinou (čím více částic obsahuje, tím menší je) a teplotě (s rostoucí teplotou klesá).

Pokud vzorec 3 vydělíme  $\Delta S$ , snadno zjistíme, že lze povrchové napětí vyjádřit jako energii vnějších sil (resp. jejich práci) potřebnou k zvětšení plochy povrchu kapaliny. Povrchové napětí je tedy hustotou povrchové energie.

### **1.2.2 POTŘEBY**

Talíř, mléko, inkoust (nebo potravinářské barvivo, vodové barvy), párátko, saponát, mletý pepř, cukr, voda.

### **1.2.3 POSTUP**

Do talíře nalijeme mléko. Střed obarvíme přichystanými barvami. Pro demonstraci snížení povrchového napětí párátko namočíme v saponátu a dotkneme se hladiny uprostřed barevné skvrny. Pokus je možné modifikovat tak, že místo barvy použijeme mletý pepř.

Pro demonstraci zvýšení povrchového napětí použijeme stejné pomůcky s drobnou obměnou. Místo saponátu párátko namočíme v koncentrovaném cukerném roztoku. Ulomíme kousek nového suchého párátko a položíme jej na hladinu. Pak se v jeho blízkosti dotkneme hladiny párátkem s cukrem.

### **1.2.4 VÝSLEDKY**

V případě párátko se saponátem došlo v místě dotyku ke snížení povrchového napětí. V okolí bylo ale napětí nezměněno, a tak došlo k roztažení povrchové vrstvy mléka i s barvou z místa zeslabení ve směru vyššího napětí. K zastavení pohybu došlo, až když nastala rovnováha. Párátko se saponátem porušilo hladinu mléka podobně, jako hrot špendlíku nafouknutý balónek. V místě vpichu je povrch zeslaben, tudíž klesne napětí. Aby



došlo k rovnováze sil, musí polevit i napětí na zbytku balónku. Proto se musí guma smrštit. Dojde k tomu tak rychle, že balónek praskne.

Na obrázku 3 je zachycen průběh pokusu s inkoustem a pepřem.

Obrázek 3 – průběh pokusu na snížení povrchového napětí



V druhé části pokusu jsme zkoumali zvýšení povrchového napětí. Cukerný roztok, do něhož jsme máčeli párátko, má totiž opačné vlastnosti než saponát. Při kontaktu s mlékem vzrostlo povrchové napětí, zvýšila se tak i přitažlivá síla mezi částicemi. Tím bylo vynuceno zesílení povrchové blanky. Hladina se proto posunula směrem k párátku a vzala s sebou i plovoucí úlomek. Efekt byl patrnější, když jsme párátkem pohybovali po talíři, přičemž ho úlomek vždy doprovázel. Pokus je zachycen na obrázku 4.

Obrázek 4 – průběh pokusu na zvýšení povrchového napětí



### 1.2.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) Povrchové napětí známe z každodenního života, aniž si to uvědomujeme. Pokud naplnujeme sklenici nápojem, můžeme do ní nalít o něco více, než je její objem, a přesto

se nepřelije. Blanka způsobená povrchovým napětím tomu zabrání vznikem tzv. čepičky, kdy je hladina mírně vypouklá nad hranu sklenice.

2) Povrchového napětí a především jeho změny využíváme, když si umyjeme ruce mýdlem nebo pereme prádlo. Saponáty obsažené v mycích a pracích prostředcích snižují povrchové napětí vody, která se může dostat hlouběji do drobných záhybů kůže a v případě praní pronikne lépe do textilie, čímž smáčí větší množství ulpělé špíny. Čistící účinek saponátů ještě zesílíme, když použijeme teplou vodu.

3) Mycí prostředky jsou pro nás tedy dobrým pomocníkem. Když s nimi ale zacházíme nešetrně a uniknou do přírody, mnohým živočichům to způsobí problémy. Doplatí na to třeba vodoměrky a další hmyz pohybující se po hladině. Snížením povrchového napětí se ztenčí vodní blanka, takže unese menší hmotnost. Hmyz má tak ztížené možnosti pohybu a v krajním případě se může i utopit.

### 1.2.6 POUŽITÉ PRAMENY

[3][11]

## 1.3 PERLY A STRÍBRNÉ VEJCE

### 1.3.1 TEORIE

Povrchové napětí, o němž byla řeč v teoretické části pokusu 1.2, není pouze záležitostí kapalin. Obecně se vyskytuje tam, kde se stýkají dva různé povrchy. Proto v případě, že nalijeme kapalinu na pevný povrch, není tvar, který zaujme, závislý jen na povrchovém napětí mezi kapalinou a vzduchem ( $k_v$ ), ale i mezi kapalinou a pevným povrchem ( $p_k$ ) a vzduchem a pevným povrchem ( $p_v$ ). Konkrétní tvar kapky tak závisí na velikostech jednotlivých povrchových napětí (resp. jejich sil  $F$ ). Obecně můžeme říci, že se kapalina volně roztéká po povrchu, dokud nedosáhnou síly rovnosti popsané vzorcem 4.

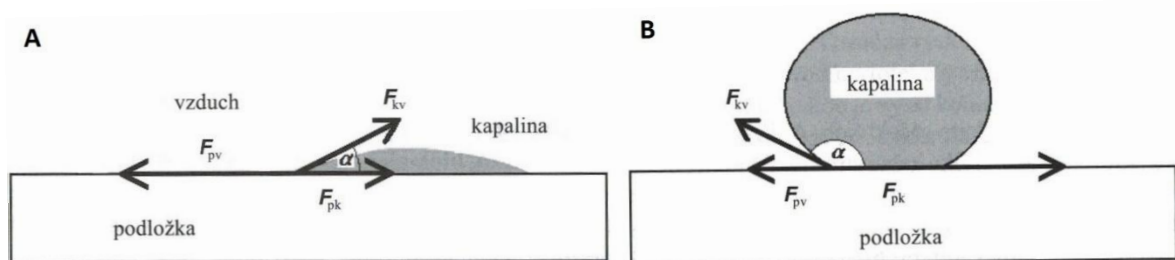
Vzorec 4

$$F_{pv} = F_{pk} + F_{kv} \cdot \cos \alpha$$

Síly povrchového napětí mají směr tečen k příslušným rozhraním. Protože jediná síla  $F_{kv}$  není vždy rovnoběžná s pevným povrchem, násobíme ji kosinem úhlu sevřeného mezi  $F_{kv}$  a  $F_{pk}$ . Získáme tak průmět  $F_{kv}$  do roviny pevného povrchu.

Čím větší je  $F_{pv}$  oproti pravé straně rovnice ze vzorce 4, tím více je kapka roztahována po pevném povrchu – více se roztéká. Pro názornost nám poslouží pokus 1.2, při němž jsme saponátem uprostřed barevné skvrny snížili povrchové napětí (resp. sílu). V okolí však přetrvávalo původní, tzn. větší napětí (resp. síla), a tak se barevná oblast rozšířila do stran. Příklad dvou různých smáčení povrchu kapalinou ukazuje včetně znázornění velikostí a směrů působících sil obrázek 5 v části A a B.

Obrázek 5 – smáčení povrchu kapalinou (pramen [2], str. 81)



Nyní shrneme míru smáčení pro dosažení několika specifických úhlů. Pokud  $\alpha = 0^\circ$ , kapalina povrch dokonale smáčí. To znamená, že se rozlije do vrstvy o tloušťce jedné molekuly. Pokud  $\alpha = 90^\circ$ , dochází k rovnosti sil  $F_{pv} = F_{pk}$  a kapka zaujímá tvar polokoule. Je-li  $\alpha = 180^\circ$ , je povrch maximálně nesmáčen a kapka má tvar koule nebo se mu velmi blíží.

### 1.3.2 POTŘEBY

Kousek skla, svíčka, zapalovač nebo zápalky, vejce, injekční stříkačka nebo pipeta, miska, voda.

### 1.3.3 POSTUP

Zapálíme svíčku a k vrcholu plamene přiložíme sklo, kterým pohybujeme tak, abychom důkladně začadily část jeho plochy. Dostatečná vrstva sazí již nepropustí světlo – shora bychom neměli vidět plamen. Se sklem pohybujeme rychleji a na místa s malým

množstvím sazí se vracíme. Kdybychom nechali jedno místo nad plamenem déle, hrozí, že sklo praskne. Pak sklo položíme na rovný povrch začazenou vrstvou vzhůru a pipetou nebo injekční stříkačkou na vrstvu sazí opatrně umístíme kapky vody.

V další části pokusu sklo nakloníme, aby svíralo s pracovní plochou nenulový úhel (cca  $10^\circ$ ) a aby se svažovalo směrem k začazené části. Na horní část skla, která je čistá, lijeme slabým proudem vodu. Sledujeme, jak se voda chová na rozhraní.

Ve třetí části pokusu začadíme vejce. Je dobré použít vejce vařené, abychom předešli případnému prasknutí syrového. Vejce nedržíme rukou, abychom se nepopálili a zároveň neomastili jeho povrch. Můžeme ho držet v kuchyňských kleštích nebo ho napíchnou na vidličku. Když je vejce úplně pokryto sazemi, vložíme jej do skleněné misky a opatrně zalijeme vodou.

#### 1.3.4 VÝSLEDKY

Na vrstvu sazí jsme umístili několik kapek vody. Jejich tvar byl téměř dokonale kulový a poloha nestabilní. Stačilo, když byla přidána kapka méně obezřetně, začala se pohybovat, při cestě na sebe nabalila další kapky a pak sjela mimo sklo. Větší kapky nebyly již kulové, ale zploštělé, protože na větší množství vody působila větší tíhová síla.

Začazené sklo tedy velice dobře simulovalo lotosový efekt. Nevýhodou však byla velká náchylnost k otěru. Když se kapka začala pohybovat, ve většině případů na sebe nabalila vrstvu sazí. Pokus ilustruje obrázek 6.

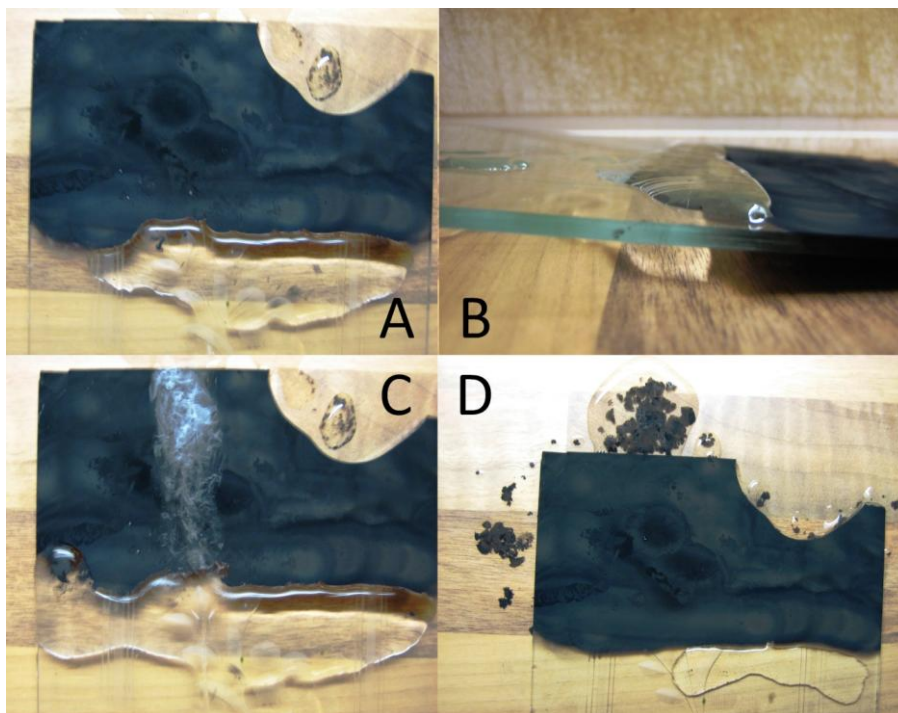
Obrázek 6 – průběh pokusu s lotosovým efektem a kapkami vody



Pro další část pokusu, kterou ilustruje obrázek 7, jsme sklo na čistém konci nadzvedli od pracovní plochy, udělali z něj šikmou rovinu a shora začali pozvolna lít vodu. Proud se zastavil na rozhraní se sazemi, kde se začala voda hromadit (část 7A a 7B). Časem

nebylo povrchové napětí již schopno udržet vodu ve formě kompaktní kapky a voda se přelila přes saze (část 7C). Část 7D ukazuje, jak zůstal povrch se sazemi suchý, ale také, jak došlo k jeho poškození odloupením svrchních vrstev, které vzala voda s sebou.

Obrázek 7 – ověření velmi nízké smáčivosti sazí



V poslední části pokusu jsme zalévali vodou vejce pokryté sazemi. Malá smáčivost se projevila výrazným prohnutím hladiny u jeho povrchu. Když se vejce octlo celé pod vodou, lesklá skořápka budila dojem, jako by bylo vejce stříbrné. To způsobil odraz paprsků světla na rozhraní vody a tenkého filmu vzduchu, který zůstal při povrchu vejce, hlavně v mikroskopických prohlubních mezi částicemi sazí. Pokus je zachycen na obrázku 8.

Obrázek 8 – stříbrné vejce

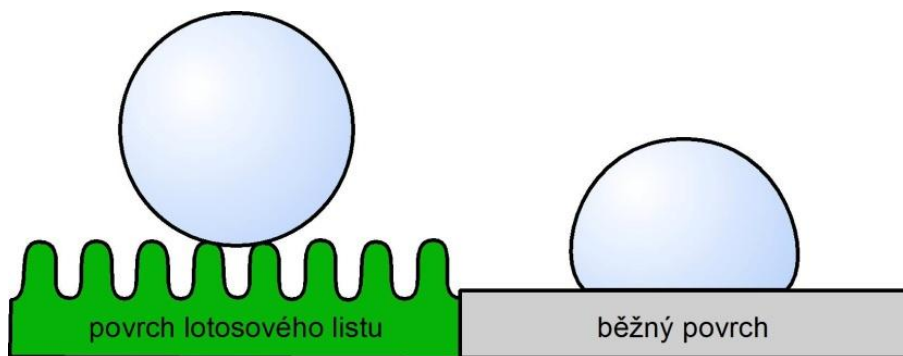


### 1.3.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) Lotosový efekt, jak už název napovídá, získal jméno podle lotosu. To je rostlina podobná leknínu, na jejíchž listech se tvoří téměř dokonale kulové kapky. Nízká smáčivost listů je známá i u dalších rostlin (kedluben, tulipán, kontryhel, tráva ostřice), ovšem u lotosu je zdaleka nejmenší.

2) Víme již, že tvar kapky závisí mimo jiné na povrchu. Jeho charakteristika pomocí povrchového napětí je ale abstraktní a pouhým pohledem na plochu povrchu toho moc nezjistíme. Více nám prozradí až mikroskop. Je možná překvapivé, že povrchy, které voda smáčí nejvíce, jsou dosti hladké, zatímco povrchy, na nichž pozorujeme téměř kulové kapičky, mají strukturu značně členitou (viz obrázek 9). V případě lotosu mají na sobě listy drobné hrbolky, které jsou pokryty jehličkami, na nichž vyrůstají drobné chloupky. A ve vyjmenovávání struktur výrůstků a hrbolků bychom mohli pokračovat až do úrovně molekul. Takový povrch je tedy značně vodoodpudivý. Podobně jako nožičky vodoměrek a dalšího hmyzu pohybujícího se po hladině, o němž bylo pojednáno v pokusu 1.2.

Obrázek 9 – schéma porovnání struktury lotosového listu s běžným povrchem



3) Pozorování lotosu umožnilo člověku uměle napodobit povrch jeho listů. Minimální smáčivosti využíváme při impregnaci obuvi a textilu, u natírání ploch, na nichž je nežádoucí přítomnost vody, a k ošetření oken automobilů, aby z nich voda rychle odtékala a nezanechávala na skle stopy. Je ovšem pravdou, že člověkem vytvořené hydrofobní povrchy nemají dlouhou životnost. Jako v přírodních strukturách listů nahrazují nové buňky staré, je potřeba i umělé povrchy stále obnovovat.

4) Kulové kapky, které jsme vytvořili na vrstvě sazí, se chovají jako spojné čočky. To zachycuje obrázek 10. Paprsky přicházející od zdroje světla umístěného v zadní části fotografovaného prostoru se na rozhraní vzduchu a vody lámou ke kolmici (tedy k sobě) a z kapek už vychází jen jeden silnější paprsek.

Obrázek 10 – vodní kapky jako spojné čočky



### 1.3.6 POUŽITÉ PRAMENY

[2][3][21][25]

## 2 KMITÁNÍ A VLNĚNÍ

### 2.1 ČAJOFON

#### 2.1.1 TEORIE

Kmitající pružné těleso (např. struna, blána) vyvolává ve svém okolí vlnění, které se dále šíří. To je dáno vazbami mezi molekulami prostředí. Kmitne-li jedna molekula, přes vazbu se pohyb přenese na okolní molekuly a z nich zase na další. To znamená, že vlnění není spojeno s přenosem látky, ale energie.

Mechanické vlnění, které jsme schopni vnímat sluchem, nazýváme zvuk. Obor, který jej zkoumá, je akustika. Protože molekuly prostředí kmitají ve směru šíření vlnění, jde o vlnění podélné. Jeho frekvence leží v intervalu mezi 16 Hz a 16 kHz. Pokud je nižší, mluvíme o infrazvuku, pokud vyšší hovoříme o ultrazvuku. Zvuky se dále rozdělují podle jejich průběhu. Ty, co jsou vyvolané periodickým kmitáním, označujeme jako tóny, ostatní jako hluky. Vzhledem k uplatnění v hudbě se nyní soustředíme na tóny. Základem je tón jednoduchý, který má sinusový průběh. Dále existují i složené tóny, které vznikají superpozicí více jednoduchých tónů, z nichž ten s největší amplitudou a nejnižší frekvencí je tzv. základní a ostatní jsou vyšší harmonické. Složený tón proto nemá sinusový průběh, ale zůstává periodickým.

U každého tónu můžeme zkoumat jeho vlastnosti. Základními jsou hlasitost (resp. intenzita), barva a výška. Zatímco hlasitost je určena subjektivním vnímáním změny tlaku působícího na naše sluchové ústrojí, intenzita daná výkonem vlnění prošlým jednotkou plochy je zcela objektivní veličinou. Barva způsobuje, že je pro nás každý tón charakteristický. To je dáno vyššími harmonickými tóny obsaženými ve složeném tónu. Když posloucháme dva různé složené tóny, zdají se nám odlišné, i když je jejich základem stejný jednoduchý tón, který oběma udává stejnou výšku. Na ni se nyní podíváme podrobněji. Známe absolutní výšku, jež je určena frekvencí tónu (u složených je dána frekvencí základního tónu). Zjistíme ji jen pomocí přístrojů. Pokud chceme výšku hodnotit pomocí sluchu, soustředíme se na relativní výšku. Ta je dána podílem frekvence sledovaného tónu ku frekvenci vybraného referenčního tónu. V hudbě se jako referenční



tón často používá komorní  $a^1$  s frekvencí 440 Hz. Relativní výška nám také umožňuje zavést známé pojmy jako kvinta, oktáva apod. Kvinta je dána poměrem frekvencí 3:2. Pokud je poměr frekvencí tónů 2:1, mluvíme o oktávě. V praxi to znamená, že tón o oktávu výš má dvojnásobnou frekvenci oproti původnímu tónu. Jestliže komorní  $a^1$  má frekvenci 440 Hz, pak  $a^2$  nacházející se o oktávu výš má 880 Hz,  $a^3$  má 1760 Hz atd.

Celý sluchový rozsah člověka je rozdělen na deset oktáv. Každá oktáva obsahuje určité tóny, které spolu znějí libozvučně. V současném nejpoužívanějším tónovém systému jde o tóny c-d-e-f-g-a-h-c<sup>1</sup>. Ty splňují nutnou podmínku libozvučnosti – poměry jejich frekvencí jsou celočíselné. Uvedené zákonitosti si všiml již Pythagoras.

Tónové soustavy se nejvíce využívají v hudbě, kde jako zdroje zvuku slouží hudební nástroje. Prostředí může být rozkmitáno strunou, blánou nebo třeba prouděním vzduchu úzkou štěrbinou. Často je důležité tělo nástrojů, které zvuk zesiluje a dává mu charakteristickou barvu.

V následujícím pokusu budeme zkoumat jednoduchý hudební nástroj – skleněnou harfu. Ta byla poprvé sestavena v roce 1730 v jižním Německu, získávala na popularitě a dnes je často používaným nástrojem, který si může každý zhotovit během chvíle.

### 2.1.2 POTŘEBY

Několik typů sklenic z tenkého skla (nejvhodnější jsou vinné a sektové), čaj, lihový fix, izolepa, ladička, PC s nainstalovaným generátorem tónů, mikrometr, pravítko.

### 2.1.3 POSTUP

Připravíme si skleničky, označíme si je a změříme u nich výšku vzduchového sloupce a tloušťku skla u okraje. Pak postupně každé skleničce umístíme na nohu ladičku (aby byla co nejbližší u zdroje kmitání), navlhčíme si prst a krouživým pohybem jím budeme třít po hraně, dokud sklo nezačne vibrovat a vydávat tón. Většina ladiček nám ukáže pouze základní tón (c-d-e-f-g-a-h-c) bez jeho zařazení do konkrétní oktávy. Když sklenička vydává tón  $c^2$  nebo  $c^3$ , ladička pokaždé ukáže pouze c. My však chceme zjistit konkrétní frekvenci, tedy konkrétní tón. Využijeme proto generátor tónu. Nastavíme na něm ladičkou signalizovaný základní tón a přeskakujeme mezi oktávami. Subjektivně porovnáváme

zvuky ze sklenice a z generátoru a zaznamenáme si frekvenci, u níž jsme zpozorovali shodu obou tónů. Takto postupujeme u všech sklenic.

V další části si vybereme jen jednu sklenici. Na lepící průsvitnou pásku pomocí pravítka a lihového fixu nakreslíme rysky vzdálené od sebe centimetr. Můžeme naznačit i poloviny centimetrů. Pak proužek izolepy přilepíme na sklenici. Začneme do ní přilévat čaj a zkoumat závislost výšky tónu na výšce hladiny (resp. výšce vzduchového sloupce). Frekvenci tónu zkoumáme stejným způsobem jako v předešlé části pokusu. Mezi dvěma měřeními vždy provedeme zvýšení hladiny čaje z rysky na rysku.

#### 2.1.4 VÝSLEDKY

Změřili jsme frekvenci tónu každé prázdné skleničky z obrázku 11 a výsledky zapsali do tabulky 1. Z tabulky není patrný žádný trend závislosti frekvence na tloušťce skla ani na výšce vzduchového sloupce. Výška tónu zřejmě závisí na více parametrech, kterými mohou být například složení skla, tvar sklenice nebo přítomnost deformací a defektů ve skle.

Obrázek 11 – připravené sklenice na pokus Čajofon



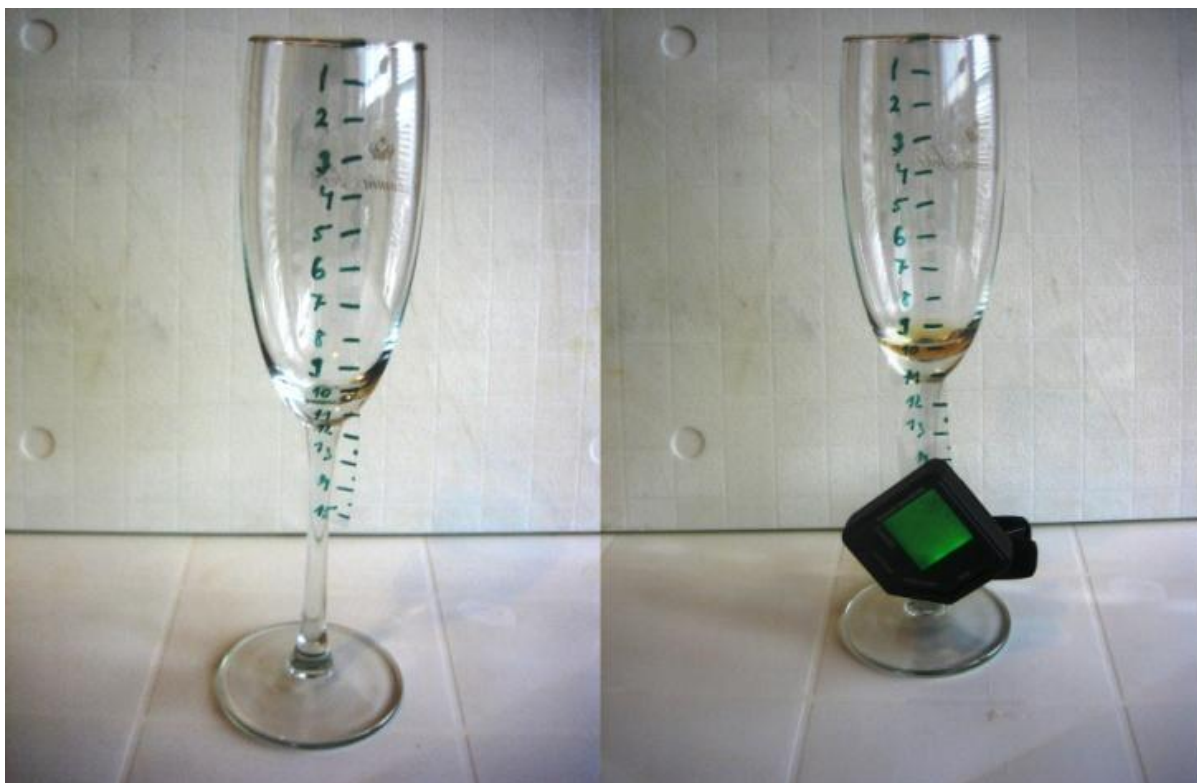
Tabulka 1 – základní charakteristika připravených skleniček

typ sklenice	$l$ [mm]	$d$ [mm]	$f$ [Hz]
1	128	10	1480,0
2	125	9	1047,0
3	100	8	1109,0
4	100	14	1319,0
5	58	13	2794,0

$l$  značí výšku vzduchového sloupce uvnitř sklenice,  $d$  tloušťku skla u hrdla,  $f$  frekvenci tónu prázdné sklenice, označení typů sklenic vychází z obrázku 10, sklenice jsou číslovány zleva doprava čísly 1 – 5

V další části jsme si vybrali sklenici 3 a připevnili na ni pásku s ryskami a na nohu nasadili ladičku. Připravenou skleničku ilustruje obrázek 12. Namočili jsme si palec a krouživým pohybem po hraně skleničky jsme docílili vydání tónu. V počítači jsme spustili generátor tónů NCH Tone Generator a subjektivně porovnávali tón skleničky s tóny generátoru. Do tabulky 2 jsme zaznamenávali pro různé výšky vzduchového sloupce příslušné frekvence tónů generátoru, u nich jsme zaregistrovali shodu s tóny skleničky.

Obrázek 12 – připravený pokusu Čajofon



Tabulka 2 – výšky tónu v závislosti na výšce vzduchového sloupce

$l$ [mm]	$f$ sklenice [Hz]
1	574,4
3	607,3
8	629,3
10	662,5
15	694,2
20	724,0
25	810,6
30	890,0
35	952,3
40	987,8
45	1012,2
50	1035,5
55	1056,0
60	1080,6
100	1109,0

Z tabulky 2 je patrný jasný trend. S rostoucí výškou vzduchového sloupce roste i frekvence tónu produkovaného skleničkou.

Na závěr jsme změřili mezní frekvence, abychom zjistili rozsah skleničky. Zcela prázdná sklenička měla frekvenci 1109 Hz, téměř plná pak 554 Hz. Interval odpovídá s mírným posunem ve směru rostoucí frekvence rozsahu dvoučárkové oktávy (tóny  $c^2$ - $d^2$ - $e^2$ - $f^2$ - $g^2$ - $a^2$ - $h^2$ - $c^3$ ).

### 2.1.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) U skleničky je závislost tónu na výšce vzduchového sloupce opačná než např. u píšťal varhan. Zatímco se zkracujícím se vzduchovým sloupcem u skleničky výška tónu klesá, u varhan roste. V případě skleničky má totiž významný vliv čaj, který tlumí vibraci stěn.

2) Tón, který sklenička vydává, je zřejmě závislý na mnoha parametrech. To můžeme prakticky vyzkoušet, vezmeme-li sadu stejných sklenic. Všechny pravděpodobně nebudou znít úplně stejně. V případě skrytých vad může být rozdíl i docela markantní.

3) Zvuk se může šířit jen v látkovém prostředí. Že je tomu tak dokládá experiment, při kterém dáme vyzvánějící telefon pod vývěvu a začneme odsávat vzduch. Hlasitost vyzvánění klesá, až telefon ztichne úplně.

4) U skleničky číslo 3 jsme naměřili rozsah zhruba jedné oktávy. To představuje celkem úzké rozmezí v porovnání s průměrným rozsahem zpěváků (2 oktávy) i většiny hudebních nástrojů. Srovnatelný rozsah mají tympány. Naopak mnohem větším rozsahem disponuje klavír a harfa (7 oktáv), úplně nejširším pak varhany (9 oktáv).

#### **2.1.6 POUŽITÉ PRAMENY**

[5][12][15][24][25]

### 3 ELEKTŘINA A MAGNETISMUS

#### 3.1 BATERIE S CHUTÍ

##### 3.1.1 TEORIE

Cestu ke vzniku první baterie započal v 18. století Luigi Galvani zkoumáním mrtvých žab. O jeho pokusech se vypráví řada historek, jejichž společným základem je snaha objasnit stahy svalů mrtvého obojživelníka, když se ho dotýkáme dvěma různými kovy. Galvani jev vysvětloval existencí živočišné elektřiny, která je generována tkáněmi. Proti této myšlence se však postavil jeho současník Alessandro Volta a nabídl jiné vysvětlení. Zdrojem elektřiny je chemická reakce 2 kovů a elektrolytu. Svou hypotézu dokázal konstrukcí prvního zdroje stálého proudu – tzv. Voltova sloupu (sériově zapojené články tvořené měděnou a zinkovou elektrodou, mezi nimi se nachází kůže namočená v kyselém roztoku). Takové články, které se na počest Galvaniho jmenují galvanické, jsou zdrojem napětí. To je způsobeno rozdílem potenciálů na elektrodách a zdrojem potenciálu je již zmíněná chemická reakce kovu s elektrolytem. Každý kov má při reakci jiný potenciál. Abychom na článku neměli nulové napětí (nulový rozdíl potenciálů), musí být použity elektrody z různých kovů. Tato informace nám však nemusí stačit, pokud chceme sestavit článek s co největším napětím. Zde nám pomůže Beketovova řada kovů, kterou v 19. století sestavil ruský fyzikální chemik Nikolaj Nikolajevič Beketov. Jde o posloupnost kovů seřazených dle potenciálu od nejnižšího po nejvyšší. Z logiky věci proto vyplývá, že čím jsou kovy v řadě dále od sebe, tím větší je rozdíl jejich potenciálů. V řadě se nachází také vodík, který dělí kovy na ušlechtilé (ve směru rostoucího potenciálu) a neušlechtilé (ve směru klesajícího potenciálu).

Beketovova řada

K Ca Na Mg Al Cr Zn Fe Ni Sn Pb H Cu Hg Ag Pt Au

Hlavním přínosem Beketovovy řady je však možnost určit oxidačně-redukční vlastnosti kovů. Zjištění, jestli se kov spíše oxiduje (odevzdává elektrony) nebo redukuje (přijímá

elektrony), je klíčové pro průběh chemických reakcí odehrávajících se ve článku, a tím i pro označení kladné a záporné elektrody.

Vysvětleme si problematiku na příkladu. Do elektrolytu ponoříme elektrodu z mědi (kov ušlechtilý) a zinku (kov neušlechtilý). Elektrolyt disociuje na kationt a aniont. Měděná elektroda přitahuje kationty elektrolytu, takže se na ní hromadí kladný náboj a dochází na ní k nedostatku elektronů. Stává se proto kladnou elektrodou – katodou. Ovšem v jejím okolí, odkud kationty odčerpala, začíná převládat záporný náboj. Vzniká tak elektrická dvojvrstva. Anionty disociovaného elektrolytu zatím reagují se zinkovou elektrodou. Vytrhávají z ní kationty  $Zn^{2+}$ , a tak se na ní hromadí záporný náboj. Stává se tak zápornou elektrodou - anodou. V jejím okolí zatím vytržené kationy  $Zn^{2+}$  vytváří vrstvu s kladným nábojem. Opět vzniká dvojvrstva. Na dvojvrstvách obou elektrod se v průběhu popsaných dějů stále zvětšuje potenciál. Až dosáhne určité meze, děje se za dosažení rovnováhy zastaví. Pokud připojíme vzniklý galvanický článek do obvodu, začne jím protékat proud od zinkové anody k měděné katodě. Anoda ztratí část záporného náboje, katoda ho naopak získá. Tím poklesne napětí na obou dvojvrstvách a chemická reakce znovu započne.



### 3.1.2 POTŘEBY

Plíšky nebo drátky z různých kovů (Cu, Fe, Al, Zn), voltmetr, ampérmetr, potraviny (především ovoce a zelenina), červená LED dioda, vodiče, krokosvorky, saponát nebo líh.

### 3.1.3 POSTUP

Kovové plíšky důkladně očistíme saponátem nebo lihem. Pokud je jejich povrch zkorodovaný, obrousíme je ještě před tím smirkovým papírem. Do vybrané potraviny zapíchneme plíšek z mědi a o 1 – 2 cm dále plíšek z některého z dalších kovů. Musíme přitom dbát, aby se kovy pod povrchem vzájemně nedotýkaly. Pak změříme voltmetrem napětí mezi oběma elektrodami, přičemž je nejvhodnější připojit voltmetr k elektrodám pomocí krokosvorek. Voltmetr odpojíme, necháme na místě meděnou katodu

a vyměníme anodu. Postupně tak změříme napětí mezi Cu-Fe, Cu-Zn, Cu-Al a ověříme tím platnost Beketovovy řady kovů. Následně stejným způsobem proměříme i další potraviny, které jsme si k pokusu přichystali.

V druhé části experimentu rozsvítíme červenou LED diodu. Ve výsledcích měření vyhledáme, jaký článek měl největší napětí (konkrétní kombinace potraviny a kovů) a vytvoříme si více takových článků. Měly by stačit čtyři, ale jejich počet je definitivní až v případě, že jejich sériové zapojení dává alespoň 3,5 V nutných pro viditelné rozsvícení diody. Sériové zapojení zrealizujeme tak, že vodičem spojíme katodu jednoho článku s anodou druhého a naopak. Na konci musí zůstat u krajních článků nezapojená rozdílná elektroda. Pro realizaci spojení jsou nejvhodnější vodiče opatřené krokosvorkami. V případě drátkových elektrod je možné jejich přímé mechanické propojení. Zjistíme napětí celé série. Je-li dostatečné, připojíme ke krajním elektrodám diodu, která se rozsvítí. Pokud nesvítí, obrátíme její polaritu, jelikož je pravděpodobně zapojena v závěrném směru. Zbývá už jen zjistit, jaký proud protéká diodou a jaké je na ní napětí.

### 3.1.4 VÝSLEDKY

Naměřené hodnoty napětí ve voltech jsme zaznamenali do tabulky 3.

Tabulka 3 – napětí na člancích

potravina	$U_{\text{Cu-Fe}}$ [V]	$U_{\text{Cu-Zn}}$ [V]	$U_{\text{Cu-Al}}$ [V]
jablko	0,92	0,95	0,96
citron	0,93	0,95	0,97
mrkev	0,70	0,71	0,73
brambora	0,81	0,82	0,84
kyselá okurka	0,91	0,92	0,94
kysaná smetana	0,89	0,90	0,92
pečené hovězí	0,90	0,92	0,93

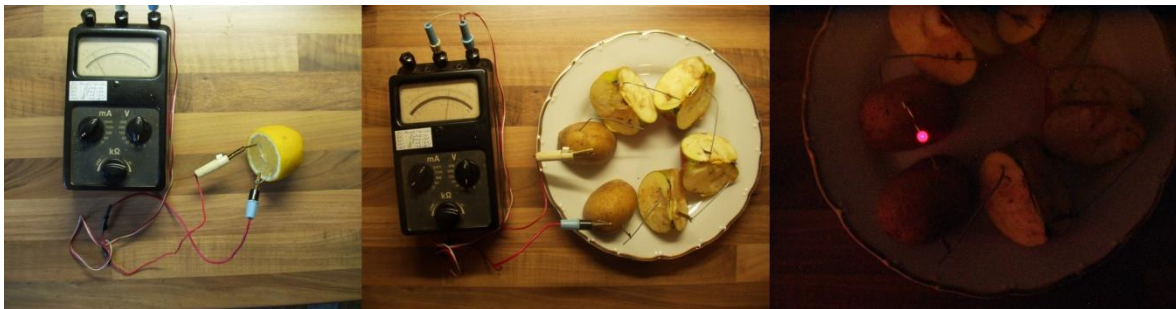
Obecně můžeme za nejvýkonnější články označit citrusové plody a další ovoce s větším obsahem kyselých šťáv. To vyplývá z výsledků měření, při kterém bylo největší napětí



zjištěno u citronu a jablka. Překvapením ovšem může být podobně vysoké napětí naměřené u pečeného masa. To může být způsobeno přítomností solí.

Při měření napětí sériově spojených článků ze čtyř čtvrtek jablka a dvou polovin bramboru jsme zjistili hodnotu 4,2 V. Po připojení diody se snížilo napětí na 3,6 V. Ampérmetrem jsme změřili, že obvodem začal procházet proud o velikosti 0,14 mA. Průběh pokusu ilustruje obrázek 13.

Obrázek 13 – průběh pokusu Baterie s chutí



### 3.1.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) K ději probíhajícímu v elektrických člancích, kde chemická reakce je příčinou a vzniklé napětí důsledkem, existuje děj inverzní. Je jím elektrolyza. Při ní na elektrody přivedené napětí způsobuje chemickou reakci – disociaci elektrolytu.

### 3.1.6 POUŽITÉ PRAMENY

[1][13][22][25]

## 4 MOLEKULOVÁ FYZIKA A TERMODYNAMIKA

### 4.1 MOLEKULÁRNÍ MĚCHAČKA

#### 4.1.1 TEORIE

V roce 1827 pozoroval anglický botanik Robert Brown chaotický a trhaně se pohybující zrnka pilu ve vodě. Spolu s dalšími vědci začal zkoumat, čím je to způsobeno, ovšem relevantní vysvětlení bylo podáno až po 80 letech. Zrníčka jsou posouvána pohybujícími se molekulami kapaliny, které konají tzv. tepelný pohyb. Z kinetické teorie hmoty plyne, že se takto pohybují molekuly všech látek neohledě na skupenství. Je ovšem zřejmé, že mnohem více kmitají molekuly plynů a kapalin než pevných látek, protože mají mnohem větší volnost.

Pokud jsou různé látky spolu ve styku, mohou jejich molekuly díky svému pohybu přecházet mezi sebou. Dochází k samovolnému molekulárnímu promíchávání, kterému říkáme difuze. Ta probíhá i proti působení vnějších sil. Například máme-li v nádobě páry jódu a nad nimi vzduch, jód i přes vyšší hmotnost proniká vzhůru. Difuze probíhá navzdory tíhové síle. Pokud necháme látky v kontaktu dostatečně dlouho, vzájemně se smísí a vznikne stejnorodá směs. Doba, která uplyne od prvního kontaktu látek do vzniku homogenní směsi, závisí na skupenství, hustotě, viskozitě, rozpustnosti i teplotě látek. Difuze se zastaví až v okamžiku, kdy dojde k vyrovnání koncentrací.

#### 4.1.2 POTŘEBY

2 hrnečky, 2 pytlíky čaje, horká a studená voda, talíř, kostka cukru, inkoust.

#### 4.1.3 POSTUP

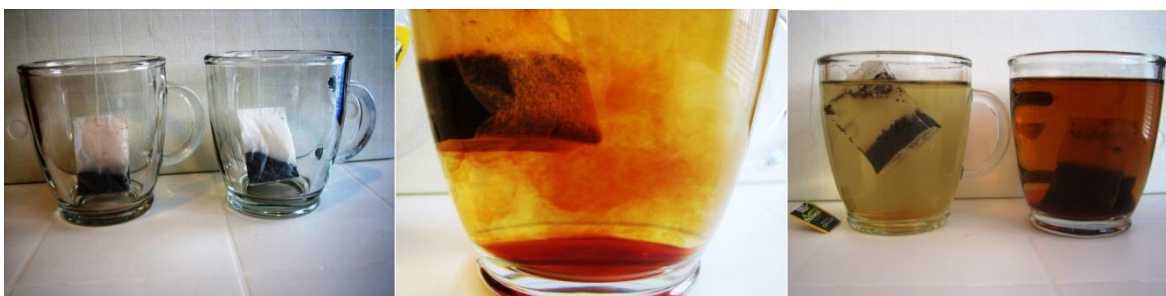
Připravíme hrnečky a do každého vložíme pytlík s čajem. Do jednoho nalijeme horkou vodu a do druhého studenou. Sledujeme průběh louhování čaje.

V další části pokusu nalijeme na připravený talíř vodu. Stačí malé množství, aby bylo zakryto celé dno. Doprostřed umístíme kostku cukru a kápneme na ni inkoust. Sledujeme, co se bude dít v průběhu rozpouštění cukru.

#### 4.1.4 VÝSLEDKY

V první části pokusu jsme v hrnečku s teplou vodou pozorovali částice čaje difundující do vody, které zpočátku klesaly ke dnu, ale postupem času se rozptýlovaly po celém objemu hrnečku. Oproti tomu ve studené vodě jsme dlouho dobu nepozorovali žádný náznak difuze. Až když už byl z teplé vody promíchaný homogenní roztok, začalo být zřetelné slabé zabarvení i u vody studené. Průběh pokusu je zaznamenán na obrázku 14. Ověřili jsme, že s rostoucí teplotou se zvětšuje tepelný pohyb částic, a tím i rychlost difuze. K ještě většímu urychlení došlo, když jsme výluh zamíchali.

Obrázek 14 – difuze v čaji



V druhé části pokusu jsme opět pozorovali difuzi. V okolí rozpouštějící se kostky cukru stoupala koncentrace roztoku. Oblast byla vizuálně označena inkoustem a bylo tedy patrné, jak dochází k vyrovnávání koncentrace. Koncentrovanější roztok v podobě modrých paprsků pronikal do okolí. Pokus ilustruje obrázek 15.

Obrázek 15 – difuze ve vodě a cukerném roztoku



#### 4.1.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) S difuzí jsme se setkali už u pokusu 1.1, kdy způsobila vzrůst hustoty etanolu, a tím vystoupání kapek oleje na hladinu.

2) Difuze nám umožňuje používat čich. Jakýkoli zápach nebo vůně se postupně šíří prostředím až k našim čichovým chemoreceptorům.

3) Bylo prokázáno, že difuze skutečně probíhá mezi všemi skupenstvími látek. Na olověný válec byla nanášena vrstva zlata. Po několika měsících byl válec rozříznut a ve struktuře olova se nacházelo i zlato. U pevných látek difuze ovšem probíhá velmi pomalu.

#### **4.1.6 POUŽITÉ PRAMENY**

[2][5][6][7][17][25]

## **4.2 MOLEKULÁRNÍ PUMPIČKA**

### **4.2.1 TEORIE**

Základním pojmem následujícího pokusu je osmóza. Jde o jev, který je zvláštním případem difuze, která byla popsána v části 4.1.1. K osmotickému jevu dochází mezi tekutinami oddělenými propustnou blánou. Částice pronikají mezi oběma látkami navzájem, ovšem protože prochází drobnými póry, snáze se na druhou stranu dostane tekutina s menšími molekulami. Na jedné straně blány se proto tekutina hromadí a roste tlak, kterému se říká osmotický. V některých případech je blána pouze polopropustná, díky čemuž propouští jen molekuly rozpouštědla. Rozpuštěná látka neprojde. Rozpouštědlo přechází z prostředí s nízkou koncentrací do prostředí s vyšší koncentrací, aby jej naředilo a koncentrace se vyrovnaly.

### **4.2.2 POTŘEBY**

Plechovka od nápoje, suchý hrách, písek, voda, kuchyňská nálevka.

### **4.2.3 POSTUP**

Připravíme si plechovku od nápoje a nasypeme do ní pomocí větší kuchyňské nálevky hrách, který poté zasypeme pískem a na závěr zalijeme vodou. Plechovku umístíme do lavoru, anebo alespoň na podložku, která se může znečistit.

#### 4.2.4 VÝSLEDKY

Pokus jsme připravili jak je zachyceno na obrázku 16. Po několika hodinách plechovka praskla. Hrách totiž absorpcí vody významně nabyl na objemu, což je patrné na obrázku 17. Průměr zrna se zvětšil ze 7 mm na 10 mm. To znamená, že objem vzrostl téměř třikrát. Jelikož byly mezery mezi kuličkami hrachu zaplněny pískem, hrách do nich nemohl expandovat. Rostl tlak na stěny plechovky, až došlo k jejímu roztržení.

Je nutné zmínit, že u hrachu se nejedná o osmotický jev hned od počátku. Voda slouží zprvu jako aktivátor biochemických procesů, které spustí produkci určitých enzymů. S tím, jak roste jejich koncentrace, rozbíhá se osmotický jev. Podobné je to i u dalších semen.

Obrázek 16 – příprava pokusu Molekulární pumpička



Obrázek 17 – výsledek pokusu Molekulární pumpička



#### 4.2.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) S osmózou se můžeme setkat u třešní, které po dešti praskají. Jejich sladká šťáva je koncentrovaná, voda proto proniká dovnitř a zvyšuje tlak. Obráceně uvidíme osmózu fungovat v případě, že posolíme povrch rozřízlého bramboru. Rozpouštějící se sůl tvoří koncentrovaný roztok. Ten je ředěn vodou z bramboru. Dochází tedy k vysychání a scvrkávání.

2) Osmotický jev je životně důležitý pro všechny organismy. Rostliny díky němu získávají živiny do kořenů. U člověka se dostávají živiny přes střevní stěnu do krve. Obecně je osmóza klíčová pro transport látek přes membránu u všech buněk.

#### 4.2.6 POUŽITÉ PRAMENY

[2][5][6][7][17][25]

### 4.3 JAKO PÁRA NAD HRNCEM

#### 4.3.1 TEORIE

Látky se mohou z termodynamického hlediska vyskytovat ve 3 základních stavech: v pevném, kapalném nebo plynném skupenství. Tání, vypařování, sublimace, resp. tuhnutí, kondenzace a desublimace jsou pak možné přechody mezi nimi.

U následujícího pokusu se budeme zabývat vypařováním – tedy přechodem z kapalného skupenství na plynné. To probíhá při všech teplotách, kdy je látka kapalinou, a dochází k němu pouze na rozhraní kapaliny a plynu. Speciálním případem je var, při kterém se kapalina vypařuje v celém svém objemu, což se projeví vznikem bublinek. Dochází k němu po dosažení teploty varu, která je závislá na tlaku. Při vyšším tlaku kapalina vaří při vyšší teplotě, za nižšího tlaku při nižší.

Dále už se budeme zabývat jen vypařováním z volného povrchu, na které je pokus zaměřen. Všechny molekuly kapaliny chaoticky kmitají – konají tzv. tepelný pohyb. Ty, co kmitají nejvíce a zároveň se nacházejí v povrchové vrstvě, se mohou vymanit z vlivu

ostatních molekul a přejít do plynného prostředí. I když má pak molekula stejnou teplotu, jako molekula kapaliny, byla pro vykonání práce spotřebována energie v podobě skupenského tepla vypařování  $L_v$ . To dle vzorce 5 vyplývajícího z 1. termodynamického zákona odpovídá součtu změny vnitřní energie vzniklé páry  $\Delta U$  a práce  $W'$ , kterou vykonává při zvětšování svého objemu.

Vzorec 5

$$L_v = \Delta U + W'$$

Kapalinu opouštějí primárně molekuly, které jsou nejrychlejší. Odcházejí tedy ty s nejvyšší kinetickou energií, a proto postupně klesá střední kinetická energie kapaliny. Ta proto chladne.

Rychlost vypařování není konstantní, jelikož závisí na několika podmínkách. Prvně na druhu kapaliny. Každá potřebuje k vytržení molekul z hladiny jinou energii. To se odvíjí od míry zesíťování. Čím více jsou molekuly pospojovány vazbami a čím silnější tyto vazby jsou, tím více energie k odtržení potřebujeme. Záleží též na teplotě kapaliny. Čím teplejší je, tím méně skupenského tepla vypařování je potřeba a kapalina se vypařuje rychleji. Roli hraje i povrch hladiny. Čím je větší, tím více molekul se dostane do povrchové vrstvy a vypařování se urychlí. Neméně důležitou je přítomnost par kapaliny nad její hladinou. S rostoucím nasycením klesá množství molekul opouštějících kapalinu. Odsáváním nebo ventilací prostoru nad hladinou proto vypařování zrychlíme.

#### **4.3.2 POTŘEBY**

2 mandarinky, prkénko, nůž, váha, 4 stejné talíře, voda, technický líh, 2 stejné malé talířky.

#### **4.3.3 POSTUP**

Mandarinky rozkrojíme napůl, abychom získaly 4 zhruba stejné poloviny. Jednu z nich nakrájíme na plátky tlusté 1 cm. Ze zbylých 3 nakrájíme plátky poloviční. Nejprve zjistíme hmotnost prázdného talíře. Pak každou rozkrájenou polovinu rozložíme na zvláštním talíři, aby měl každý plátek svrchu úplný styk se vzduchem. Následně všechny talíře převážíme a

odečtením hmotnosti prázdného talíře zjistíme hmotnost mandarinek. Tu si ke každému talíři poznamenejeme. Talíř s tlustými plátkami a jeden s tenkými plátkami necháme vedle sebe v místnosti s pokojovou teplotou. Tato dvojice bude demonstrovat vliv velikosti povrchu. Oba zbylé talíře s tenkými plátkami umístíme do chladu, aby k jednomu mělo přístup proudění vzduchu a ke druhému ne. Tato dvojice bude demonstrovat vliv ventilace povrchu. Pokud bude probíhat 4 dny, kdy každých 24 hodin provedeme kontrolní vážení a zapíšeme si aktuální hmotnost mandarinek.

Další částí pokusu ověříme, že se různé tekutiny vypařují různě rychle. Připravíme si dva malé talířky. V závislosti na jejich velikosti určíme, kolik kapaliny do nich nalijeme. Do jednoho nalijeme vodu a do druhého líh tak, aby obě kapaliny měly stejnou hmotnost. Zapíšeme si čas začátku pokusu a pak i čas, kdy se která kapalina úplně vypařila. Možné je také postupně porovnávat hmotnost jako u pokusu s mandarinkami.

#### 4.3.4 VÝSLEDKY

Rozkrájeli jsme připravené mandarinky, zvážili je a zjištěné hmotnosti zaznamenali do tabulky 4. První dvojici talířů jsme nechali v místnosti s pokojovou teplotou 21 °C. Druhou dvojici jsme umístili na balkón, přičemž jeden talíř jsme nechali volně na vzduchu a druhý jsme zavřeli do dřevěné krabice. Průměrná teplota v průběhu 4 dní, kdy jsme prováděli měření, byla 3 °C. Panovalo velmi větrné počasí. Tři ze čtyř dní dokonce platila výstraha ČHMU před silným větrem. Jeho rychlost se pohybovala kolem 15 m·s<sup>-1</sup>, odpoledne stoupala k 20 m·s<sup>-1</sup>, v nárazech bylo zaznamenáno až 30 m·s<sup>-1</sup>. Počasí bylo tedy pro provedení pokusu velmi vhodné. Vliv větru je patrný z tabulky 4, do které jsme zaznamenávali údaje o průběhu pokusu. Obzvláště po 24 hodinách je patrné, že i přes relativně značný rozdíl teplot se z mandarinky umístěné v chladu, avšak na větru, vypařilo téměř stejné množství vody, jako z mandarinky umístěné v pokojové teplotě. Vliv silného větru je ale nejvíce patrný při porovnání obou mandarinek umístěných venku. Ke konci pokusu byla hmotnost zakryté mandarinky téměř dvojnásobkem hmotnosti té, co byla vystavena větru. Pokus s vysychajícím ovocem ilustruje obrázek 18.



Obrázek 18 – příprava pokusu Jako pára nad hrncem



Tabulka 4 – průběh vypařování

	0 h		24 h		48 h		72 h		96 h	
	$m$ [g]	$m$ [%]	$m$ [g]	$m$ [%]	$m$ [g]	$m$ [%]	$m$ [g]	$m$ [%]	$m$ [g]	$m$ [%]
1	52	100	32	62	20	38	16	31	13	25
2	53	100	41	77	31	58	27	51	25	47
3	53	100	36	68	27	51	23	43	20	38
4	56	100	51	91	47	84	45	80	42	75

1 – talíř uvnitř, tenké plátky, 2 – talíř uvnitř, tlusté plátky, 3 – talíř venku, nekrytý, 4 – talíř venku, krytý

Ve druhé části pokusu jsme si připravily dva talířky, na jeden jsme nalili líh, na druhý vodu. Obě kapaliny měly 30 g a byly umístěné v pokoji s teplotou 23 °C. Po 8 hodinách jsme udělali kontrolní převážení. Hmotnost vody byla 24 g a lihu jen 5 g. Líh se zcela vypařil po 12 hodinách, voda po 48 hodinách. I když jsme se snažili nastavit pro obě kapaliny stejné podmínky, úplně se nám to nepodařilo. Líh má nižší hustotu než voda a proto 30 g lihu zaujalo větší objem než voda. Z toho důvodu byla hladina lihu výše. A protože se talíř směrem nahoru výrazně rozšiřuje, vypařoval se ze začátku líh z větší plochy než voda. Výsledek pokusu nás však nepřekvapil. Voda je tvořena malými molekulami, ty se k sobě mohou dobře přiblížit a vytvořit vazby (především vodíkové můstky, které tvoří dva), na jejichž přerušení je potřeba více energie než v případě lihu. Jeho molekuly jsou oproti vodě velké a tak zde dochází ke slabším vazebným interakcím. Důležitým faktem také je, že tvoří jen jeden vodíkový můstek. Molekuly proto snáze přecházejí do vzduchu a líh se vypařuje rychleji.

#### 4.3.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) Vliv tlaku na teplotu varu uvedený v teorii si můžeme snadno ukázat v i praxi. Zvýšení teploty varu využíváme při vaření v tlakovém hrnci. Připravované jídlo zde prochází vyšší teplotou než 100 °C a je rychleji uvařeno. Naopak se sníženou teplotou varu se můžeme setkat v horách, kde je nižší tlak. Když si zde budeme chtít uvařit, příprava jídla potrvá déle, protože voda bude vařit už při menší teplotě než 100 °C. Některé potraviny, které potřebují k tepelné úpravě právě 100 °C, zde vůbec neuvaříme.

2) Existuje ebullioskopický efekt, který způsobuje, že látky s vyšší molekulovou hmotností mají teplotu varu vyšší než ty s nižší molekulovou hmotností. Z toho plyne, že by se měly látky s vyšší molekulovou hmotností pomaleji vypařovat. V praxi by se proto měla rychleji vypařovat voda než líh. Výsledek pokusu ale ukazuje opak. Velkou roli totiž hrají vodíkové můstky. Ty teplotu varu zvyšují. A protože se ve vodě vzhledem ke struktuře a velikosti jejích molekul vyskytuje mnohem více vodíkových můstků, než v lihu, je to s teplotou varu naopak. Voda vaří za normálního tlaku při vyšší teplotě (100 °C) než líh (78 °C).

3) Když si polijeme kůži lihem, ucítíme v daném místě chlad, protože se líh rychle vypařuje, a tím snižuje teplotu. S vodou není ochlazující efekt tolik patrný, ovšem i tak je důležitý. Živočichové ho používají při pocení ke snížení tělesné teploty. To je ale účinné jen v případě nižší vlhkosti vzduchu. V deštném pralese, kde je relativní vlhkost skoro 100 %, je vodní páry ve vzduchu tolik, že se pot nevypařuje a organismus se snadno přehřeje.

4) Vlivu vzdušné vlhkosti na vypařování vody se využívá při samotném zjišťování vlhkosti vzduchu psychrometrem. Ten se skládá ze dvou teploměrů, z nichž jeden je obalen v mokré látce. Čím méně vlhkosti je ve vzduchu, tím snáze se může voda z hadříku odpařovat a tím více teploměr ochlazuje. Naopak pokud je vzduch vodní párou nasycen a vlhkost dosahuje 100 %, z hadříku se voda nevypařuje, nedochází k ochlazení a na obou teploměrech – suchém i vlhkém – je stejná teplota. Naopak čím je rozdíl mezi teploměry větší, tím nižší je vlhkost vzduchu.

5) Ovlivňování rychlosti vypařování často využíváme v praxi. Stačí, když chceme usušit křížaly nebo houby, nakrájíme je na tenké plátky, abychom zvětšily povrch. Chceme-li, aby horká polévka rychleji vychladla, urychlujeme vypařování jejím foukáním.

#### 4.3.6 POUŽITÉ PRAMENY

[17][18][24]

## 5 ATOMOVÁ FYZIKA

### 5.1 BOUŘKA V CUKRU

#### 5.1.1 TEORIE

Některé krystalické látky (např. cukr nebo diamant) vykazují při narušování jejich struktury (např. mechanickým drcením) specifickou elektrickou vlastnost. Původně rovnoměrně rozložený náboj se deformací krystalové mřížky a přetrháním vazeb rozkládá nerovnoměrně – vytváří se kladně a záporně nabitě části. Čím více je struktura narušena, tím větší náboj se akumuluje a mezi částmi krystalu roste napětí. Po dosažení určité úrovně dojde k přechodu elektronů mezi částmi skrz vzduch v trhlině. Je to podobné, jako když překročíme povolené napětí u kondenzátoru a dojde k průrazu jeho izolační vrstvy.

Tento jev, vedoucí k opětovnému nastolení elektrické rovnováhy, je tedy důsledkem narušení struktury krystalu. Stává se při tom příčinou jevu dalšího, který vyplývá ze zákonitostí kvantové fyziky. Tou se řídíme při pozorování a zkoumání dějů probíhajících v mikrosvětě – na úrovni atomárních částic (např. elektron, proton, neutron).

Základním kamenem je dualismus vln a částic. Ten nám říká, že má objekt mikrosvěta povahu nejen částice, ale i vlny. Z toho mimo jiné plyne, že nemůžeme jednoznačně určit polohu – pouze pravděpodobnost výskytu v daném okamžiku na daném místě. Vlnová vlastnost má na svědomí také kvantování energie. Pokud máme částici, která se pohybuje v omezeném prostoru, smí její energie nabývat jen určitých hodnot. To je případ elektronu v atomovém obalu, který se může vyskytovat jen v energetických hladinách – orbitalech – určených kvantovým číslem  $n$ .

Z postulátů zformulovaných Nielsem Bohrem roku 1913 vyplývá, že je energie elektronu při jeho pohybu kolem jádra konstantní. Měnit se může jen v případě, že přejde do jiné hladiny, a to o hodnotu, která se rovná rozdílu energií obou hladin ( $E_1 - E_2$ ). Pokud elektron sestoupí na nižší hladinu, vyzáří kvantum energie v podobě fotonu. K tomu, aby vystoupil na vyšší hladinu (dosáhl excitovaného stavu), musí energii získat. O to se může opět postarat foton. Přijímaný a vyzářený foton proto musí mít konkrétní energii. Ta

je přímo úměrná frekvenci záření dle vzorce 6, v němž  $E$  označuje energii,  $h$  Planckovu konstantu a  $f$  frekvenci fotonu.

Vzorec 6

$$E = E_1 - E_2 = h \cdot f$$

Uvedená závislost je klíčová. Na základě vyzařovaných resp. pohlcovaných frekvencí můžeme určit konkrétní prvek. Každý má totiž své charakteristické spektrum, stejně jako každý člověk má jedinečný otisk prstu.

Zdůrazněme ještě, že se bavíme o celém spojitém spektru záření, resp. jeho částech, protože každý atom umožňuje více přechodů a jejich množství odpovídá počet specifických frekvencí. Ty se pro přehlednost znázorňují jako čáry spektra. Jsou-li čáry úzké a oddělené, mluvíme o čárovém spektru. Pokud na sebe navazují a tvoří širší interval, mluvíme o spektru spojitém. V případě, že dochází k vyzařování fotonů, mluvíme o spektru emisním. V něm jsou čáry nebo intervaly barevné. Pokud látku ozařujeme širokospektrálním zdrojem, umístění původně barevných čar a spojitých intervalů bude stejné, oblasti budou ale černé. Každá látka totiž pohlcuje jen to záření, které sama vyzařuje. Zde mluvíme o spektru absorpčním.

Nyní propojíme poznatky z elektřiny i kvantové fyziky. Části rozdrčeného krystalu se vybíjejí, vzduchem v prasklinách procházejí elektrony. Ty po cestě excitují elektrony v molekulách vzduchu, především v nejvíce zastoupeném dusíku. Vybuzené elektrony však brzy přeskakují z vyšších hladin zpět na nižší a vyzařují foton. Z toho důvodu registrujeme při deformaci struktury krystalu modré až fialové záblesky. Jsou ale velice slabé. Velká část emisního spektra molekul dusíku se totiž nachází v oblasti UV záření.

Jev, při němž elektron sestupující na nižší hladinu vyzáří foton s frekvencí odpovídající viditelnému světlu, se obecně nazývá luminiscence. Tu ještě rozdělujeme na jednotlivé kategorie podle toho, co způsobilo excitaci elektronu. V případě mechanického působení mluvíme o triboluminiscenci.

Luminiscenci dělíme ještě z hlediska přítomnosti zdroje energie. Pokud daná látka viditelně září pouze při dodávání energie, bavíme se o fluorescenci. Pokud luminiscence pokračuje i nadále, když už energii nedodáváme, hovoříme o fosforescenci.

### 5.1.2 POTŘEBY

Kombinované kleště, cukr.

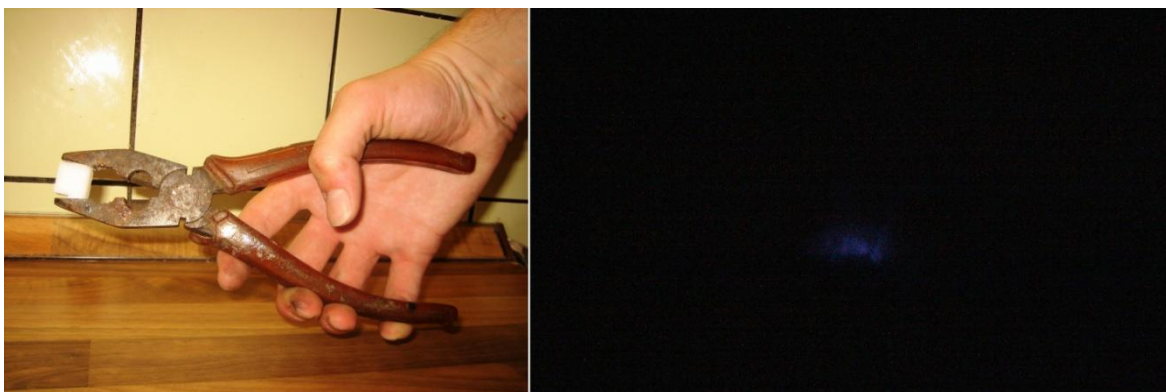
### 5.1.3 POSTUP

Pokus budeme provádět v dokonale zatemněné místnosti. Do kleští umístíme kostku cukru, zhasneme a chvíli počkáme, až si oči zvyknou na tmou. Pak kleště sevřeme a kostku rozdrtíme.

### 5.1.4 VÝSLEDKY

Zaměřili jsme se na místo, kde se nacházela kostka cukru. Zhasnuli jsme a chvíli počkali, aby se naše oči staly ve tmě citlivějšími. Kleště jsme rychle stiskli a při rozpadu kostky viděli krátký a slabý modrobílý záblesk světla. Pokus jsme zkoušeli několikrát. Největší záblesk jsme zaznamenali, když jsme do kleští umístili kostku na výšku. Nevýhodou takového umístění ale byla malá úspěšnost – kostka se často jen zlomila. Průběh pokusu ilustruje obrázek 19.

Obrázek 19 – příprava a výsledek pokusu Bouřka v cukru



### 5.1.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) Záblesk z kostky cukru má stejné spektrum, jako blesk při bouřce.

2) Čím větší silou kostku rozdrtíme, tím větší záblesk bychom měli zaznamenat. Při zmačknutí kleští proto dbáme principu páky – držíme rukojeti co nejvíce u kraje.

3) Se vzrůstající složitostí molekuly je emisní spektrum stále spojitější. To je způsobeno rozkladem jednotlivých energetických hladin vlivem sil působících mezi jednotlivými atomy. Čím je molekula členitější, tím více se hladina rozpadne. To znamená, že se navýší počet možných přechodů elektronů v obalu, a tím i množství čar spektra. Protože jsou jednotlivé hladiny vzniklé rozpadem blízko sebe, nejsou od sebe daleko ani emisní čáry a tak se spojují a překrývají a vznikají spojitě intervaly.

4) Záblesků si lze všimnout i při kousání cukrových bonbonů typu Lipo a Besipky. V některých případech (v závislosti na použitých ochucovadlech) je zde luminiscence mnohem intenzivnější, než u samotného cukru. K zesílení dochází např., když bonbóny obsahují libavkový olej, který je sám o sobě také luminiscentní. Pro emisi fotonu musí absorbovat záření. Jeho zdroj se přitom skrývá v samotném cukrovém bonbonu. Při drcení tedy nastane stejný jev, jako u kostky cukru, ovšem uvolněné záření zde vyvolá ještě sekundární luminiscenci v ochucovadle.

5) Triboluminiscence je dodnes předmětem výzkumu. Bylo zjištěno, že k luminiscenci nedochází u drcení čirých cukrovinek nebo cukrovinek vyrobených z umělých sladidel. Dosud ale není úplně jasné, proč tomu tak je. Postupně jsou také odhalovány souvislosti mezi triboluminiscencí a piezoelektrickým jevem.

6) Předpokládá se, že až výzkum pokročí, bude možné triboluminiscenci využívat při výrobě materiálů, které mohou sloužit jako indikátory změn tlaku v různých površích. Jev by tak mohl sloužit k varování před blížícím se zemětřesením. Při samotném zemětřesení je často zaznamenáno tzv. světlo ze země, jehož původ je pravděpodobně v mechanickém rozrušování zemské kůry.

#### **5.1.6 POUŽITÉ PRAMENY**

[7][14][24][27]

## 6 ASTRONOMIE

### 6.1 SLUNEČNÍ SOUSTAVA K NAKOUSNUTÍ

#### 6.1.1 TEORIE

Astronomie je bezpochyby nejstarší vědou. Vznikla před více než 6000 lety v Egyptě a Číně a v obou zemích se rozvíjela nezávisle na sobě. Pohled vzhůru na oblohu fascinoval lidi už od nepaměti. Sledovali pohyby vesmírných těles, zkoumali nejrůznější jevy od změny noční oblohy v průběhu roku po zatmění Měsíce a Slunce. To, co viděli, se snažili pochopit a vysvětlit. V průběhu věků tak vznikla celá škála názorů, od náboženských představ přes racionální úvahy až po teorie opírající se o nejrůznější experimenty. Nezastupitelnou roli mělo v celém snažení co nejdůkladnější pozorování zkoumaných objektů. A protože má lidské oko velmi omezené možnosti, snažilo se mnoho astronomů (Galilei, Kepler, Newton) zkonstruovat a později zdokonalovat zařízení, které by umožnilo zkoumat vesmírné objekty co nejdetailněji. Distanční pozorování a výzkum byly po celé dějiny jedinou možností, jak zjistit o vesmíru více. Až v novodobé historii bylo člověku vůbec poprvé umožněno zkoumat i přímo – vysláním sondy, družice a dokonce i člověka samotného ke zkoumaným tělesům.

Ať už se zaměříme na jakékoli období, pokaždé se výzkum zprvu soustředil na část vesmíru nám nejbližší – sluneční soustavu. Ta je součástí galaxie Mléčná dráha a její hmotný střed se nachází uvnitř Slunce, což je způsobeno tím, že naše mateřská hvězda představuje 99,87 % hmotnosti celé soustavy. Druhými největšími objekty soustavy jsou planety (Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun), které se pohybují po eliptických drahách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce. Planety dělíme na vnitřní (jsou kamenné a pevné, patří sem Merkur, Venuše, Země, Mars) a vnější (jsou plynné, patří se Jupiter, Saturn, Uran, Neptun). Některé planety mají své přirozené satelity. Zatímco Merkur a Venuše nemají žádný, Země má jeden, Uran 27 a Jupiter jako největší planeta sluneční soustavy dokonce 67. V naší soustavě se dále vyskytuje asi 150 tisíc planetek, několik desítek miliard komet, z nichž ovšem známe jen zlomek, velké množství meteoroidů a kosmický prach.



### 6.1.2 POTŘEBY

Ovoce, zelenina a další potraviny kulového tvaru s různou velikostí, posuvné měřítko, krejčovský metr.

### 6.1.3 POSTUP

Při tvorbě modelu sluneční soustavy se zaměříme pouze na Slunce a planety. Aby pokus splnil svůj účel a umožnil vytvoření co nejvěrnější představy o poměru velikostí v naší soustavě prostřednictvím předmětů, které dobře známe, je důležité pečlivě změřit průměr připravených potravin. V závislosti na jejich velikosti měření provedeme posuvným měřítkem nebo krejčovským metrem (zjistíme obvod v nejširším místě, na pomyslném rovníku, a přepočteme na průměr tak, že naměřenou hodnotu vydělíme číslem  $\pi$ ). Máme-li k dispozici více kusů dané potraviny, měření provedeme na všech, abychom zjistili interval, ve kterém se velikost u této potraviny pohybuje.

S ohledem na průměr největšího a nejmenšího předmětu si zvolíme vhodné měřítko udávající, kolikrát je model menší než reálné těleso. V případě moc velkého měřítka neseženeme dostatečně velký model pro Slunce nebo Jupiter, v případě moc malého měřítka budeme mít zase problém s přílišnou drobností vnitřních planet. Měřítka proto volíme, aby byl dobře realizovatelný model soustavy jako celku. Následně ho můžeme modifikovat podle toho, jestli chceme zvýraznit nějakou část soustavy na úkor jiné.

Po převedení skutečných rozměrů do daného měřítka využijeme úvodní seznam objektů s velikostmi. Pro model každého objektu najdeme potravinu s odpovídajícím intervalem. Dále už upřesňujeme konkrétní kus dané potraviny, aby co nejvíce odpovídal požadovanému rozměru.

Podle měřítka můžeme přepočítat i vzdálenost jednotlivých vesmírných objektů. Pak ale model zrealizujeme jen těžko – vzdálenosti vyjdou značně velké. Pro představu si je ale můžeme vyznačit na mapě nám známé oblasti.

### 6.1.4 VÝSLEDKY

V tabulce 5 jsme uvedli výčet všech potravin a pochutin, které jsme si přichystali. U každého druhu je uvedeno rozpětí naměřeného průměru.

Tabulka 5 – velikost potravin a pochutin

model objektu	průměr [cm]	model objektu	průměr [cm]
grep	10 – 12	borůvka	0,9 – 1,1
pomeranč	8 – 10	hrášek	0,8 – 1
jablko	6 – 8	nové koření	0,7 – 0,8
rajče	5 – 7	pepř černý	0,4 – 0,5
rajče keříkové	3,5 – 4,5	pepř bílý	0,3 – 0,4
hroznové víno	2 – 3	mák	0,09 – 0,11
klikva	1 – 2	jemně drcený pepř	0,03 – 0,04

V tabulce 6 jsou uvedené skutečné i přepočtené velikosti objektů a jejich vzdálenosti. Pro přepočet jsme zvolili takové měřítko, aby měl model Země průměr 1 cm.

Tabulka 6 – velikosti a vzdálenosti ve sluneční soustavě

objekt	$d$ [ $10^3$ km]	$l_s$ [ $10^6$ km]	$l_p$ [ $10^6$ km]	$d'$ [mm]	$l'_s$ [m]	$l'_p$ [m]
Slunce	1400,000	0	0	1097,5	0	0
Merkur	4,878	58,0	58,0	3,8	45,5	45,5
Venuše	12,191	108,2	50,2	9,6	84,8	39,4
Země	12,756	149,6	41,4	10,0	117,3	32,5
Mars	6,800	228,0	78,4	5,3	178,7	61,5
Jupiter	142,900	778,0	550,0	112,0	609,9	431,2
Saturn	114,800	1426,0	648,0	90,0	1117,9	508,0
Uran	53,400	2871,0	1445,0	41,9	2250,7	1132,8
Neptun	49,500	4498,0	1627,0	38,8	3526,2	1275,5

$d$  je průměr objektu,  $l_s$  vzdálenost objektu od Slunce,  $l_p$  vzdálenost objektu od objektu předcházejícího, veličiny označené čárkou odpovídají původním veličinám přepočteným v měřítku 1 : 1 275 600 000

V tabulce 7 jsme každému objektu přiřadili jeho konkrétní model. Modelová soustava 1 vychází z tabulky 6, modelová soustava 2 je ukázkou toho, jak může vypadat sluneční soustava při použití jiného měřítka (chceme-li mít průměr modelu Jupiteru roven 1 cm). U Modelové soustavy 1 je nutno zdůraznit, že bylo její měřítko voleno tak, aby vynikly planety. Model Slunce proto není vůbec uveden, protože by vyžadoval průměr 110 cm. Potravinu takových rozměrů jsme nesehnali. Zjistili jsme však, že takové velikosti může dorůst dýně velkoplodá, a tak není model jako takový nerealizovatelný.

Modelová soustava 2 byla zvolena tak, aby obsahovala i Slunce vynikající svou velikostí nad ostatními planetami. Demonstruje tak velmi zřetelně, proč se hmotný střed soustavy nachází pod povrchem Slunce.

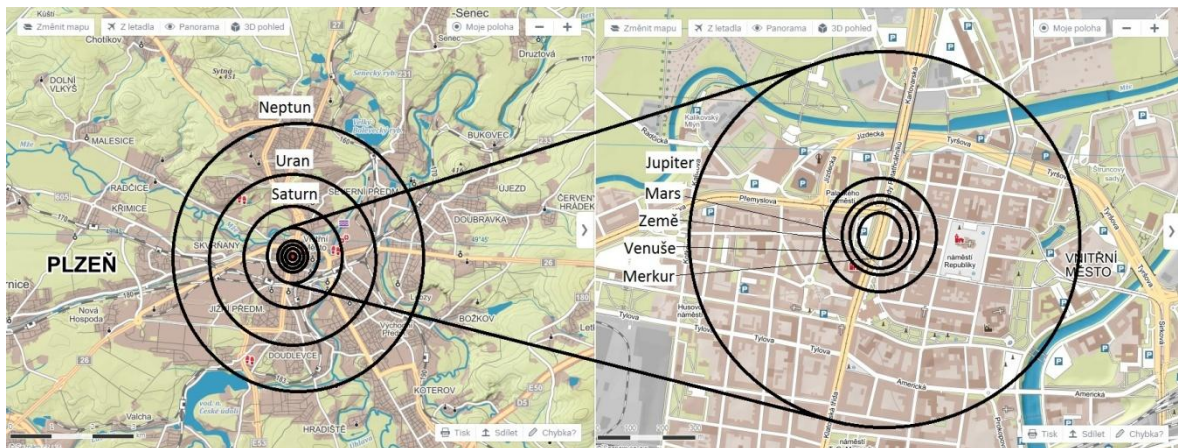
Tabulka 7 – modely objektů sluneční soustavy

objekt	modelová soustava 1	modelová soustava 2
Slunce	-	grep
Merkur	bílý pepř	jemně drcený pepř
Venuše	hrášek	mák
Země	borůvka	mák
Mars	nové koření	jemně drcený pepř
Jupiter	grep	borůvka
Saturn	pomeranč	hrášek
Uran	keříkové rajče	bílý pepř
Neptun	keříkové rajče	bílý pepř

Modelová soustava 1 má měřítko 1 : 1 275 600 000, modelová soustava 2 má měřítko 1 : 14 290 000 000

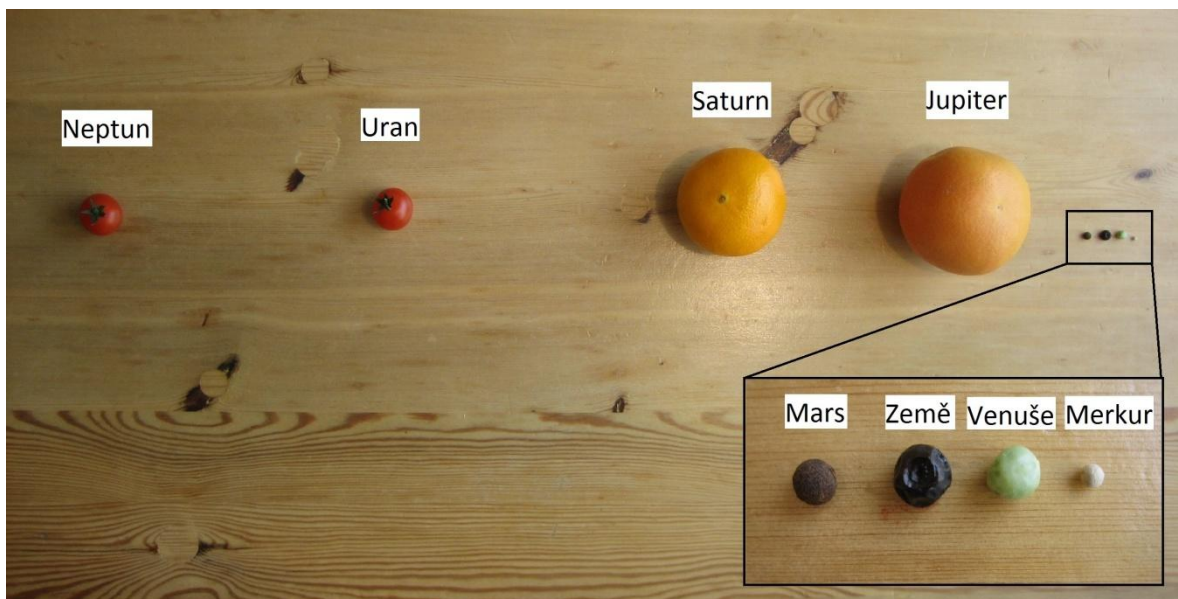
Obrázek 20 ukazuje názorně na mapovém podkladu Plzně, jak rozsáhlá by byla Modelová soustava 1, kdyby byly ve stejném poměru převedeny velikosti planet i jejich vzdálenosti. Pokud bychom vysadili na zastávce Sady Pětatřicátníků z tramvaje linky 4 Slunce jakožto dýni velkoplodou a pokračovali směrem na Bory, vnitřní planety soustavy bychom usadili na jejich oběžné dráhy ještě pod úrovní budovy Velkého divadla, Jupiter jako grep bychom vysadili na kraji Masarykova náměstí, Saturn jako pomeranč na Chodském náměstí, Uran jako větší keříkové rajče u Mulačovy nemocnice a Neptun jako menší keříkové rajče by opustil tramvaj na konečné a ještě by se musel dostat téměř až na hráz vodní nádrže České údolí ležící na řece Radbuze.

Obrázek 20 – sluneční soustava na mapě Plzně (použitý podklad: www.mapy.cz)



Podoba modelové soustavy 1 realizovaná na obrázku 21 slouží hlavně k porovnání velikostí planet. Jejich vzdálenosti nedodržují měřítko, je u nich zachován jen vzájemný poměr.

Obrázek 21 – model soustavy 1



Na obrázku 22 je zachycena realizace modelové soustavy 2 – tzn. včetně Slunce. Nevýhodou je, že jsou vnitřní planety velmi drobné. Země má průměr 1 mm, Merkur jen 0,38 mm. Vzdálenosti planet zachovávají stejně jako u obrázku 3 jen vzájemný poměr. Měřítko u nich není dodrženo.

Obrázek 22 – model soustavy 2



### 6.1.5 SOUVISLOSTI A ZAJÍMAVOSTI

1) Pokud porovnáme velikost Slunce a Země pomocí objemu, zjistíme, že se do Slunce vejde 1 322 027 Zemí.

2) Pokud bychom do modelu soustavy 1 chtěli přidat i nejbližší hvězdu (mimo naši soustavu) Proximu Centauri, měla by průměr jen 32 cm (střední meloun). Kdybychom přidali i největší známou hvězdu VY Canis Majoris, její průměr by byl 1,43 – 1,69 km. Interval je zde z důvodu nepřesnosti v odhadu jeho skutečného průměru.

3) Model sluneční soustavy v Plzni opravdu existuje. Vznikl v rámci projektu Pouť k planetám Techmanie ve spolupráci s Hvězdárnou a planetářiem Plzeň a také Ústavem umění a designu ZČU. Má měřítko 1:1 000 000 000. Slunce se nachází před Západočeským muzeem (obrázek 23), Merkur na Anglickém nábřeží, Venuše a Země v Kopeckého sadech, Mars v Křížíkových sadech, Jupiter na Mikulášském náměstí, Saturn v ulici Edvarda Beneše, Uran v Masarykově ulici a Neptun na konečné tramvaje číslo 1 v Plaské ulici.

Obrázek 23 – model Slunce před Západočeským muzeem (pramen [32])



4) Pohyb planet má svůj řád, který na začátku 17. stol. popsal třemi zákony německý astronom Johannes Kepler. První zákon říká, že se planety pohybují kolem Slunce po eliptických drahách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce. Druhý sděluje, že plochy opsané průvodičem (spojnicí středu Slunce se středem planety) za jednotku času jsou stejné. Třetí určuje, že poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií. Za hlavní poloosu pokládáme střední vzdálenost planety od Slunce.

#### **6.1.6 POUŽITÉ PRAMENY**

[9][10][14][28][30][31][32]

## ZÁVĚR

Na začátku jsem prostudoval několik sbírek a vybral si pokusy, které odpovídaly zaměření mé práce. Dbal jsem přitom na jejich různorodost, abych pokryl co nejvíce fyzikálních témat a ukázal, že lze jednoduché pokusy realizovat v různých oblastech fyziky. U většiny pokusů jsem se zaměřil na demonstraci fyzikálních jevů pomocí potravin (nejčastěji ovoce a zeleniny), talířů nebo dalšího nádobí. Pouze u pokusu, jemuž jsem dal název Perly a stříbrné vejce, jsem postupoval opačným směrem. Inspirovalo mě k němu chování vodních kapek na listech kedlubnu a kapusty. Pokus jsem však provedl na skle pokrytém sazemi, protože je efekt uplatňující se u jmenované zeleniny při použití sazí mnohem zřetelnější.

Již jsem se zmínil o pojmenování pokusů. Vymýšlel jsem vlastní netradiční názvy, aby byly na první pohled zajímavé, poutaly pozornost a motivovaly k prozkoumání. V průběhu práce jsem si sám na sobě ověřil, že tvořivost, motivace a mezipředmětové vztahy nejsou jen teoretickými pojmy, ale že představují reálný přínos. Uvedu několik příkladů. U Fyzikálního koktejlu mě bavilo vymýšlet, jakým vhodným způsobem obarvit olej, aby vizuálně vynikl a zároveň nedošlo k obarvení kapalin, které ho obklopují. Překvapila mě také souvislost s chemií, když došlo k neočekávané reakci mezi vodou a lihem. U již zmiňovaných Perel a stříbrného vejce jsem až zpětně z fotografie objevil chování kapek jako čoček. Zaujalo mě také, jak efektní je stříbrné vejce. U Baterie s chutí jsem byl překvapen napětím naměřeným u některých potravin – např. masa nebo smetany. K pokusu Jako pára nad hrncem jsem se inspiroval jen jevem – vypařováním – a samotné provedení s mandarinkami jsem si vymyslel sám. Bouřka v cukru mě zaujala sama o sobě, přiměla mě hledat širší souvislosti a odhalit, proč např. cukrový bonbon generuje jasnější záblesk než samotný cukr. Na Sluneční soustavě k nakousnutí mě zas bavilo hledání nejvhodnějšího modelu jednotlivých těles a utkvěla mi v hlavě představa jejich velikostních poměrů. Vlastní práce mě tedy přiměla k vyhledávání dalších informací, zkoumání souvislostí a vedla mě k tvořivému přístupu nad rámec úvodní představy. To je pro mě velice cenné, jelikož jsem si na vlastní kůži vyzkoušel, v čem tkví hodnota pokusů.

---

Myslím si, že téma práce jsem zdaleka nevyčerpal a rád bych se jím proto zabýval i ve své budoucí diplomové práci. Vidím zde velký prostor pro hledání vztahů s dalšími školními předměty a pro prohlubování souvislostí s běžným životem. Žádoucí je i rozšíření pokusů s potravinami a jednoduchými pomůckami do dalších fyzikálních témat.



**RESUMÉ****Název práce:** Fyzika na talíři**Autor:** Petr Koza**Katedra:** Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy**Vedoucí bakalářské práce:** PhDr. Zdeňka Kielbusová

**Abstrakt:** Práce obsahuje tematicky řazené fyzikální pokusy. U experimentů je kladen důraz na použití potravin, nádobí, kuchyňských pomůcek a dalších domácích potřeb – tedy předmětů, které studenti dobře znají. Práce se soustřeďuje také na fyzikální souvislosti mezi jednotlivými pokusy a mezipředmětové vztahy.

**Klíčová slova:** fyzika, pokusy, potraviny, jednoduché pomůcky, hustota, povrchové napětí, lotosový efekt, skleněná harfa, difuze, osmóza, vypařování, luminiscence, sluneční soustava, baterie

---

**Title:** Physics on a plate**Author:** Petr Koza**Department:** Department of Mathematics, Physics and Technical education**Supervisor:** PhDr. Zdeňka Kielbusová

**Abstract:** This thesis contains evidence of physical experiments sorted by key points. In conduction of those, mainly food, kitchen utensils, and other kitchenware and house wares were used; in other words, things well-known to students from their daily lives. This thesis is also focused on links between experiments as well as links between various school subjects.

**Key words:** Physics, experiments, foodstuffs, common equipment, density, surface tension, lotus effect, glass harp, diffusion, osmosis, evaporation, luminescence, Solar System, battery

**SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ**

- [1] ATKINS, P a Julio DE PAULA. Fyzikální chemie. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2013, xxvi, 915 s. ISBN 978-80-7080-830-6.
- [2] DROZD, Zdeněk a Jitka BROCKMEYEROVÁ. Pokusy z volné ruky. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2003, 148 s. ISBN 80-7196-268-6.
- [3] DURŠPEK, Jan a další. Mechanika. Fyzikální vlastnosti živých organismů. [Online] [Citace: 31. Březen 2015.] <http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/physics.htm>.
- [4] FONTANA, David. Psychologie ve školní praxi: příručka pro učitele. Vyd. 2. Překlad Karel Balcar. Praha: Portál, 2003, 383 s. ISBN 80-7178-626-8.
- [5] HLAVIČKA, Alois. Fyzika pro pedagogické fakulty. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1971, 742 s. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství).
- [6] HOLUBOVÁ, Renata. Kulinářská fyzika. Vyd. 1. Olomouc [i.e. Ostrava]: Repronis, 2012, 67 s. ISBN 978-80-7329-316-1.
- [7] CHAJDA, Radek. Fyzika na dvoře: 100 zábavných pokusů pro každého. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2008, 96 s. ISBN 978-80-251-2021-7.
- [8] KALHOUS, Zdeněk. Školní didaktika. Vyd. 1. Praha: Portál, 2002, 447 s. ISBN 80-7178-253-x.
- [9] KERVELLA, Pierre a Frederic THEVENIN. A Family Portrait of the Alpha Centauri System. European Southern Observatory. [Online] 15. Březen 2003. [Citace: 29. Březen 2015.] <http://www.eso.org/public/news/eso0307/>.
- [10] KÉHAR, Ota a další. Planety sluneční soustavy. Astronomia. [Online] 15. Leden 2010. [Citace: 26. Březen 2015.] <http://astronomia.zcu.cz/planety/soustava>.
- [11] KRÁLOVÁ, Magdaléna a Jindřich KÁŽE. Povrchové napětí. Edutorium. [Online] Techmania. [Citace: 29. Březen 2015.] <http://www.techmania.cz/edutorium/>.
- [12] KREJČÍ, Jan. Skleněná harfa - výška tónu a rezonance. Fyzikální experimenty. [Online] 14. Duben 2012. [Citace: 26. Březen 2015.] <http://www.fyzikalni-experimenty.cz/cz/kmity-a-vlny/sklenena-harfa-vyska-tonu-a-rezonance/>.

- [13] KRYNICKÝ, Martin. [www.realisticky.cz](http://www.realisticky.cz). [Online] 9. Březen 2015. [Citace: 16. Březen 2015.] <http://www.realisticky.cz>.
- [14] LANK, Vladimír a Miroslav VONDRA. Fyzika v kostce: pro střední školy. 1. vyd. Praha: Fragment, 2007, 184 s. Maturita v kostce. ISBN 978-80-253-0228-6.
- [15] LAVICKÝ, Vojtěch. Vytvoření databáze nahrávek hudebních nástrojů. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2009
- [16] LOKŠOVÁ, Irena a Jozef LOKŠA. Pozornost, motivace, relaxace a tvořivost dětí ve škole. Vyd. 1. Praha: Portál, 1999, 199 s. Pedagogická praxe. ISBN 80-7178-205-x.
- [17] LORBEER, George C a Leslie W NELSON. Fyzikální pokusy pro děti: náměty a návody pro zajímavé vyučování : hmota, energie, vesmír, letectví. Vyd. 1. Praha: Portál, 1998, 220 s. ISBN 80-7178-181-9.
- [18] MCMURRY, John. Organická chemie. Vyd. 1. V Brně: VUTIUM, 2007, xxv, 1176, 61, 31 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-3291-8.
- [19] MIKULČÁK, Jiří. Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2007, 206 s. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 978-80-7196-345-5.
- [20] NAHODIL, Josef. Fyzika v běžném životě. 2., rozš. vyd. Praha: Prometheus, 2004, 206 s. ISBN 8071962783.
- [21] PETŘÍK, Milan. Superhydrofobní tajemství čistoty lotosových květů. [lidovky.cz](http://lidovky.cz). [Online] 22. Říjen 2009. [Citace: 30. Březen 2015.] <http://petrik.bigblogger.lidovky.cz/c/107273/Zakriveni-povrchu-je-klicem-k-tajemstvi-cistoty-lotosovych-kvetu.html>.
- [22] POKORNÝ, Jan. Ovocný článek. Pokusy z fyziky. [Online] 30. Červenec 2013. [Citace: 3. Březen 2015.] <http://pokusy.upol.cz/skolni-pokusy/elektrina-a-magnetismus/vedeni-proudu-v-kapalinach/ovocny-clanek-73/>.
- [23] PRŮCHA, Jan. Moderní pedagogika. 2., přeprac. a aktualiz. vyd. Praha: Portál, 2002, 481 s. ISBN 80-7178-631-4.

- [24] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Encyklopedie fyziky. [Online] [Citace: 30. Březen 2015.] <http://fyzika.jreichl.com/>.
- [25] SAAN, Anita van. 365 Experimente für jeden Tag. Kempen : Moses, 2008. ISBN 978-3-89777-473-5.
- [26] SVOBODA, Emanuel. Fyzika: pokusy s jednoduchými pomůckami. 2. vyd. Praha: Prometheus, 2001, 54 s. ISBN 80-7196-226-0.
- [27] SWEETING, Linda M. Scientific experiments at home: Wintergreen candy and other triboluminescent materials. Towson University. [Online] Zář 1998. [Citace: 2. Duben 2015.] <http://pages.towson.edu/ladon/wg/candywww.htm>.
- [28] ŠTEFL, Vladimír a Jiří KRTIČKA. Historie astronomie. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Oddělení astrofyziky. [Online] 2008. [Citace: 29. Březen 2015.] <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F6560.pdf>.
- [29] TAYLOR, Beverley A a Mickey SARQUIS. Teaching physics with toys: hands-on investigations for grades 3-9. Easy guide ed. Middletown, Ohio: Terrific Science Press, c2005, 331 p. ISBN 1883822408.
- [30] VANÝSEK, Vladimír. Základy astronomie a astrofyziky. 1. vyd. Praha: Academia, 1980, 541 s., obr. příl.
- [31] WITTKOWSKI, M., a další. Fundamental properties and atmospheric structure of the red supergiant VY Canis Majoris based on VLT/AMBER spectro-interferometry. SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS). [Online] Duben 2012. [Citace: 29. Březen 2015] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2012A&A...540L..12W>.
- [32] Pouť k planetám I. *Techmania Science Center*. [Online] 28. Zář 2007. [Citace: 13. Duben 2015] <http://www.techmania.cz/clanky.php?key=86>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – průběh pokusu Fyzikální koktejl .....	9
Obrázek 2 – změna hustoty vlivem difuze.....	10
Obrázek 3 – průběh pokusu na snížení povrchového napětí .....	13
Obrázek 4 – průběh pokusu na zvýšení povrchového napětí .....	13
Obrázek 5 – smáčení povrchu kapalinou (pramen [2], str. 81) .....	15
Obrázek 6 – průběh pokusu s lotosovým efektem a kapkami vody.....	16
Obrázek 7 – ověření velmi nízké smáčivosti sazí.....	17
Obrázek 8 – stříbrné vejce .....	17
Obrázek 9 – schéma porovnání struktury lotosového listu s běžným povrchem .....	18
Obrázek 10 – vodní kapky jako spojné čočky .....	19
Obrázek 11 – připravené sklenice na pokus Čajofon .....	22
Obrázek 12 – připravený pokusu Čajofon .....	23
Obrázek 13 – průběh pokusu Baterie s chutí .....	29
Obrázek 14 – difuze v čaji .....	31
Obrázek 15 – difuze ve vodě a cukerném roztoku .....	31
Obrázek 16 – příprava pokusu Molekulární pumpička .....	33
Obrázek 17 – výsledek pokusu Molekulární pumpička .....	33
Obrázek 18 – příprava pokusu Jako pára nad hrncem .....	37
Obrázek 19 – příprava a výsledek pokusu Bouřka v cukru .....	42
Obrázek 20 – sluneční soustava na mapě Plzně (použitý podklad: <a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a> ).....	48
Obrázek 21 – model soustavy 1.....	48
Obrázek 22 – model soustavy 2.....	49
Obrázek 23 – model Slunce před Západočeským muzeem (pramen [32]) .....	49

Obrázky jsou vlastní, není-li uvedeno jinak.

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – základní charakteristika připravených skleniček.....	23
Tabulka 2 – výšky tónu v závislosti na výšce vzduchového sloupce.....	24
Tabulka 3 – napětí na člancích .....	28
Tabulka 4 – průběh vypařování .....	37
Tabulka 5 – velikost potravin a pochutin .....	46
Tabulka 6 – velikosti a vzdálenosti ve sluneční soustavě .....	46
Tabulka 7 – modely objektů sluneční soustavy .....	47

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A KONSTANT

$\rho$	hustota
$m$	hmotnost
$V$	objem
$\beta$	součinitel objemové roztažnosti
$t$	teplota
$E$	energie
$\sigma$	povrchové napětí
$S$	plocha
$F$	síla
$f$	frekvence
$d$	délka (bližší specifikace v pokusech)
$l$	délka (bližší specifikace v pokusech)
$L_v$	skupenské teplo vypařování
$U$	vnitřní energie (pokus 4.3)
$U$	napětí (pokus 3.1)
$W'$	vnitřní práce
$h$	Planckova konstanta

Značky veličin zvýrazněné tučně označují vektorové veličiny.

**SEZNAM VZORCŮ**

Vzorec 1.....	8
Vzorec 2.....	8
Vzorec 3.....	11
Vzorec 4.....	14
Vzorec 5.....	35
Vzorec 6.....	41