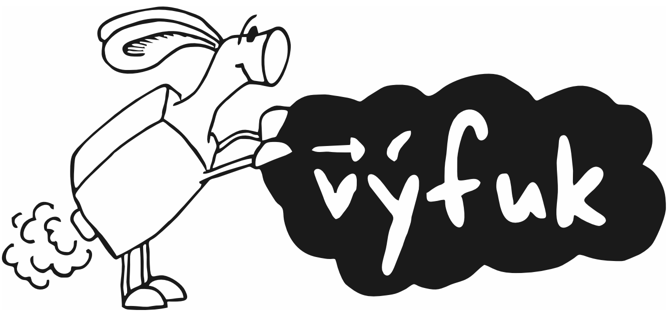
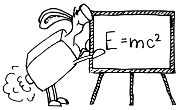
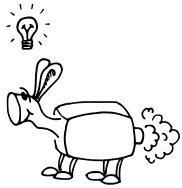


výpočty fyzikálních úkolů



Řešení III. etapy mimořádné série



Úloha III.1 ... Zmrzlý pytel

2 body

Výfuček si dělá zásoby. Rozhodl se tedy, že si domů odnese pytel mražené zeleniny. Protože je Výfuček dobrý fyzik, zamyslel se nad tím, jestli se mu nevyplatí nechat zeleninu rozmrznout. Není si však jistý, jestli po rozmrznutí bude pytel lehčí nebo těžší. Pomozte mu na tuto otázku odpovědět a napište, co si myslíte a proč.

Led má menší hustotu než voda v kapalném skupenství. Mohlo by se tedy zdát, že po rozmrznutí bude pytlík těžší, protože zelenina je primárně tvořena vodou. To je nicméně mylný předpoklad, neboť se množství zeleniny/vody v pytlíku nemění. Ani objem pytlíku se prakticky nezmění, neboť pytlíky mražené zeleniny bývají vzduchotěsně uzavřeny (nic z něj neodejde, ani do něj nic nevstoupí). Pytlík je tedy zhruba stejně těžký, ať je zmražený či rozmražený. Rozmrazit náklad se však Výfučkovi jistě vyplatí, protože pak jej může lépe tvarovat a nebude se na něm tvořit námraza (pokud mu ovšem nevadí, že zelenině zkrátí trvanlivost).

Poznámky k došlým řešením

Někteří z vás zvažovali možnost vodu nechat odtéct, avšak v naší úloze jsme v zadání mysleli hlavně tu uvnitř sáčku a pytlíky mražené zeleniny jsou obvykle vodotěsně uzavřeny. Pokud bychom však počítali úplně přesně (na desetiny gramu), je možné, že po rozmrznutí bude pro Výfučka zátěž přece jen trochu lehčí, protože odteče voda původně zkondenzovaná na povrchu studeného obalu (námraza). Tento efekt je samozřejmě mnohem významnější, než snížení hmotnosti při snížení tepelné energie dle $E = mc^2$, jak bylo podotknuto v jednom z řešení (zhruba bilionkrát významnější).

matfyz

Úloha III.2 ... Koloběh vody 2 body

V přírodě se uplatňuje zajímavý jev způsobený kapilární silou. Tento jev vypadá tak, že voda stoupá úzkou trubičkou nahoru, aniž by na ni působila jakákoliv vnější síla. Výfučka napadlo, jestli by tak nemohl vytvořit perpetuum mobile, které by neustále čerpalo vodu nahoru. Pokuste se mu vysvětlit, proč by tento stroj nemohl fungovat.

Co je to vlastně perpetuum mobile? Přeložíme-li tento termín doslovně, znamená to „neustálý pohyb“. Otázka se tedy ptá na to, jestli dokážeme vytvořit nějakou soustavu (stroj), která by dokázala navždy být v pohybu. Mohlo by nás napadnout sestrojit např. soustavu-koloběh, ve které voda vystoupá kapilární silou a následně klesne zpět dolů, aby byla opět vytažena kapilární silou.

Na tento problém odpovídá termodynamika, což je odvětví fyziky, které se zabývá stroji, prací a teplem – zakazuje sestavit takovýto stroj. Termodynamika se na celou věc dívá z energetického hlediska: první zákon termodynamiky říká, že změna energie v nějakém stroji je rovna součtu vykonané práce a přijatého tepla. Jelikož kapilární jev koná práci, musí se do něj nějak dodávat teplo (energie). Druhý termodynamický zákon pak říká, že přeměna tepla na dostupnou práci se může dít, jen pokud se systém vrací do trochu jiného počátečního stavu, takže myšlený stroj se musí po nějaké době zastavit, protože po každém zopakování bude mít méně energie.

Podobnou úvahu bychom mohli udělat i pro jakékoliv jiné perpetuum mobile. Vskutku, jedním z hlavních výdobytků termodynamiky je poznatek, že takové stroje nelze vyrobit.

Nakonec dlužno podotknout, že ve fyzice existují i exotické jevy, které by zdánlivě porušovaly termodynamické zákony. Podobně jako v naší úloze můžeme například trubičku ponořit namísto do vody do *kapalného helia*, které při $-271\,^{\circ}\mathrm{C}$ vykazuje *supratekutost*, což znamená, že se bez odporu rozlévá po všech površích a třeba i stoupá samo do výšky. Takové helium dokáže nejen trubičkou vystoupat, ale dokonce vytvořit fontánu. Na její stálý provoz ale musíme supratekutému heliu dodávat energii, například pomocí malého topení umístěného v trubičce, takže termodynamika zůstává nadále v platnosti.

Úloha III.3 ... Svíčka na talíři 2 body

Určitě už jste viděli pokus se zapálenou svíčkou na talíři vody. Po přiklopení svíčka zhasne, a krátce na to se do sklenice nasaje voda z talíře. Proč k tomu dochází?

Svíčka se skládá především z parafínu, což je směs mnoha uhlovodíků, které hoří dle schématu

$$\text{parafín} + \mathrm{O_2} \rightarrow \mathrm{CO} + \mathrm{CO_2} + \mathrm{H_2O}\,,$$

kde látkové množství vzniklého oxidu uhelnatého můžeme zanedbat (také jsme pro přehlednost neuvedli poměry vzniklých látek).

V uhlovodících žádný kyslík obvykle není, takže kyslík pro vzniklou vodu i oxidy je pouze z molekul kyslíku ve vzduchu. Z toho vidíme, že na vznik jedné molekuly oxidu uhličitého potřebujeme více než jednu molekulu kyslíku, a tedy i na vznik jednoho molu[1] oxidu uhličitého potřebujeme více než jeden mol kyslíku. Kyslík i oxid uhličitý mají za běžných podmínek téměř shodný molární objem. Po reakci se tedy objem plynu pod skleničkou zmenší, čímž vznikne podtlak, který začne nasávat do sklenice vodu z talíře. Přesněji řečeno, když je ve sklenici

[1] Mol je jednotka značící nějaký počet molekul.

menší tlak, než je atmosferický, tak atmosferický tlak na vodu na talíři mimo skleničku natlačí vodu dovnitř do skleničky (tlak je koneckonců jen plošná síla).

Zastavme se však jako přesní vědci u toho faktu, že jsme zde nepodali žádné vyhodnocení *míry chemického efektu* a jak moc mohou ztrátu tlaku kyslíku vyvážit *oba* oxidy *spolu s* vodní párou. V experimentálních článcích k tomuto tématu[2] se zmiňuje, že celková bilance těchto tlaků je zodpovědná pouze za malou část vzestupu hladiny vody, a to částečně i proto, že plamen svíčky vyžaduje pro své udržení koncentraci okolního kyslíku zhruba $> 15\,\%$, a proto svíčka zhasíná v podstatě brzo.[3] Pro zbývající většinu efektu potřebujeme jiné vysvětlení a tím bude konečně i vysvětlení fyzikální.

Je bez jakéhokoli sporu, že vzduch nad hořící svíčkou je více nebo méně zahřátý a rozpíná se. Na stěny uzavřené nádoby při tom působí větším tlakem. Pokud sklenicí přiklopíme dostatečně dlouho hořící svíčku, tak jsme vlastně přiklopili oblast teplejšího vzduchu s nižší hustotou. Již jsme popsali, že hořící svíčka vytvoří mírný podtlak spotřebováním části kyslíku; nejvíce podtlaku však vznikne po dohoření svíčky, když se chvíli poté vzduch začne ochlazovat. Ten přitom zpětně zvýší svou hustotu a samozřejmě se smrští za odpovídajícího poklesu tlaku. Ten je pak vyvážen natlačením vody zvenčí sklenice dovnitř tak, jak už jsme popsali výše, a hladina se tak dostane téměř na očekávanou výšku.

Důležitým ponaučením této úlohy tedy bylo, že musíme uvažovat *jak chemické, tak i fyzikální* vysvětlení experimentu s hořící svíčkou. Existují zde však samozřejmě i jiné, méně významné vlivy, jako třeba kondenzace par na vnitřním povrchu sklenice nebo i možný přesun bublinek mezi vnitřním a vnějším objemem vody, který závisí na uspořádání experimentu.

Úloha III.4 ... Padnou hradby? 3 body

Těsně pod hradbami stojí katapult (typu trebuchet). Jeho protizávaží má hmotnost $500\,\mathrm{kg}$ *a při odpalu klesne o 2 metry. Útočníci se snaží dostřelit balvan o hmotnosti* $40\,\mathrm{kg}$ *přes hradby. Jak vysoké musí být hradby, aby určitě nebyly přestřeleny?*

Jelikož přesně neznáme prostorové uspořádání, například vzdálenost katapultu od hradeb nebo délky jeho ramen, použijeme k výpočtu jen zákon zachování energie. Na počátku jsou všechna tělesa v klidu, stejně jako budou v klidu, i když bude balvan v maximální výšce. Stačí nám tedy započítat pouze potenciální energii mgh. Ze zákona zachování energie dostaneme rovnici pro maximální výšku dostřelu

$$h = \frac{MH}{m} = \frac{500\,\mathrm{kg}\cdot 2\,\mathrm{m}}{40\,\mathrm{kg}} = 25\,\mathrm{m}\,.$$

Pokud tedy hradby budou vyšší než $25\,\mathrm{m}$, nebudou tímto katapultem určitě přestřeleny. Ve skutečnosti by pak mohla být výška ještě o něco menší, protože část energie závaží se musí spotřebovat také na urychlení balvanu a ten se tím *pádem* nedostane tak vysoko.

Úloha III.5 ... Odraz zvuku 3 body

V minulé etapě byla představena metoda měření rychlosti velmi rychlých objektů. Nyní se podívejme na běžnější způsob měření rychlosti, a to policejní radar. Radar funguje na tom principu,

[2] `http://people.math.harvard.edu/~knill/pedagogy/waterexperiment/`, `http://people.math.harvard.edu/~knill/pedagogy/waterexperiment/vera_rivera_nunez.pdf`

[3] `https://clanky.rvp.cz/clanek/r/Z/21801/KDY-UZ-SVICKA-NEHORI.html/`

že vyšle dva paprsky, které se odrazí od automobilu a vrátí se zpět do radaru. Radar zná dobu mezi vysláním obou paprsků a z rozdílu času mezi přijatými paprsky je schopen spočítat rychlost auta. Představme si tedy, že radar vysílá zvukové signály šířící se rychlostí $340\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ *a míří na auto, které se pohybuje proti němu. Radar vysílá paprsky v intervalech* $1\,\mathrm{s}$. *Spočítejte rychlost přijíždějícího automobilu, je-li doba mezi přijetím odražených signálů* $t = 0{,}133\,\mathrm{s}$.

Druhý paprsek byl vyslán $\tau = 1\,\mathrm{s}$ po prvním, avšak dorazil již $t = 0{,}133\,\mathrm{s}$ po něm a celou dobu se pohyboval rychlostí $c = 340\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. Urazil tedy o Δd kratší dráhu, kde

$$\Delta d = (\tau - t)c\,.$$

Tato dráha je dvojnásobek dráhy, kterou auto urazilo mezi odrazy obou paprsků, protože cesta druhého paprsku je právě zkrácena tím, o kolik se auto mezi odrazy k radaru přiblížilo. Dvojnásobek je způsoben tím, že na každý 1 metr přiblížení auta ztrácí druhý paprsek 2 metry z možné cesty *tam a zpět*.

Nyní ještě zjistíme, jaká byla doba mezi odrazy. Ve vzdálenosti od radaru, ve které se druhý paprsek odráží od auta, se první paprsek nachází dvakrát (ve dvou okamžicích), a to nejprve cestou k autu v čase τ před odrazem druhého paprsku (tehdy je druhý paprsek ještě daleko od auta), a poté cestou zpět v čase t před odrazem (opět) druhého paprsku. Protože mezi tím dorazil první paprsek k autu a zpátky do vzdálenosti $d/2$ od místa odrazu, první odraz nastal přesně v polovině mezi těmito časy, tedy

$$\tau' = \frac{\tau + t}{2}$$

před druhým odrazem. To zároveň znamená, že z pohledu auta se interval τ změnil na τ'. Auto se však pohybuje, a tak „sbírá“ paprsky rychleji.

Auto urazilo dráhu $\Delta d/2$ za čas τ', a pohybovalo se tedy rychlostí

$$v = \frac{\Delta d}{2\tau'} = \frac{(\tau - t)c}{\tau + t} = \frac{1\,\mathrm{s} - 0{,}133\,\mathrm{s}}{1\,\mathrm{s} + 0{,}133\,\mathrm{s}} 340\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \doteq 260\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}\,.$$

Radar tak naměřil rychlost auta $260\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \approx 937\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$, což odpovídá spíše rychlosti dopravního letadla. Rychlost naměřená radarem tedy neodpovídá realitě, což mohlo být způsobeno například tím, že se druhému paprsku do cesty připletl nějaký jiný bližší objekt, od kterého se odrazil a radar to mylně interpretoval jako odraz od auta.

Úloha III.6 ... Svíčka v hrnku — 4 body

Máme svíčku o objemu $120\,\mathrm{ml}$ *z vosku o hustotě* $950\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$ *a dáme ji do hrnku o objemu* $200\,\mathrm{ml}$. *Vosk taje při teplotě* 55 *stupňů Celsia. Hrnek dolijeme horkou vodou. Jaká je minimální teplota vody, aby všechen vosk roztál? Měrná tepelná kapacita vosku je* $2{,}5\,\mathrm{J\cdot g^{-1}\cdot K^{-1}}$ *a měrné skupenské teplo tání je* $210\,\mathrm{J\cdot g^{-1}}$.

Tato úloha má překvapivý výsledek a některé veličiny, jak už to často bývá, je nutné dohledat v tabulkách. Nic nám však nezaručuje, že teplota vůbec leží pod bodem varu vody. Takový výsledek by nás přesvědčil o neproveditelnosti experimentu.

K nalezení výsledku můžeme využít běžné kalorimetrické rovnice, na jejíž jedné straně bude ležet teplo přijaté voskem včetně skupenské změny (tání), jehož proměnné budeme značit indexem „vs“, a na druhé straně bude teplo vydané horkou vodou, kterou indexujeme „vd“.

Důležitou informaci získáme už z mezního předpokladu, tj. že se vosk po roztátí v úhrnu o nic víc neohřeje a voda se neochladí více než pod daných 55 °C. V opačném případě by totiž nemohl roztát všechen vosk, protože by jakožto teplejší musel zpětně vodu ohřát – celý systém musí skončit na stejné teplotě.

$$m_{\mathrm{vs}}(c_{\mathrm{vs}}\Delta t_{\mathrm{vs}} + l_{\mathrm{t}}) = m_{\mathrm{vd}}c_{\mathrm{vd}}\Delta t_{\mathrm{vd}}$$

Nebude chybou využít přepočtenou tabulkovou hodnotu měrné tepelné kapacity vody $c_{\mathrm{vd}} = 4{,}2\,\mathrm{J\cdot g^{-1}\cdot K^{-1}}$. Změna teploty vosku t_{vs} je rozdílem teploty tání 55 °C a teploty počáteční, kterou někteří z vás volili 20 °C a někteří 25 °C. Tyto volby jsou shodně možné, ale nadále počítejme s 25 °C, aby změna teplot byla spíše menší: $\Delta t_{\mathrm{vs}} = 30\,°\mathrm{C}$. S dopočtenými hodnotami hmotností $m_{\mathrm{vs}} = 114\,\mathrm{g}$ a $m_{\mathrm{vd}} = 80\,\mathrm{g}$ dle $m = \varrho \cdot V$ dostáváme

$$\Delta t_{\mathrm{vd}} = \frac{m_{\mathrm{vs}}(c_{\mathrm{vs}}\Delta t_{\mathrm{vs}} + l_{\mathrm{t}})}{m_{\mathrm{vd}}c_{\mathrm{vd}}} = \frac{114(2{,}5 \cdot 30 + 210)}{80 \cdot 4{,}2}\,°\mathrm{C} \doteq 97{,}0\,°\mathrm{C}\,.$$

Takový výsledek je znepokojivý, protože nám vlastně říká, že se voda musí o 97 °C ochladit, což by jí při konečné teplotě 55 °C nutilo mít počáteční teplotu až na nějakých 152 °C, a to je velmi vysoko nad bodem varu, proto je pokus realizovatelný jen v přetlakové komoře – velmi pevném Papinově hrnci, který díky vysokému tlaku posouvá bod varu vody nad 100 °C (proto se vám také maso v tlakovém hrnci uvaří výrazně rychleji).

Situace se nezlepší, ani pokud bychom připustili větší realismus přidáním členu z dalšího ohřevu vosku potom, co roztál:

$$m_{\mathrm{vs}}(c_{\mathrm{vs}}\Delta t_{\mathrm{vs}} + l_{\mathrm{t}} + c_{\mathrm{vs,kap}}\Delta t'_{\mathrm{vs}}) = m_{\mathrm{vd}}c_{\mathrm{vd}}\Delta t_{\mathrm{vd}}\,,$$

takový člen by jen zvýšil nároky na teplotu vody.

Experiment tedy nelze provést s množstvím vody, které by se vešlo do hrnku. Pokud bychom měli hrnek o polovinu větší, bylo by to už realistické.

Úloha III.7 ... Hrdý proud — 3 body

„Ne, ne, nejsme spokojeni a nebudeme, dokud se valí právo jako vody, spravedlnost jak proudící potok.“ Takto promluvil Martin Luther King 28. 8. 1963 na masu amerických občanů, domáhaje se rovnoprávnosti. V této úloze se však na právo nebudeme dívat, zaměříme se na opravdový potok, přesněji proud z PET-lahve. Napište, jestli si myslíte, že voda vyteče rychleji z lahve, kterou nakloníme co nejvíc to jde (tedy kolmo k zemi), nebo z lahve, kterou nakloníte pod menším úhlem, třeba 45 stupňů. Až si zaznamenáte, co si myslíte, změřte, jak dlouho výtok potrvá pro láhev kolmo a pro láhev nakloněnou pod menším úhlem tak, aby tekl rovnoměrný proud. Co jste naměřili a jak si výsledek vykládáte?

Na první pohled by se zdálo, že PET lahev natočená co nejstrměji vyteče rychleji. Když se ale hlouběji zamyslíme, tak výtok z takto nakloněné lahve není pravidelný, protože krom výtoku vody se do lahve musí dostat vzduch. Je možné, že chaotičnost výtoku proud oproti menšímu náklonu zbrzdí. Pojďme to zjistit.

Použili jsme malou PET lahev o objemu 0,5 l. Měřili jsme výtok pro úplný náklon, kdy vyšlo $t_1 = (5{,}6 \pm 0{,}2)\,\mathrm{s}$. Následně jsme měřili pro náklon zhruba 45° (od vodorovné osy), kdy proud tekl stále podobně chaoticky jako při úplném náklonu, a vyšlo $t_2 = (5{,}6 \pm 0{,}3)\,\mathrm{s}$. Nakonec jsme změřili výtok pro nejmenší náklon zhruba 20°, kdy proud netekl chaoticky, tehdy vyšlo $t_3 = (7{,}2 \pm 0{,}8)\,\mathrm{s}$. Prováděli jsme vždy tři měření, uvedené nejistoty jsou směrodatné odchylky.

Dle experimentu tedy je nejvýhodnější lahev naklonit co nejvíc kolmo k zemi. Byť je výtok do jisté míry chaotický děj, při větším náklonu se doba výtoku mění jen málo.

Úloha III.8 ... Balvalení

5 bodů

Většina úloh, které ve škole počítáte, uvažuje tělesa jako hmotné body. Tento předpoklad může mnohdy být úspěšně použit (např. při oběhu Země kolem Slunce), ale ve většině běžných situací se na něj nelze spolehnout. V této úloze se proto budeme potýkat s předměty, které jako hmotný bod nelze aproximovat, a s experimentem, který rozdíly mezi tělesy dobře zdůrazní – valením z nakloněné roviny.

- *Konstrukce (1 bod): sestrojte si dostatečně dlouhou nakloněnou rovinu, měla by být dlouhá alespoň půl metru, ale čím více, tím lépe. Je jedno, jaký úhel si zvolíte, ale rovina by měla být pevná, aby se úhel neměnil. Popište konstrukci včetně relevantních parametrů (délka, sklon). Doplňte ji fotkami přes* `http://leteckaposta.cz/`*. Můžete využít např. prkno či chodník (ale dbejte na bezpečí). Dále si sežeňte plechovku či sklenici, kterou budete potřebovat v dalších částech úlohy.*
- *Měření doby valení pro různá tělesa (2 body): Změřte, jak dlouho trvá, než sklenice sjede vaši nakloněnou rovinu. Měření opakujte pro sklenici naplněnou z části vodou. Proveďte alespoň pět měření pro různá množství vody a uveďte své výsledky: čas v závislosti na množství vody ve sklenici.*
- *Chyba měření (1 bod): Bylo vaše měření z nějakého důvodu nepřesné? Napište, v čem si myslíte, že spočívaly nepřesnosti vašeho měření, pokuste se odhadnout jejich velikost. Řekněte, zda si myslíte, že nepřesnosti ohrožují výpovědní hodnotu vašeho měření (tj. bylo měření spolehlivé?).*
- *Závěr (1 bod): Stručně popište, na co jste v experimentu přišli. Jakou závislost času na množství vody ve sklenici jste pozorovali? Kolik vody musí ve sklenici být, aby sjela co nejrychleji? Odpovídá to vašemu očekávání?*

Provedení experimentu

K provedení experimentu jsme zvolili sklenici o výšce $h = 14\,\mathrm{cm}$ přibližně tvaru válce. Ke konstrukci jsme použili prkno dlouhé 120 cm, které bylo potažené plastem, takže na něm sklenice nepodkluzovala. Prkno jsme položili tak, že vyšší konec byl ve výšce 42,5 cm, čímž jsme dosáhli sklonu cca $20{,}8^\circ$. Na konec plochy jsme postavili polštář k zachycení rychlé sklenice.

Naměřené hodnoty

Měřili jsme pro různá množství vody ve sklenici, přičemž jsme vždy odhadli množství vody ve sklenici podle výšky vody považujíce sklenici za válec. Množství vody tak uvádíme v procentech. Celkový přehled výsledků vidíme v tabulce 1.

Chyby měření

Při měření jistě vyvstala chyba způsobená naší reakční dobou, která činí typicky 0,1 s. Do měření také vstupovaly náhodné vlivy způsobené tím, že se nepodařilo sklenici vždy spustit tak, aby jela rovně. Naštěstí jsme každou hodnotu měřili pětkrát, čímž jsme tyto náhodné chyby redukovali. Jako odchylku měření jsme tedy vzali směrodatnou odchylku, poněvadž dobře vystihuje naší

Poměr vody	0 %	18 %	36 %	57 %	100 %
Délka sjezdu	$\frac{t}{s}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{t}{s}$
1	1,19	1,14	1,23	1,08	1,12
2	1,15	1,07	1,13	1,01	1,10
3	1,20	1,01	1,17	1,11	1,10
4	1,24	1,16	1,16	1,08	1,02
5	1,18	1,06	1,08	1,20	1,16
Průměrný čas	$1{,}19 \pm 0{,}03$	$1{,}09 \pm 0{,}06$	$1{,}15 \pm 0{,}06$	$1{,}10 \pm 0{,}07$	$1{,}10 \pm 0{,}05$

Tab. 1: Naměřené hodnoty délky sjezdu plechovky pro různá množství vody.[4]

situaci, kdy jsme větším počtem měření odchylku snížili. Vskutku jsou také vypočtené odchylky menší než reakční doba.

Vznikly také jiné chyby jako např. chyby měření poměru vody, nicméně ty považujeme zanedbatelné vzhledem k orientačnímu charakteru našeho měření.

Pozn.: pro více informací o chybě měření si můžete přečíst náš text Hokus Pokus.[5]

Závěr

Podíváme-li se na hodnoty vypočtených průměrů, nenapadne nás žádná závislost času na množství vody, poněvadž čas není ani stoupající ani klesající. Když do naší analýzy zahrneme i směrodatné odchylky, vidíme, že všechny časy ± odchylky dosahují zhruba stejné hodnoty, vypadá to tedy, že doba sjezdu sklenice na množství vody v ní nezávisí.

Proč by tomu tak mohlo být? Když se podíváme na sjíždějící sklenici zblízka, tak si můžeme všimnout, že voda se při sjezdu ve sklenici téměř nepohybuje a neotáčí se spolu se sklenicí. To dává smysl, neboť hladké sklo o vodu moc netře. Podívejme se na to, co se děje s energií. Jak sklenice klesá, přeměňuje potenciální energii na rychlost a na otáčení. Voda také dostává energii a přeměňuje ji prakticky jen na rychlost, protože se neotáčí. Díky tomu, že spolu voda a sklenice neinteragují, sklenice dostane pokaždé zhruba stejné množství energie a roztočí se vždy zhruba stejně rychle, proto trvá sjezd stejně dlouho.

Abychom tuto hypotézu ještě podtrhli, změřili jsme navíc dobu sjezdu sklenice naplněnou zhruba do poloviny drobným kamením. Provedli jsme pět měření a vyšla nám hodnota $(1{,}4 \pm 0{,}8)\,\mathrm{s}$. To odpovídá tomu, že se sklenice při kutálení s kameny trochu otáčela, tím přišla o energii, a proto se točila pomaleji a sjezd jí trval déle.

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

[4] Chyby uvedené u průměrných časů jsou směrodatné odchylky.
[5] `https://vyfuk.mff.cuni.cz/jak_resit/hokus_pokus`