



PANSKÁ

Střední průmyslová škola sdělovací techniky

Panská 3

Praha 1

© Jaroslav Reichl, 2016

Netradiční fyzikální úlohy

náměty na fyzikální úlohy

Obsah

1. ÚVOD	4
2. MECHANIKA.....	5
2.1 Zboží na váze	5
2.2 Hustota potravin.....	5
2.3 Měření hodnot fyzikálních veličin	5
2.4 Problém s nákupem pizzy	9
2.5 Měření velikosti rychlosti	10
2.6 Pohyblivý mechanismus	10
2.7 Perioda rotace vrtulky	11
2.8 Kruhové převody	12
2.9 Létající pták	13
2.10 Pohyb kyvadla.....	14
2.11 Nakloněná rovina	16
2.12 Zákon zachování energie	17
2.13 Srážka vlaků.....	19
2.14 Brždění automobilu.....	19
2.15 Otevírání dveří	19
2.16 Postrkování krabice.....	20
2.17 Těžiště koštěte.....	21
2.18 Mikron na stativu	23
2.19 Trojnožka	24
2.20 Závěs na květináč.....	25
2.21 Podivná stavba ve Švýcarsku.....	26
2.22 Oprava Španělského sálu Pražského hradu.....	27
2.23 Prsty ve vodě.....	28
2.24 Vztlková síla vrtulníku	29
2.25 Člověk v řece	29
2.26 Člověk pod vodou	32
3. ELEKTRINA A MAGNETISMUS.....	35
3.1 Elektrický obvod - vyšroubování žárovky	35
3.2 Elektrický obvod - svítící žárovky I.....	36
3.3 Elektrický obvod - svítící žárovky II.	37
3.4 Realizace logických spojek.....	38
3.5 Výpočet odporu a elektrického proudu.....	39
3.6 Činnost fotorezistoru.....	40
3.7 Činnost termistoru.....	42
3.8 Činnost tranzistoru	43
3.9 Činnost transformátoru	44
4. MECHANICKÉ KMITÁNÍ, VLNĚNÍ A AKUSTIKA.....	46
4.1 Záznam zvuku na filmu.....	46
5. OPTIKA.....	47
5.1 Šíření světla.....	47
5.2 Světlo a stín.....	48
5.3 Odraz světla	48
5.4 Využití odrazu od zrcadla v praxi	49
5.5 Odraz světla od zrcadla	50
5.6 Odraz světla od hladiny vody	51
5.7 Zákon lomu - výpočet indexu lomu	52
5.8 Totální odraz světla.....	53
5.9 Zákon lomu	54
5.10 Odrazné hranoly.....	56

5.11	Rozmazaný obraz.....	58
6.	TERMODYNAMIKA.....	60
6.1	Mlecí kameny.....	60
6.2	Mramor	60
6.3	Vaření.....	60
7.	MODERNÍ FYZIKA.....	62
7.1	Solární panely	62
7.2	LED generující elektrické napětí?.....	62
7.3	Svítící tělesa.....	64
8.	ZÁVĚR.....	66
	PODĚKOVÁNÍ.....	66
9.	LITERATURA A DALŠÍ ZDROJE	67

1. Úvod

Ve výuce fyziky mají své místo i úlohy, které mají žáci na základě probraného učiva, experimentů a návodných úloh samostatně řešit. Kromě kvantitativních úloh, které patrně ve výuce fyziky převažují, lze se žáky řešit i úlohy kvalitativní. Ty mohou být zadávány jako problémové úlohy, jako motivační úlohy i jako přirozený důsledek probírané látky. S řadou s nich se žáci nebo učitelé mohou setkat i v běžném životě - zajímavý fyzikální jev v přírodě, fyzikální jev vyplývající z volnočasových aktivit žáků i učitelů, fyzikálně zajímavá scéna v oblíbeném filmu nebo knize, ... Tyto úlohy lze většinou řešit bez složitějších matematických vztahů - vesměs stačí logická úvaha opřená o konkrétní fyzikální znalosti a vědomosti. Řešení řady kvalitativních úloh lze ověřit experimentem.

Z kvantitativních úloh lze zadávat také zajímavé úlohy, jejichž řešení je v něčem nestandardní (jednoduchá fyzikální úvaha, nezávislost řešení na některé ze zadaných proměnných, netradiční způsob řešení, ...). Tímto způsobem lze žáky trénovat v opravdu pečlivém čtení textu zadání úlohy; tato dovednost bude pro žáky velmi cenná i v běžném životě při čtení (a následném podepisování) různých druhů smluv.

Jakým způsobem budou popsane úlohy žákům zadány (forma, část hodiny, domácí příprava, ...) je na každém učiteli fyziky, který se tyto úlohy rozhodne pro své žáky použít.

2. Mechanika

2.1 Zboží na váze

Na obr. 1 je zobrazena váha v obchodě s potravinami, na které je položen pomeranč. Jaká je hmotnost pomeranče? Detailní pohled na ukazatel váhy je zobrazen na obr. 2.

Řešení úlohy vyplývá přímo z fotografie na obr. 2. Je zřejmé, že hrubé dělení odpovídá dělení po 100 gramech, jemnější dělení pak dělení po 20 gramech. Hmotnost pomeranče proto je 360 gramů.



obr. 1



obr. 2

2.2 Hustota potravin

Porovnejte navzájem hustotu obou typů potravin zobrazených na obr. 3.



obr. 3

Je zřejmé, že pomazánka Zálesák má větší objem. Přitom mají obě potraviny stejnou hmotnost; je přitom uváděna hmotnost samotné potraviny bez obalu. Proto je hustota pomazánky Zálesák menší.

2.3 Měření hodnot fyzikálních veličin

Na obr. 4 až obr. 14 jsou zobrazeny měřicí přístroje. Určete, jakou fyzikální veličinu daný přístroj měří, a určete hodnotu, která je aktuálně přístrojem na fotografii měřena. Pokud je hodnota na přístroji uvedena v jednotkách, které se v soustavě SI nepoužívají, uveďte měřenou hodnotu také v jednotkách soustavy SI.

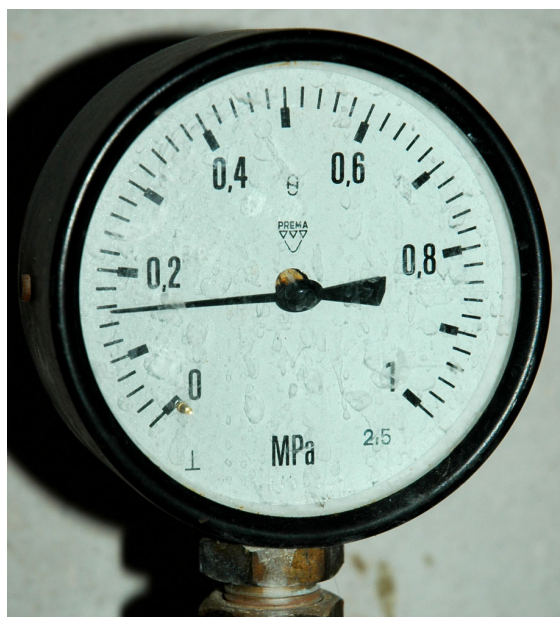
Ačkoliv většina ze zobrazených přístrojů vypadá velmi podobně, lze určit jednoznačně měřenou fyzikální veličinu na základě jednotky zobrazené na přístroji. Pro určení aktuálně měřené hodnoty dané fyzikální veličiny je nutné zorientovat se na zobrazené stupnici a správně určit hodnotu nejmenšího dílku.

Na obr. 4 je zobrazen siloměr, který měří velikost síly. Aktuálně měřená hodnota je 1,2 kN.

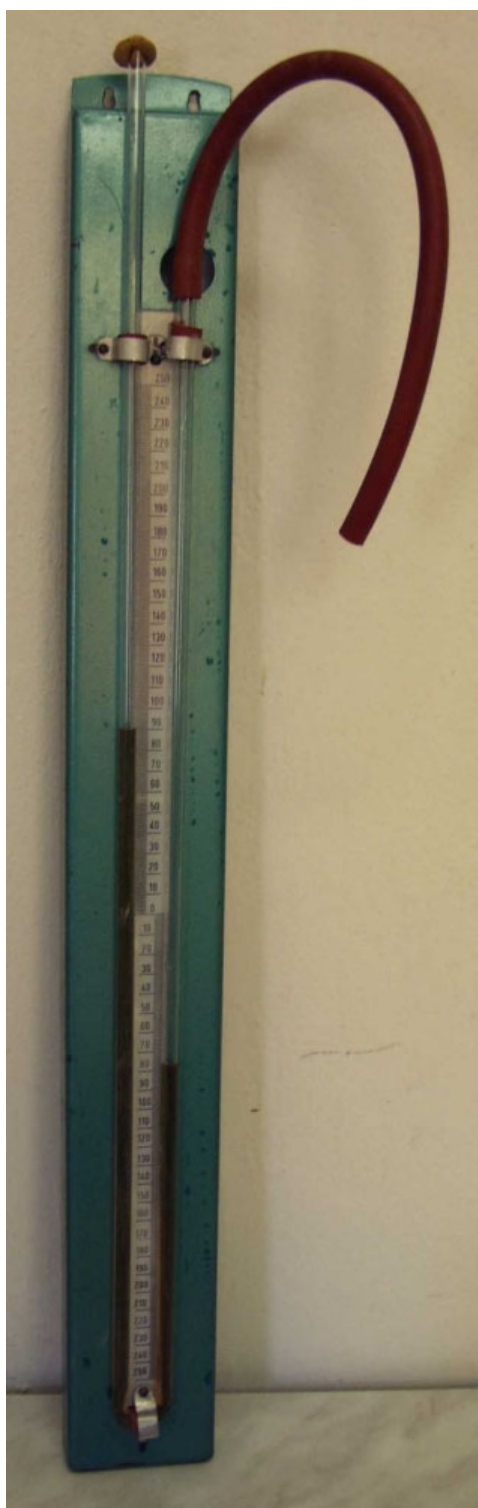
Na obr. 5 je zobrazen deformační manometr, který měří hodnotu tlaku tekutin. Zobrazená hodnota je 0,16 MPa.



obr. 4



obr. 5



obr. 6

Na obr. 6 je zobrazen otevřený kapalinový manometr naplněný vodou, který v tomto případě měří přetlak oproti atmosférickému tlaku. V hadici byl zvýšen tlak vzduchu, tím poklesla hladina sloupce obarvené vody a následně byla druhá část U-trubice uzavřena. Rozdíl hladin obarvené vody v obou částech U-trubice je roven $h = 90 + 80 \text{ mm} = 170 \text{ mm} = 0,17 \text{ m}$. Tomuto rozdílu hladin odpovídá hydrostatický tlak, který je určen vztahem:

$$p = h \cdot \rho \cdot g . \quad (1)$$

Měřená hodnota přetlaku tedy je: $p = h \cdot \rho \cdot g = 0,17 \cdot 1000 \cdot 9,81 \text{ Pa} = 1668 \text{ Pa}$.

Na obr. 7 je zobrazen deformační manometr, který aktuálně měří tlak $2 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$, tj. dva kilopondy na centimetr čtvereční. Kilopond je přitom dříve používaná jednotka síly a odpovídá tíze tělesa o hmotnosti 1 kg. Tedy platí: $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$. Proto platí: $1 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2} = 9,81 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$. Tlakoměr tedy ukazuje hodnotu $2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 196,2 \text{ kPa}$.

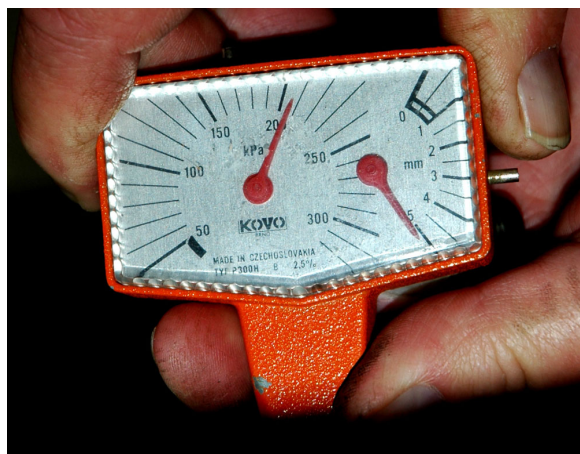
Na obr. 8 je zobrazen deformační manometr, který se používá při měření tlaku v pneumatikách automobilů. Aktuálně měřená hodnota je 205 kPa.

Na obr. 9 je zobrazen deformační manometr, který aktuálně ukazuje hodnotu 0,35 bar = 35 kPa.

Na obr. 10 je zobrazen deformační manometr ukazující aktuálně hodnotu 3,2 bar = 320 kPa. Současně je ale zobrazena hodnota 48 PSI, tedy 48 liber na čtvereční palec. Přitom platí: $1 \text{ PSI} = 1 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} = \frac{4,4482 \text{ N}}{0,0254^2 \text{ m}^2} = 6894,7 \text{ Pa}$. Tedy $48 \text{ PSI} = 331 \text{ kPa}$, což je ve shodě s hodnotou uvedenou v barech; hodnota uvedenou v barech lze vzhledem ke stupnici přístroje odečíst s menší přesností.



obr. 7



obr. 8



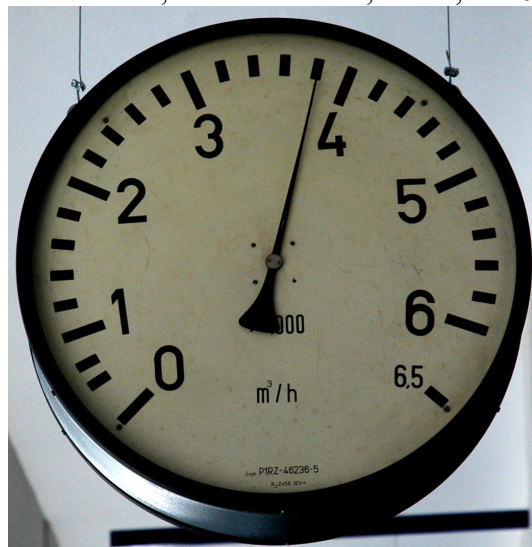
obr. 9



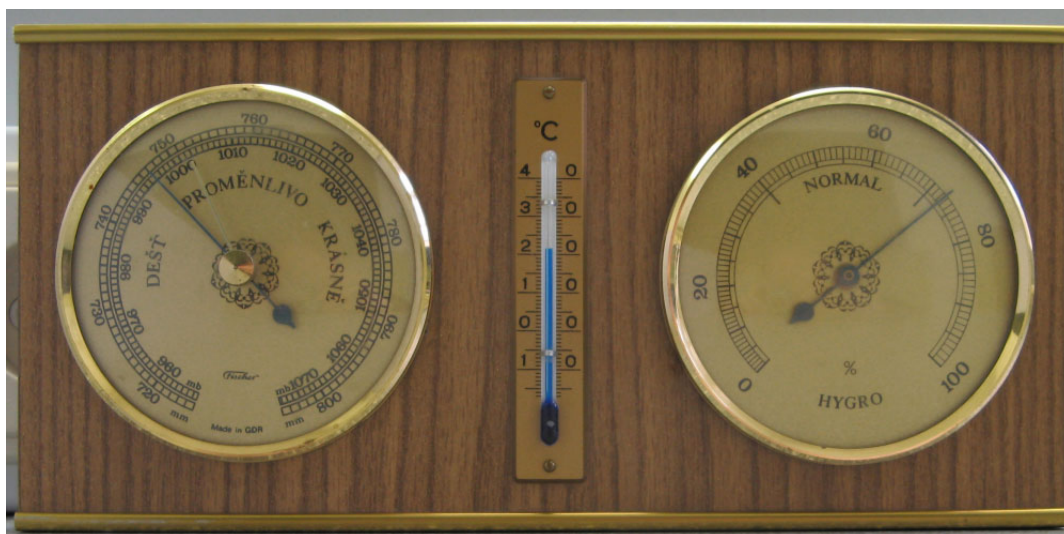
obr. 10



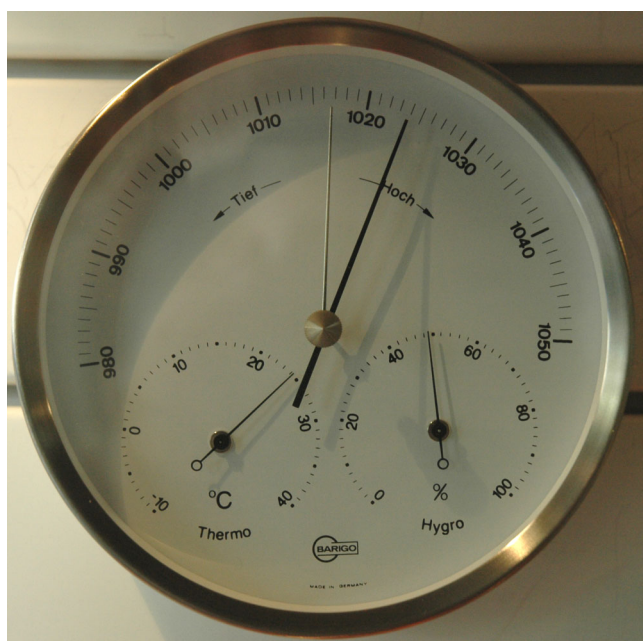
obr. 11



obr. 12



obr. 13



obr. 14



obr. 15

Na obr. 11 je zobrazen deformační manometr, který aktuálně ukazuje hodnotu 2 bar = 200 kPa. Současně lze odečíst hodnotu 30 liber na čtvereční palec, tj. 30 PSI. Na základě úvah u měřicího přístroje zobrazeného na obr. 10 platí: 30 PSI = 207 kPa.

Na obr. 12 je zobrazen průtokoměr, který aktuálně měří $3800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 1,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Na obr. 13 je zobrazen měřicí přístroj, který měří tlak, teplotu a relativní vlhkost vzduchu. Tlak je udán v milimetrech rtuťového sloupce (747 mm) a v barech (996 mbar). Podle vztahu (1) určíme tlak vzduchu, který odpovídá výšce rtuťového sloupce. Dosazením dostaneme: $p = h \cdot \rho \cdot g = 0,747 \cdot 13600 \cdot 9,81 \text{ Pa} = 99,7 \text{ kPa}$. Tlak vyjádřený v barech po převodu na pascaly je 99,6 kPa.

Teplota na teploměru je rovna 22°C a relativní vlhkost vzduchu je 72,5 %.

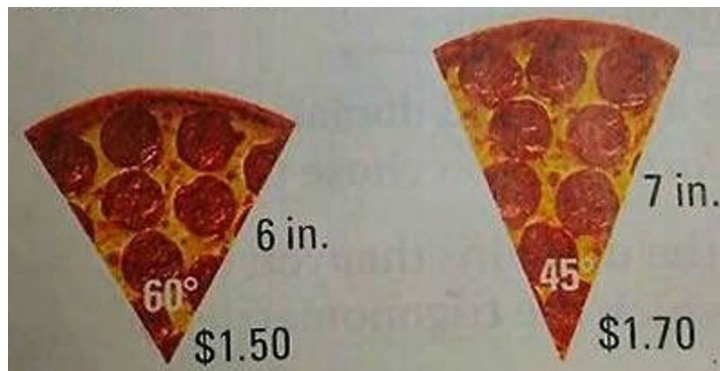
Podobný přístroj je zobrazen i na obr. 14: teplota vzduchu je 24°C , relativní vlhkost je 49 % a tlak vzduchu je 1024 hPa. A proč právě hektopascal, když na stupnici není tento údaj uveden? Je to jediná rozumná jednotka, která by to mohla být, pokud předpokládáme, že se jedná o tlak vzduchu. Z jednotek, které nejsou v soustavě SI, by mohl být tlak ještě vyjádřen v milibarech, tj. 1024 mbar.

Na obr. 15 je zobrazen kapalinový manometr používaný k měření tlaku krve lidí. Takovému přístroji se říká tonometr. Aktuálně měřená hodnota je 80 mm rtuťového sloupce; v těchto jednotkách udávají lékaři tlak krve. Pokud bychom jej chtěli převést na jednotky soustavy SI, stačí využít vztah (1) a dosadit do něj: $p = h \cdot \rho \cdot g = 0,08 \cdot 13600 \cdot 9,81 \text{ Pa} = 10,7 \text{ kPa}$.

Vzhledem k hodnotě tlaku zobrazené na obr. 15 je zřejmé, že se jedná o dolní tlak krve (tzv. diastolický tlak).

2.4 Problém s nákupem pizzy

U řady stánků s rychlým občerstvením můžeme najít reklamu na pizzu podobnou té, která je zobrazena na obr. 16. Ačkoliv jsou ceny uvedeny v dolarech a poloměr pizzy v palcích, lze určit, která pizza je výhodnější. Jaká pizza by byla tedy cenově výhodnější? Zdůvodněte.



obr. 16

Pro určení výhodnosti jedné z obou pizz určíme cenu za jeden čtvereční palec pizzy. Přitom budeme předpokládat, že cena celé pizzy by byla úměrná nárůstu úhlu kruhové výseče a nebyly by uplatňovány žádné množstevní slevy.

Označíme-li úhel kruhové výseče φ , můžeme cenu C celé pizzy počítat podle vztahu $C = \frac{2\pi}{\varphi} \cdot c$, kde c je cena dané části pizzy zobrazené na obr. 16. Plochu celé pizzy pak můžeme počítat podle vztahu $S = \pi \cdot r^2$, kde r je poloměr pizzy. O cenové výhodnosti rozhodne cena za jeden čtvereční palec pizzy, tj. podíl $\frac{C}{S}$. Po dosazení můžeme psát: $\frac{C}{S} = \frac{\frac{2\pi}{\varphi} \cdot c}{\pi \cdot r^2} = \frac{2 \cdot c}{\varphi \cdot r^2}$. Pro

první pizzu dostáváme $\left(\frac{C}{S}\right)_1 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 1,5}{\pi \cdot 6^2} \$ \cdot \text{in}^{-2} \doteq 0,080 \$ \cdot \text{in}^{-2}$, pro druhou pizzu pak dostáváme

$$\left(\frac{C}{S}\right)_2 = \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,7}{\pi \cdot 7^2} \$ \cdot \text{in}^{-2} \doteq 0,088 \$ \cdot \text{in}^{-2}.$$

Druhá pizza je tedy dražší o zhruba 10 % oproti první pizze.

2.5 Měření velikosti rychlosti

Na obr. 17 je zobrazen přístroj, pomocí kterého měřili velikost rychlosti pohybující se lodi námořníci. Popište, jak toto měření probíhalo.

Na laně navinutém na cívce jsou udělány uzly, jejichž vzájemná vzdálenost je 47 ft 3 in = 14,4 m. K samotnému měření bylo třeba tří námořníků. Jeden držel cívku, druhý zvedal lano přes záď lodi a třetí odměřoval na přesýpacích hodinách dobu 28 s. Jak se lano postupně odvíjelo z cívky, námořníci počítali uzly na odvinuté části lana. Počet těchto uzlů odvinutých za dobu 28 s určoval velikost rychlosti pohybu lodi v uzlech. Přitom platí: 1 uzel = 1 námořní míle za hodinu a 1 námořní míle = 6080 ft = 2026,6 yd = 1853 m. Velikost rychlosti jednoho uzlu tedy znamená velikost rychlosti 1853 metrů za hodinu.



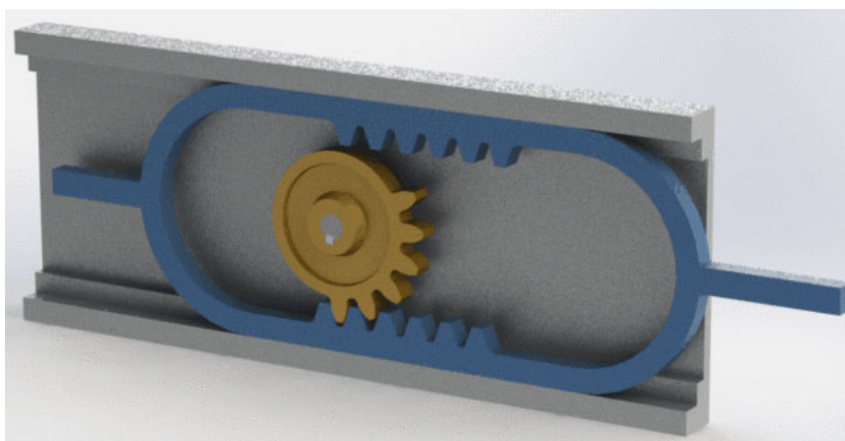
obr. 17

Metoda, kterou námořníci používají, vyplývá z faktu, že poměr vzdálenosti dvou uzlů na laně (tj. 47 ft 3 in) a jedné námořní míle je přibližně stejný jako poměr doby 28 s a jedné hodiny (tj. 3600 s).

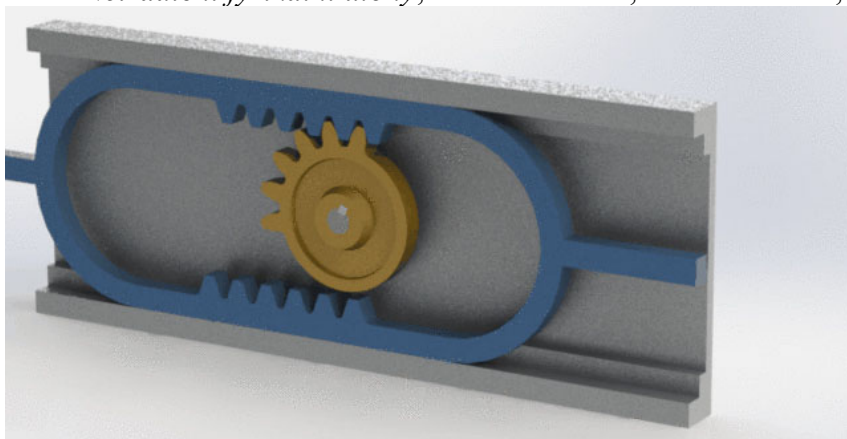
Jestliže velikost rychlosti lodi přesahuje 8 uzlů, používají se přesýpací hodiny odměřující dobu 14 s.

2.6 Pohyblivý mechanismus

Jak se bude pohybovat, pokud se vůbec bude pohybovat, modrý rámeček ve tvaru elipsy na mechanismu zobrazeném na obr. 18, jestliže hnědé kolečko bude rotovat ve směru pohybu hodinových ručiček?



obr. 18



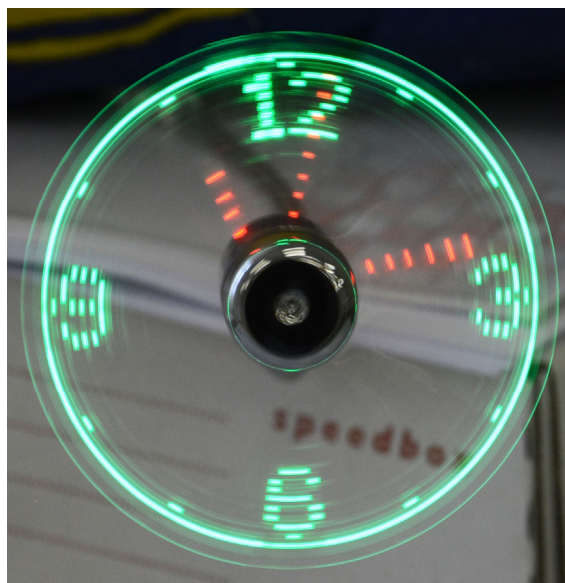
obr. 19

Jestliže se bude hnědé kolečko pohybovat ve směru pohybu hodinových ručiček, bude se modrý rámeček ve tvaru elipsy pohybovat přímočarým pohybem. Ve fázi pohybu zobrazeném na obr. 18 se bude rámeček pohybovat směrem vlevo. Ve fázi pohybu hnědého kolečka zobrazené na obr. 19 se bude rámeček pohybovat směrem vpravo. Díky nesymetrickému rozložení zubů hnacího kolečka se bude rámeček pohybovat střídavě jedním a druhým směrem.

Celý pohyb mechanismu lze shlédnout jako animaci na internetové stránce [1].

2.7 Perioda rotace vrtulky

Na obr. 20 je zobrazen detailní pohled na rotující vrtulku hračky. Na vrtulce jsou umístěné LED, které se rozsvěcují ve správný čas, a tak se pozorovateli zdá, že se dívá na spojitě jdoucí hodiny. Bylo by možné určit periodu rotace této vrtulky? Pokud ano, určete jí.



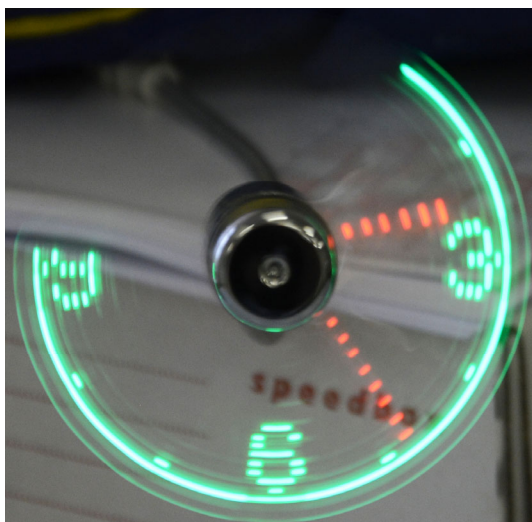
obr. 20

S využitím fotoaparátu, na kterém lze nastavit základní parametry (doba expozice, clonové číslo, ...) lze periodu rotace určit. Při vhodném nastavení fotoaparátu se podařilo získat fotografie zobrazené na obr. 21 a obr. 22. Pokud se navíc podíváme na tzv. EXIF informace o pořízeném snímku (viz obr. 23 a obr. 24), výpočtu doby periody již nic nebrání.

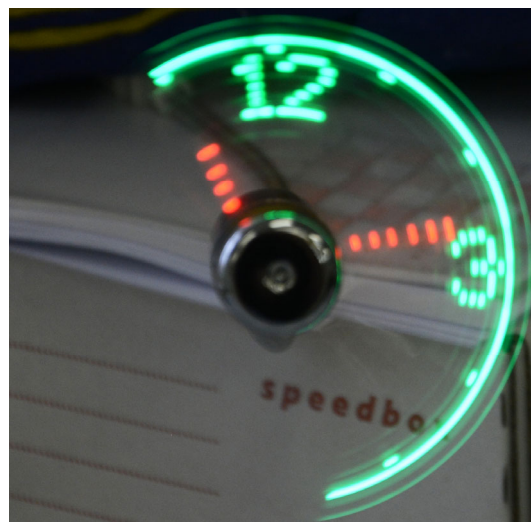
Jestliže známe dobu expozice t dané fotografie a odhadneme-li hodnotu úhlu φ , o který se rotující vrtulka za danou dobu pootočila, můžeme periodu T určit pomocí snadno odvoditelného vztahu

$$T = \frac{2\pi}{\varphi} t. \quad (2)$$

Vztah (2) je vlastně vyjádření periody na základě definice úhlové rychlosti; tu lze psát jako podíl úhlu, o který se průvodič tělesa pohybujícího se po kružnici otočí za čas t , a tohoto času.



obr. 21



obr. 22

Z obr. 21 lze odhadnout hodnotu úhlu $\varphi_1 = 2\pi \frac{8}{12} = \frac{4}{3}\pi$ a z obr. 23 lze vyčíst dobu expozice $t_1 = \frac{1}{50}$ s. S využitím vztahu (2) tedy můžeme určit periodu rotace vrtulky $T_1 = 2\pi \cdot \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{1}{50} \text{ s} = \frac{3}{100} \text{ s} = 30 \text{ ms}$. Analogicky můžeme využít obr. 22 a obr. 24, ze kterých získáme $\varphi_2 = 2\pi \frac{7}{12} = \frac{7}{6}\pi$ a $t_2 = \frac{1}{60}$ s, a tedy získáme periodu rotace $T_2 = 2\pi \cdot \frac{6}{7\pi} \cdot \frac{1}{60} \text{ s} = \frac{1}{35} \text{ s} \doteq 29 \text{ ms}$.

Porovnáme-li navzájem obě vypočtené periody T_1 a T_2 , zjistíme poměrně dobrou shodu.

Základní EXIF	
ISO:	400
Doba expozice:	1/50 s
Clona:	6.3
Ohnisková vzdáleno...	105.00 mm
Ohnisková vzdáleno...	105 mm
Objektiv:	18.0-105.0 mm
Kompensace expozi...	0
Blesk:	Ne

obr. 23

Základní EXIF	
ISO:	400
Doba expozice:	1/60 s
Clona:	5.6
Ohnisková vzdáleno...	105.00 mm
Ohnisková vzdáleno...	105 mm
Objektiv:	18.0-105.0 mm
Kompensace expozi...	0
Blesk:	Ne

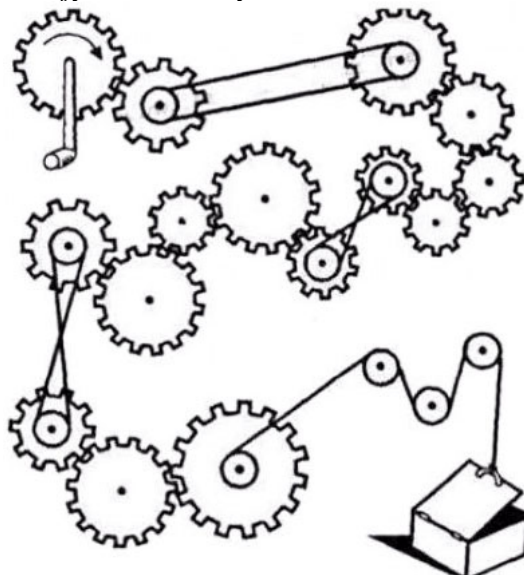
obr. 24

2.8 Kruhové převody

Na obr. 25 je zobrazena soustava kruhových převodů. Bude se víko krabice otvírat nebo zavírat při otáčení klikou v naznačeném směru?

Při určování chování víka je důležité vědět, jak se bude točit poslední ozubené kolo. Pokud se bude točit ve směru pohybu hodinových ručiček, krabice se bude zavírat, pokud se bude točit proti směru pohybu hodinových ručiček, krabice se bude otvírat. Pohyb posledního ozubeného kola lze určit buď postupným určováním směru pohybu všech kol - od druhého až k poslednímu, a nebo lze využít jednoduchá pravidla platící pro pohyb kruhových převodů:

1. dvě k sobě přiléhající kola se otáčejí ve vzájemně opačných směrech;
2. dvě kola spojená přímým řemenovým nebo řetězovým převodem se otáčejí stejným směrem;
3. dvě kola spojená jednou překříženým řemenovým převodem se otáčejí vzájemně opačným směrem.

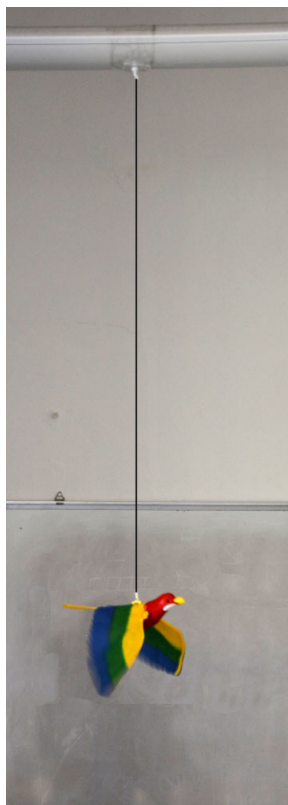


obr. 25

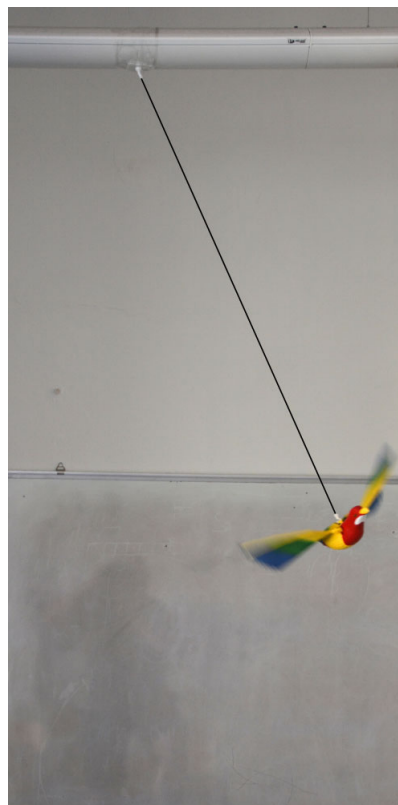
Na obr. 25 je zobrazeno 11 dvojic vzájemně se dotýkajících ozubených kol a dvě dvojice kol spojené překříženým řemenovým převodem. Takže se celkem 13krát změní směr otáčení kol, a proto se poslední kole bude otáčet opačným směrem, než se otáčí kolo s klikou. Poslední kolo se tedy bude otáčet proti směru pohybu hodinových ručiček, a proto se tedy bude víko krabice otevírat.

2.9 Létající pták

Na fotografii na obr. 26 je zobrazena hračka ptáka v klidové poloze, na fotografii na obr. 27 pak tatáž hračka v obecné poloze, ve které se pták pohybuje po kružnici. Závěs, na kterém hračka visí, přitom opisuje kužel. Proto je možné tento typ pohybu hračky považovat za kónické kyvadlo. Zakreslete všechny síly, které na hračku v obou zobrazených situacích působí.



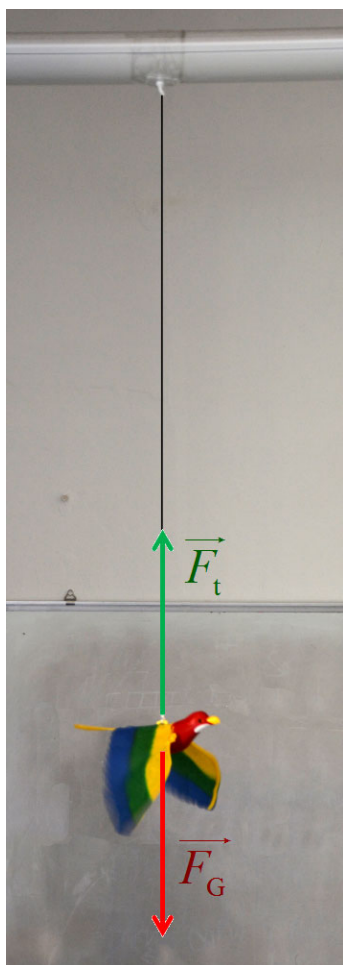
obr. 26



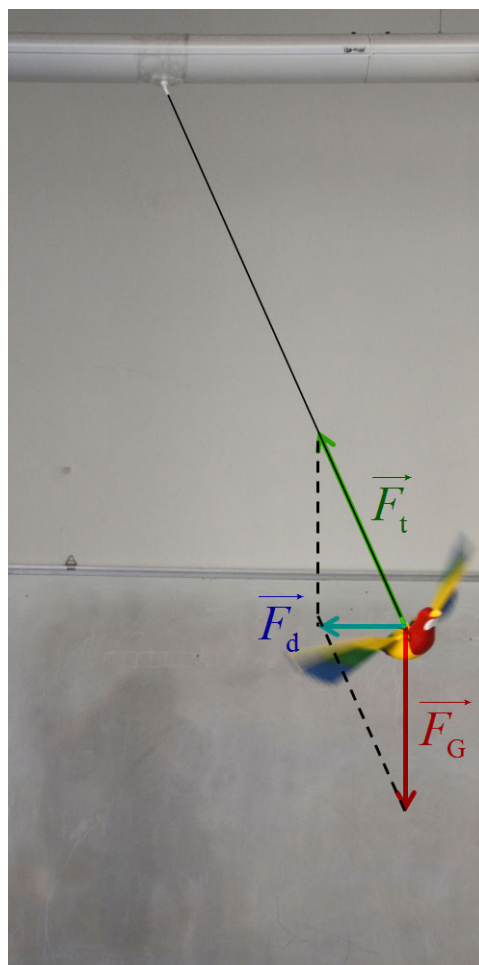
obr. 27

Na hračku, která se nachází v tíhovém poli Země, působí tíhová síla $\vec{F}_G$ mířící svisle dolů. Tato síla je kompenzována tahovou silou $\vec{F}_t$ závěsu, na kterém hračka visí. Velikosti obou sil jsou v tomto případě stejné (viz obr. 28).

Jestliže se pták pohybuje po kružnici, musí na něj působit dostředivá síla $\vec{F}_d$, která je realizovaná tahovou silou závěsu a tíhovou silou. Dostředivá síla je tedy výslednicí obou těchto sil: $\vec{F}_d = \vec{F}_G + \vec{F}_t$. Tato situace je zobrazena na obr. 29.



obr. 28



obr. 29

2.10 Pohyb kyvadla

Jako názornou ukázkou sil působících na těleso, které kýve, lze využít část amerického filmu *Piráti z Karibiku: Truhla mrtvého muže* (2006, režie Gore Verbinski). Jedná se o tu část děje, v níž skončí piráti jako zajatci lidojedů a visí v klecích nad mořem (viz obr. 30).

Zakreslete síly, které na klec působí ve třech situacích: klec visí v klidu, klec se kývá a je zobrazena právě při průchodu rovnovážnou polohou a v okamžiku, kdy klec padá svisle dolů a přitom se trhá závěsné lano klece.

Ve všech případech na klec působí svisle dolů tíhová síla $\vec{F}_G$ a svisle vzhůru tahová síla $\vec{F}_t$ lana (resp. liány), na kterém je klec zavěšena. Velikost tíhové síly je ve všech třech uvažovaných situacích stejná, ale velikost tahové síly lana se liší.

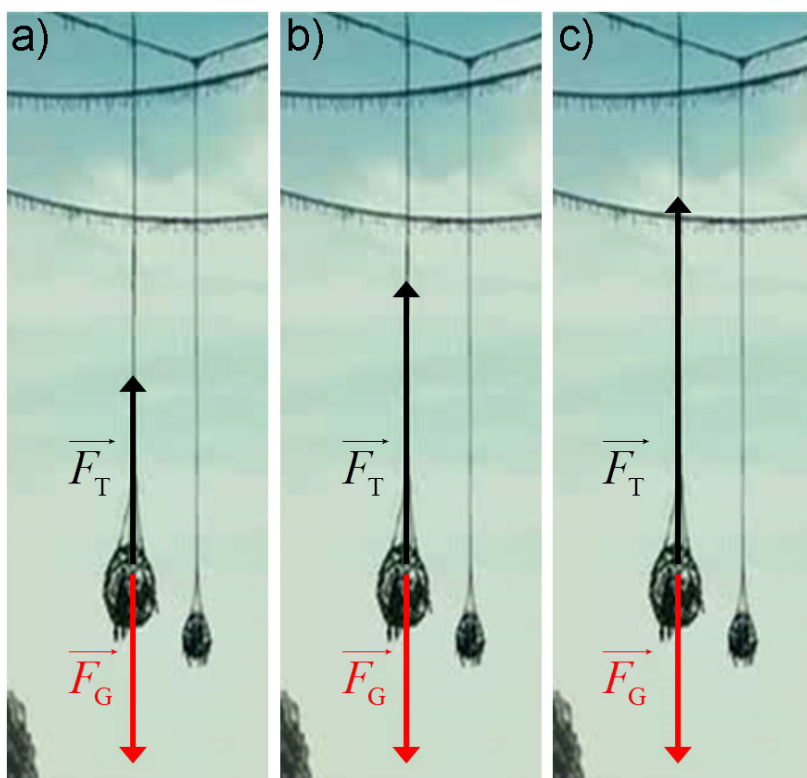
Nejmenší je velikost tahové síly lana v první situaci, kdy je klec v klidu. Výsledná síla působící na klec musí být nulová, proto je velikost tahové síly stejná, jako je velikost tíhové síly (viz obr. 31a).

Pokud se klec kýve, pohybuje se po části kružnice, a proto na ní musí působit dostředivá síla $\vec{F}_d$. Ta je v tomto případě výslednicí tíhové síly a tahové síly, které působí na klec. V rovnovážné poloze (tj. v okamžiku, kdy je závěsné lano svislé) míří dostředivá síla

svisle vzhůru. Proto v této situaci musí mít tahová síla větší velikost, než je velikost tíhové síly, tedy platí: $F_T > F_G$ (viz obr. 31b).



obr. 30



obr. 31

V případě, kdy se klec pohybuje směrem dolů a závěsné lano se právě trhá, je velikost tahové síly lana ještě větší, než v předchozím případě (viz obr. 31c). Klec se utrhne proto, že materiál lana již není schopen takto velkou tahovou sílu realizovat, a proto se porušují vazby mezi jednotlivými částmi lana a lano se trhá.

Tuto situaci lze žákům přiblížit také zkušeností, kterou možná sami mají. Pokud ponesou relativně těžké předměty v igelitové tašce, se kterou budou rukou kývat, může se stát, že držadla tašky prasknou a taška spadne na zem. Pokud se to stane, pak právě v okamžiku, kdy taška prochází rovnovážnou polohou. V této poloze je velikost rychlosti

Netradiční fyzikální úlohy, Jaroslav Reichl, SPŠST Panská, Praha, © 2016
pohybu tašky největší (a tedy je i největší dostředivá síla, která na tašku musí působit), a současně tahová síla, kterou působí taška na držadlo, má svislý směr. Proto (aby měla dostředivá síla dostatečnou velikost) musí být i velikost tahové síly značná. A to může mít za následek přerušení vazeb v materiálu tašky.

Výše popsané situace lze pohodlně modelovat pomocí jednoduché pomůcky. Stačí vložit tenisový míček do sítky od ovoce a tu přivázat na delší závěs (provázek, stuha, ...).

2.11 Nakloněná rovina

Nakloněná rovina je nejen důležitou součástí technické praxe, ale lze pomocí ní i modelovat řadu fyzikálních jevů. Proto je nutné, aby žáci pochopili, jaké síly působí na těleso nacházející se na nakloněné rovině.



obr. 32

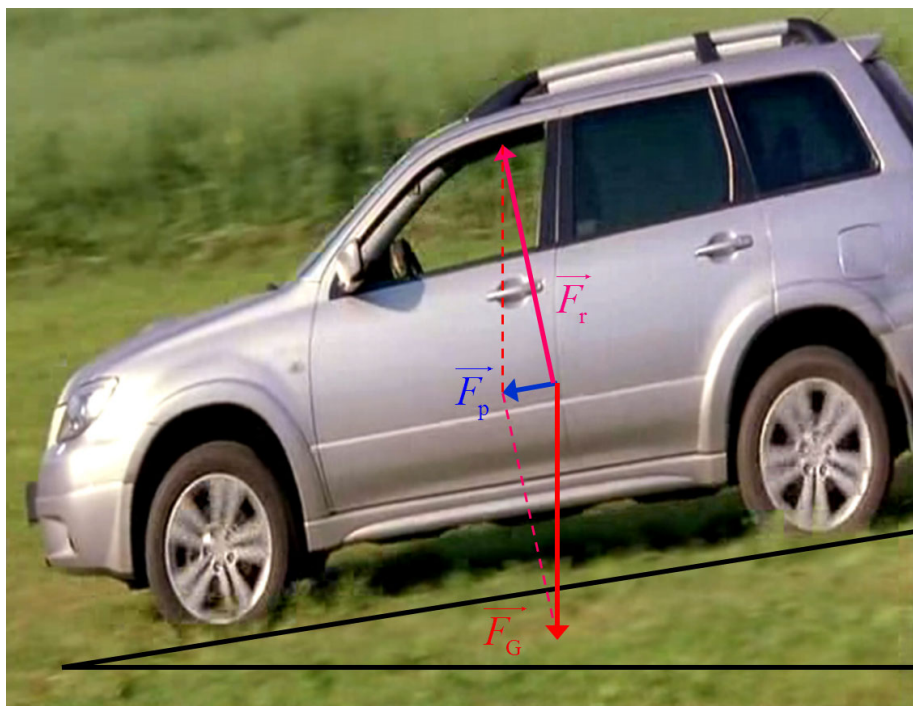
Jako motivaci používám ukázkou z českého filmu *Jak se krotí krokodýli* (2006, režie Marie Poledňáková). Jedná se o tu část filmu, v níž Anna zaparkuje auto na kopci u chalupy dědy a zapomene auto zabrzdit. To se rozjede a hrozí srážka s traktorem, jehož řidič se snaží auto Anny zachránit. Ukázka je poměrně zdařilá i z hlediska děje - má spád a žákům se většinou líbí a pobaví je. Navíc si uvědomí, jaké typy pohybů může vykonávat těleso na nakloněné rovině (za kterou lze svah u chalupy považovat).

Nezabrzděný automobil (viz obr. 32) se nejdříve po nakloněné rovině rozjíždí směrem dopředu, pak najede do protisvahu a brzdí. Poté, co zastaví, se začíná opět rozjíždět směrem dolů, ale tentokrát couvá. Pak najede do protisvahu (kopec, ze kterého se původně automobil rozjel) a opět zpomaluje. Pokud by automobil nebyl zastaven, popsáný pohyb se bude opakovat.

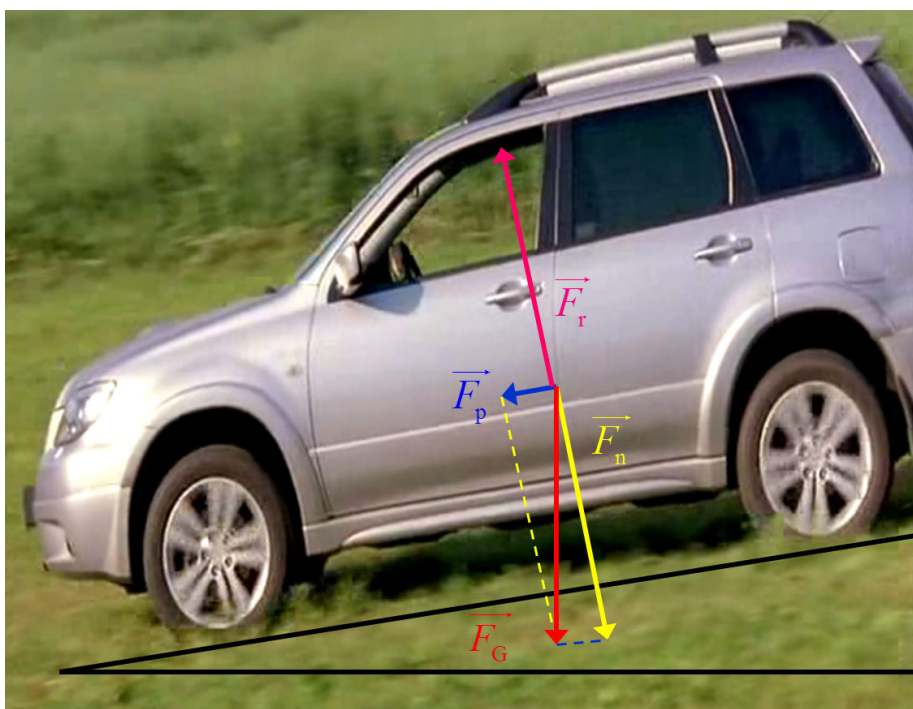
Nyní rozebereme síly, které na automobil na nakloněné rovině působí. Jednou ze sil je tíhová síla Země $\vec{F}_G$. Dále pak na automobil působí síla $\vec{F}_r$ podložky, po níž se pohybuje. Žádná jiná síla (pokud nebudeme uvažovat odporové síly vzduchu nebo třecí síly) na automobil nepůsobí. Výslednicí těchto dvou sil je pohybová síla $\vec{F}_p$, která uvádí automobil do zrychleného pohybu (viz obr. 33, na kterém jsou všechny síly zakresleny v těžišti automobilu).

Sílu $\vec{F}_p$ lze získat ale také rozkladem tíhové síly $\vec{F}_G$ na dvě složky. Jednou je pohybová síla $\vec{F}_p$ a druhou normálová síla $\vec{F}_n$, která je kolmá k podložce (viz obr. 34). Tento rozklad lze vysvětlit tak, že pohyb automobilu způsobuje pouze ta část tíhové síly, která je rovnoběžná

Netradiční fyzikální úlohy, Jaroslav Reichl, SPŠST Panská, Praha, © 2016
s nakloněnou rovinou. Současně s tím ale automobil tlačí na nakloněnou rovinu silou, která je k nakloněné rovině kolmá.



obr. 33



obr. 34

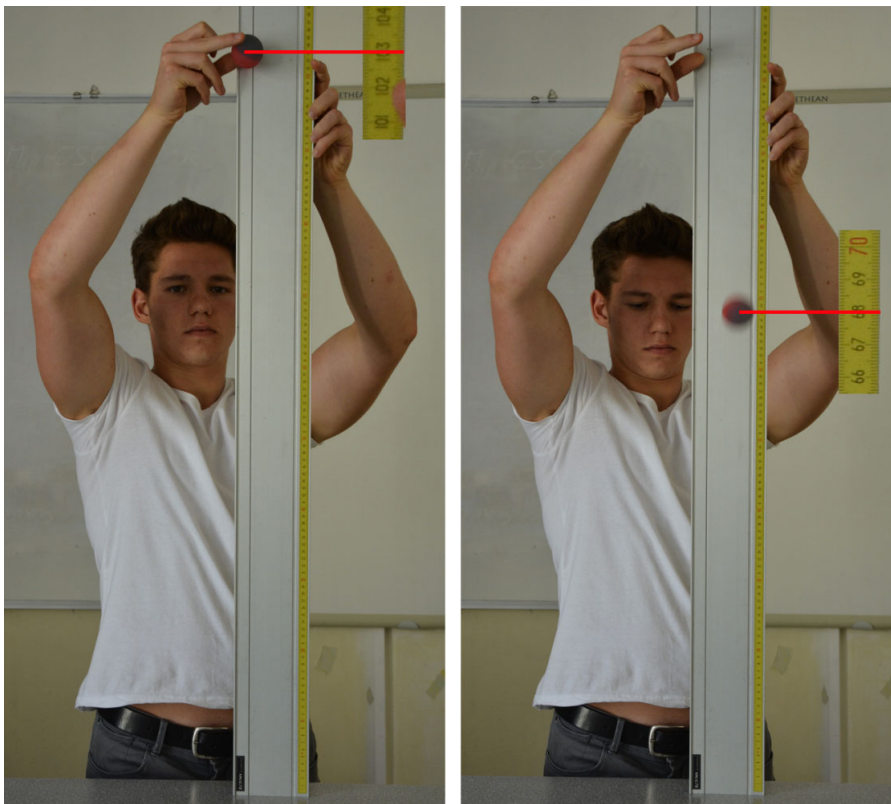
Se žáky lze pak diskutovat, jak se změní silová bilance při brždění automobilu do protisvahu, při následném zpětném rozjezdu dolů, jak by se situace vyvinula, kdyby byl kopec výrazně delší a uvažovali bychom odporové síly vzduchu působící na automobil, ...

2.12 Zákon zachování energie

Zákon zachování energie lze demonstrovat např. pomocí míčku hopíku, který necháme padat z určité výšky nad podložkou (např. deska stolu). Po odrazu od podložky se míček nevrátí zpět do původní polohy, ale skončí svůj pohyb níže. A máme námět na diskusi se žáky: Proč se nevrátil míček do původní výšky? Platí zákon zachování mechanické energie?

Na jaké formy energie se přeměnila část počáteční potenciální energie míčku? Podobných otázek k danému tématu lze vymyslet mnoho.

Jednu z úloh lze vyřešit také na základě fotografií zobrazených na obr. 35. Na první fotografii pouští experimentátor míček z určité výšky (kterou lze na obrázku odečíst), na druhé je zachycen míček ve své maximální výšce po odrazu. Tato výška je evidentně menší, než je počáteční výška míčku na začátku experimentu. Kolik procent počáteční mechanické energie se v tomto případě přeměnilo na nemechanické formy? Je možné vypočítat také velikost rychlosti míčku při dopadu na podložku a jeho následném odrazu? Za jakých podmínek?



obr. 35

Při řešení této úlohy vyjdeme ze zákona zachování energie, který můžeme psát ve tvaru $E_{p1} = E_{p2} + \Delta E$, kde E_{p1} je počáteční potenciální energie míčku, E_{p2} je koncová potenciální energie míčku a ΔE je ta část mechanické energie, která se přeměnila na nemechanické formy. Pokud chceme vyjádřit tuto část energie v procentech počáteční energie míčku, zajímá nás podíl $\frac{\Delta E}{E_{p1}}$. Tento podíl je přitom roven $\frac{\Delta E}{E_{p1}} = \frac{E_{p1} - E_{p2}}{E_{p1}} = \frac{mgh_1 - mgh_2}{mgh_1} = \frac{h_1 - h_2}{h_1}$; za výšky h_1 a h_2 dosadíme výšky odečtené z obr. 35. Po dosazení tak dostaneme: $\frac{\Delta E}{E_{p1}} = \frac{103 - 68}{103} = 0,34$. Na nemechanické formy se tedy změnilo 34 % počáteční potenciální energie míčku.

Výpočet velikosti rychlosti v_d míčku při dopadu na podložku a velikosti rychlosti v_o při jeho odrazu od podložky provedeme na základě zákona zachování mechanické energie, tedy zanedbáme odporové síly vzduchu působící během pohybu na míček. V souvislosti s první částí úlohy tak předpokládáme, že veškerá mechanická energie, která se přeměnila na nemechanické formy, se přeměnila na vnitřní energii míčku a podložky a na práci nutnou na deformaci míčku při jeho odrazu od podložky.

Můžeme proto psát $mgh_1 = \frac{1}{2}mv_d^2$, odkud dostáváme $v_d = \sqrt{2h_1g}$ a po dosazení máme $v_d = 4,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Analogicky lze psát $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh_2$, a tedy $v_0 = \sqrt{2h_2g}$. Po dosazení dostaneme $v_0 = 3,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jasný rozdíl mezi zákonem zachování energie a zákonem zachování mechanické energie lze demonstrovat pomocí dvou míčků: hopíku a tzv. hakysáku (látkový míček naplněný korálky, rýží, ...). Necháme-li je dopadnout na tutéž podložku ze stejné výšky, hopík se odrazí a vystoupá do menší výšky, než ze které byl puštěn. Látkový míček se neodrazí a zůstane po dopadu v klidu na podložce.

2.13 Srážka vlaků

V úterý 7. 7. 2020 se nedaleko stanice Pernink na Karlovarsku srazily čelně dva vlaky. O zabezpečení jednoho z vlaků, který se účastnil nehody, mluvil druhý den v pořadu *Události České televize* expert Zdeněk Malkovský (viz [2]). V rozhovoru popisoval existenci deformačního prvku ve vlaku RegioShark.

Jak tento deformační prvek funguje, jestliže (dle slov experta) slouží pro absorpci kinetické energie? Jak by vypadala srážka téhož vlaku, který by toto zařízení instalované neměl?

Deformační prvek je vyroben ze snadno deformovatelného materiálu. Před srážkou má jedoucí vlak (vůči vnějšímu pozorovateli) jistou nenulovou kinetickou energii. Při srážce se vlak náhle zastaví a jeho kinetická energie tak klesne na nulu. Rozdíl kinetických energií se musí přeměnit na jiné formy energie. Část této energie se spotřebuje na deformaci prvku, který se může deformovat snáze než ostatní části vlaku. Na deformaci konstrukce vlaku nebo cestujících uvnitř tohoto vlaku tak zbyde menší část kinetické energie, než kdyby deformační prvek instalován ve vlaku nebyl. Jízda ve vlaku s tímto deformačním prvkem je tedy pro cestující bezpečnější.

2.14 Brždění automobilu

Po přímé vodorovné silnici se pohybuje stálou rychlostí o velikosti $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ osobní automobil o hmotnosti 500 kg. Určete, jakou práci musejí vykonat brzdy automobilu, aby automobil zastavil. Odporové síly působící proti směru pohybu automobilu neuvažujte.

Při brždění automobilu platí zákon zachování mechanické energie (dle zadání zanedbáváme odporové síly vzduchu). Proto práce W , kterou vykonají brzdy automobilu, je rovna změně kinetická energie E_k automobilu. Tedy platí: $W = \Delta E_k$. Po dosazení dostaneme:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 500 \cdot 25^2 \text{ J} = 156,25 \text{ kJ}.$$

Brzdy automobilu při brždění automobilu vykonají práci 156,25 kJ.

2.15 Otevírání dveří

I pomocí tak běžné každodenní činnosti, jako je otevírání dveří, lze demonstrovat důležité fyzikální pojmy a zákony.

Na obr. 36 a obr. 37 je zobrazen experimentátor, který otevírá dveře. Ve kterém případě otevře dveře snáze a proč?

Obě zobrazené situace se liší tím, v jaké vzdálenosti od osy otáčení dveří (tj. od pantů dveří) experimentátor na dveře působí. V prvním případě (situace zobrazená na obr. 36) působí experimentátor na dveře dále od osy otáčení, ve druhém případě (situace zobrazená na obr. 37) blíže k ose otáčení. Aby se dveře otevřely, je nutné na ně působit určitou silou a udělit jim tedy i určitý moment otáčení. V prvním případě udělí experimentátor dveřím daný moment otáčení snadněji (tj. působením menší síly), protože na dveře působí dále od osy jejich otáčení. Tuto vzdálenost přitom měříme na kolmici, která prochází prstem experimentátora, k ose otáčení. Ve druhém případě působí experimentátor na dveře blíže k ose otáčení, a proto musí vynaložit větší námahu (tj. působit větší silou), aby dveře otevřel.



obr. 36



obr. 37

Moment síly lze žákům také demonstrovat při zvedání tabule: pokud tabuli zvedáme za madlo umístěné uprostřed tabule, lze tabuli zvednout snadno. Pokud tabuli zvedáme tak, že na ní působíme rukou z jedné její strany, tabule se bude kromě zvedání také natáčet. Tím se zvýší velikost třecí síly mezi tabulí a kolejnicemi, po kterých tabule jezdí, a zvedání tabule bude náročnější.

2.16 Postrkování krabice

V praxi se občas setkáme se situací, kdy je třeba přesunout krabici po podlaze z jednoho místa na druhé. Uvažujme krabici ve tvaru kvádra stojící na vodorovné podložce. Tuto krabici chceme po podložce posouvat silou rovnoběžnou s podložkou. Je vhodnější působit na krabici rovnoběžně s její delší nebo kratší hranou (viz obr. 38 a obr. 39)?



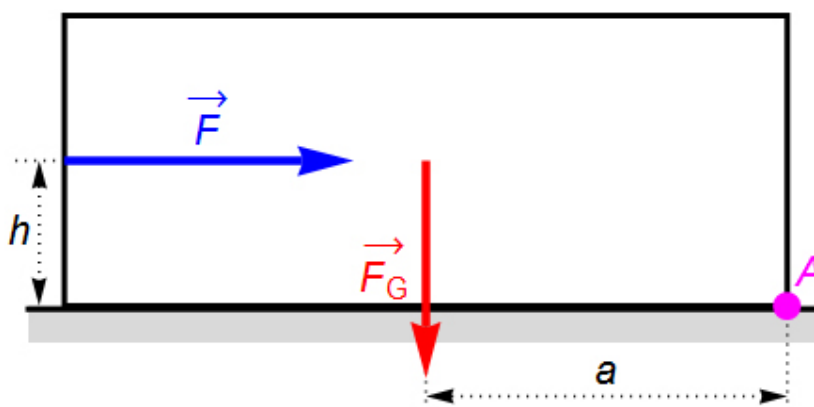
obr. 38

Situace je schematicky zobrazena na obr. 40. Pod vlivem působící síly $\vec{F}$ se bude krabice po podlaze nejen posouvat, ale bude mít tendenci se také překlápět. Míra překlápění krabice přitom závisí na celkovém momentu sil vzhledem k přední podstavě hrani krabice (na obr. 40, na kterém je dvourozměrné schematické zobrazení situace, je tato úsečka zobrazena jako bod A). Důležité proto budou momenty působící síly $\vec{F}$ a tíhové síly $\vec{F}_G$ krabice (včetně případné zátěže) vzhledem k této uvažované ose otáčení. Aby se krabice pouze posouvala a nepřeklápěla se podél přední hrany, musí být moment tíhové síly větší nebo nejvýše roven momentu působící síly. Ve shodě s obr. 40 tedy musí platit: $F \cdot h = F_G \cdot a$.

Splnění výše uvedené podmínky závisí na velikostech uvažovaných sil a na vzdálenostech a a h . Obecně platí, že krabice se bude pouze posouvat, pokud bude mít dostatečnou hmotnost (tj. velikostí tíhové síly krabice včetně nákladu uvnitř bude velká) a působící síla bude působit blíže vodorovné podložce (tj. vzdálenost h bude malá).



obr. 39



obr. 40

V reálném případě bude situaci ovlivňovat také velikost třecí síly a materiál podložky. Na hladkém povrchu (linoleum, dlaždice, ...) se bude krabice snáze posouvat a méně se naklápět, než např. na koberci, do kterého se při pohybu krabice její přední hrana mírně zaboří.

Pro plynulý posuvný pohyb krabice je navíc nutné, aby působící síla protínala těžiště nebo svislou těžnici. Pokud tato podmínka nebude splněna, bude se krabice natáčet (v závislosti na velikosti třecích sil) kolem svislé osy.

2.17 Těžiště koštěte

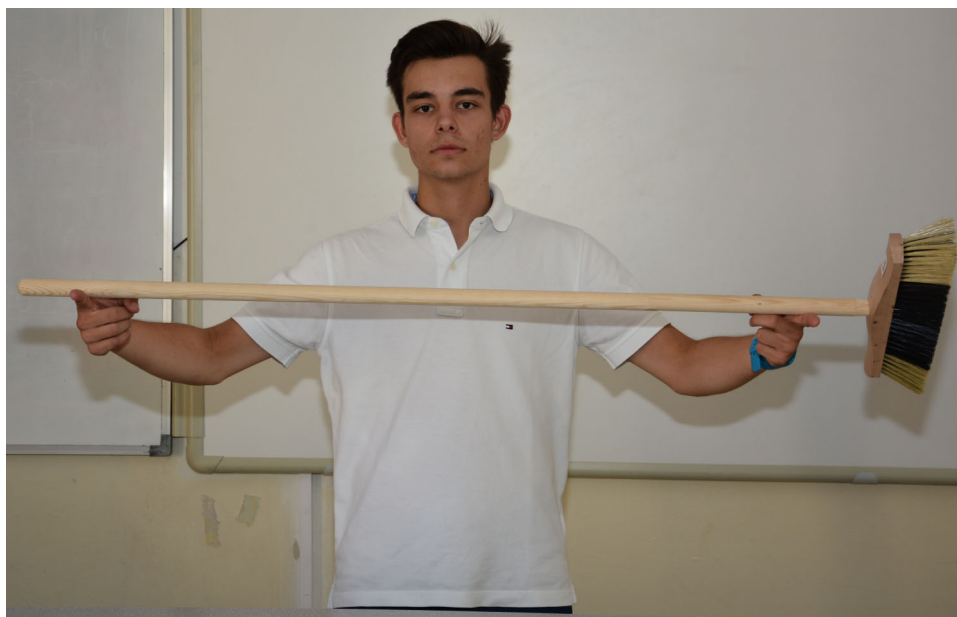
Najděte experimentálně polohu těžiště koštěte. Představte si hypoteticky, že koště v těžišti rozdělíme na dvě části. Jaké budou vzájemně hmotnosti obou takto získaných částí?

U tělesa, u kterého převažuje jeden lineární rozměr (tyč, koště, ...), lze polohu těžiště určit experimentálně velmi snadno. Položíme toto těleso na ukazováčky roztažených rukou (viz obr. 41) a budeme postupně sunout prsty k sobě. Po chvíli se oba ukazováčky setkají v jednom místě pod tělesem (viz obr. 42). Když těleso v tomto bodě necháme podepřené, zůstává ve stabilní poloze. Našli jsme tedy polohu těžiště tělesa; bod podepření tělesa je v tomto případě pod těžištěm tělesa.

Princip této metody určování polohy těžiště těles souvisí s velikostí třecích sil, které působí mezi prsty a tělesem. Detailně je tento postup popsán v [1].

Nyní uvažujme o hmotnostech jednotlivých částí koštěte, na které koště rozdělíme v jeho těžišti. Vzhledem k tomu, že jedna část koštěte je podle obr. 42 evidentně kratší (část, která se při zametání dotýká podlahy), bude mít tato část větší hmotnost. Koště podepřené v nalezeném těžišti je totiž v rovnovážné poloze, platí tedy momentová věta. A z ní vyplývá, že kratší část koštěte bude mít větší hmotnost.

O tom se lze přesvědčit tak, že koště v těžišti přeřízneme a položíme jednotlivé části na váhu. Na obr. 43 a obr. 44 jsou zobrazeny fotografie pořízené při určování hmotnosti obou částí koštěte. V levé dolní části je pro kvůli lepší čitelnosti vykopírovaný obrázek displeje váhy.



obr. 41



obr. 42



obr. 43



obr. 44

Pokud kostě předem upravíme, není nutné při každé vyučovací hodině, v níž tuto úlohu řešíme, zničit jedno kostě. Stačí předem kostě, u kterého najdeme výše uvedeným způsobem polohu těžiště, přerýznout na dvě části. Do jedné z nich vyvrtáme otvor pro vlepění šroubu, do druhé vyvrtáme otvor pro vlepění maticky. Pak stačí šroubek vždy rozšroubovat, rozdělit kostě na dvě části a ty položit na váhu.

2.18 Mikron na stativu

Na jaře roku 2020 ohrozila celý svět pandemie nemoci Covid-19, díky které byla zavedena řada bezpečnostních opatření. Reportéři pořadu *Události České televize* (viz [4]) museli dodržovat při natáčení rozhovorů pro své reportáže dvě tato opatření: nosit na obličeji roušky a dodržovat od hosta své reportáže odstup. Pro dodržení odstupů museli mikrofon, kterým snímali zvuk rozhovoru, umístit na stativ.

Jaký způsob držení stativu mikrofonu ze způsobů zobrazených na obr. 45 a obr. 46 je výhodnější? Proč?



obr. 45



obr. 46

Výhodnější je způsob zobrazený na obr. 46, protože reportérka si pomáhá i druhou rukou. Tak se nejen rozloží tíha stativu a mikrofonu do dvou rukou reportérky, ale navíc při držení stativu blíže k těžišti soustavy stativ + mikrofon se minimalizuje i otáčení stativu. Pokud mikrofon drží tak, jak je zobrazeno na obr. 45, tíhu stativu a mikrofonu kompenzuje pouze jedna ruka. Ta navíc drží stativ na jeho konci, což znamená, že stativ s mikrofonem má velký moment otáčení (vůči ruce), která tento moment musí kompenzovat.

Jak se od předchozích situací liší situace zobrazená na obr. 47? Jaký vliv to má na držení mikrofonu?



obr. 47



obr. 48

Situace zobrazená na obr. 47 je pro reportérku stabilnější, pokud je konec stativu dostatečně široký. Stativ má tendenci se kolem ruky, která ho podpírá, otáčet tak, že část

s mikrofonom bude klesat. Tomu zabrání umístění druhého konce stativu do podpaží. V případě, že by byla část stativu umístěná v podpaží příliš úzká, působila by síla stativu na relativně malou plochu těla a bylo by to pro reportérku bolestivé. Širší konec zajistí, že stativ bude působit na tělo větší plochou a působící síla se tak rozloží. Navíc širší konec bude mít větší hmotnost, a proto těžiště soustavy stativ + mikrofonom bude blíže tomuto konci. Proto se bude stativ s mikrofonom rukou (resp. rukou a podepřením v podpaží) snáze vyvažovat.

Jak se od předchozích situací liší situace zobrazená na obr. 48?

Na tomto obrázku je mikrofonom (ve srovnání s předchozími třemi situacemi) umístěn téměř rovnoběžně se stativem. Těžiště samotného mikrofonom (a tedy i těžiště soustavy stativ + mikrofonom) se proto posune dále od ruky reportéra. Z důvodů uvedených výše bude udržení stativu v tomto případě náročnější.

2.19 Trojnožka

V praxi se často setkáváme s tělesem zavěšeným na tzv. trojnožce (kotlík nad ohněm, ozdobný květináč, ...). Jedna situace je zobrazená na obr. 49. Jaké síly působí na těleso a jaké síly na trojnožku? Jaké jsou velikosti těchto sil?

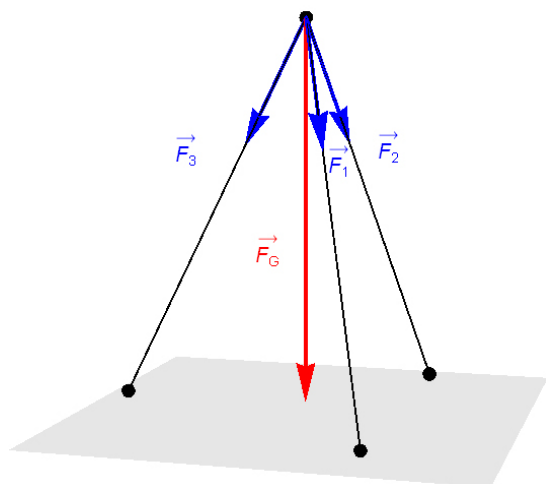


obr. 49

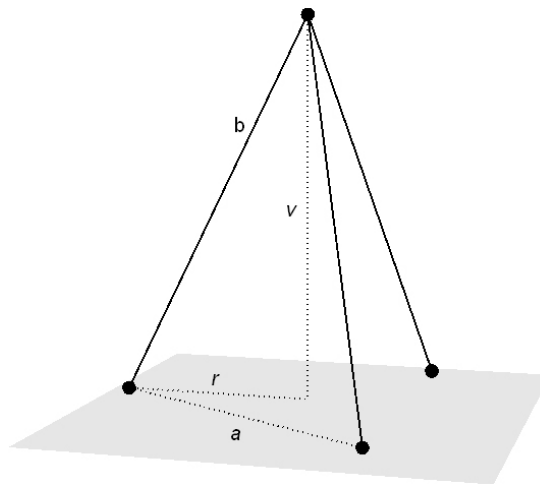
Na těleso zavěšené na trojnožce působí tíhová síla $\vec{F}_G$ svisle dolů. Tato síla se rozkládá do tří směrů, které jsou dány nohami trojnožky (viz obr. 50). Na jednotlivé nohy trojnožky tak působí síly $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ a $\vec{F}_3$, které mají (v případě symetricky postavené trojnožky) navzájem stejné velikosti. Na těleso ještě působí tahová síla $\vec{F}_t$ závěsu trojnožky, která má stejnou velikost jako tíhová síla; tato tahová síla není na obr. 50 zobrazena.

Pro výpočet velikostí sil $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ a $\vec{F}_3$ je nutné popsat trojnožku matematicky. Předpokládejme, že ve shodě se schematickým znázorněním na obr. 51 známe rozměry a a b . Symbolem r je označen poloměr kružnice opsané rovnostrannému trojúhelníku, jehož vrcholy tvoří místa podepření jednotlivých noh trojnožky na podložce.

Vzhledem k tomu, že poloměr této kružnice leží na těžnici (resp. na výšce) uvažovaného trojúhelníka, můžeme psát: $r = \frac{2}{3}t_a = \frac{2}{3}v_a = \frac{2}{3}\sqrt{a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{a}{2}\sqrt{3} = \frac{a\sqrt{3}}{3}$. Pro výšku v trojnožky pak platí: $v = \sqrt{b^2 - r^2} = \sqrt{b^2 - \frac{a^2}{3}}$. Úhel α mezi jednou nohou trojnožky a výškou trojnožky lze určit z podmínky: $\sin \alpha = \frac{r}{b} = \frac{a\sqrt{3}}{3b}$; tedy $\alpha = \arcsin\left(\frac{a\sqrt{3}}{3b}\right)$. Velikosti F sil působících na nohy trojnožky pak určíme z podmínky: $\cos \alpha = \frac{F_G}{3F}$ a tedy $F = \frac{F_G}{3\cos \alpha}$. Konstanta „3“ souvisí s faktem, že do svislého směru (směr tíhové síly) přispívají všechny tři síly působící na jednotlivé nohy trojnožky stejně.



obr. 50



obr. 51

2.20 Závěs na květináč

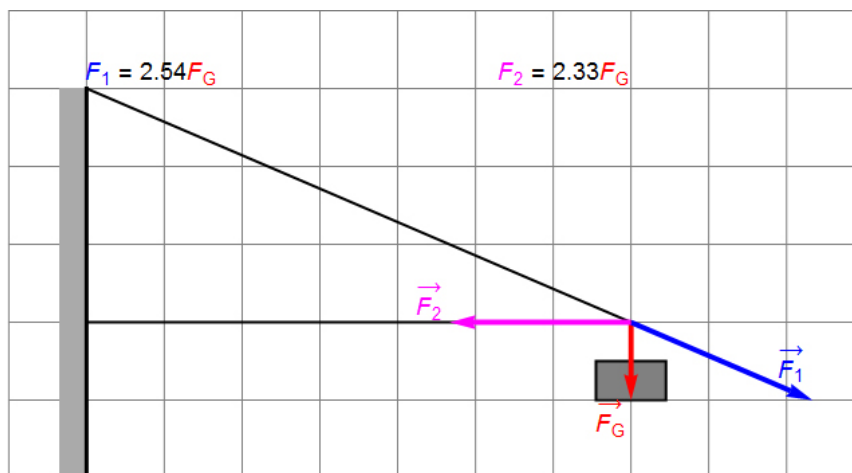
Dalším zařízením, které se často vyskytuje v praxi, jsou různé typy nosníků, které slouží jako držáky na police, květináče s květinami a další. Jedna z variant nosníku je zobrazena na obr. 52. Úkolem žáků je zakreslit síly, kterými jsou namáhány obě části konstrukce, a určit jejich velikosti v násobcích tíhové síly zavěšeného tělesa. Současně se musejí žáci vypořádat s tím, že úloha není zadána číselně, ale příslušné poměry stran je nutné vyčíst z obrázku (z jeho čtvercové sítě).



obr. 52

Rozklad sil je zobrazen na obr. 53; tíhová síla $\vec{F}_G$ musí být výslednicí sil $\vec{F}_1$ a $\vec{F}_2$, které působí v jednotlivých prutech nosníku. Vzhledem k tomu, že jeden nosník je kolmý ke směru tíhové síly, bude výpočet velikostí sil relativně jednoduchý. Vnitřní úhel α pravoúhlého

trojúhelníka u vrcholu, ve kterém se stýkají oba pruty konstrukce, lze určit z podmínky $\tan \alpha = \frac{3}{7}$ a tedy $\alpha = 23,2^\circ$. Velikost síly $\vec{F}_1$ lze určit z podmínky $\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha = \frac{F_G}{F_1}$, a tedy $F_1 = \frac{F_G}{\sin \alpha} = 2,54F_G$. Výpočet velikosti síly $\vec{F}_2$ lze provést buď pomocí Pythagorovy věty nebo opět s pomocí goniometrických funkcí. Platí $\cotg(90^\circ - \alpha) = \tan \alpha = \frac{F_G}{F_2}$, a tedy $F_2 = \frac{F_G}{\tan \alpha} = 2,33F_G$.



obr. 53

2.21 Podivná stavba ve Švýcarsku

Po levé straně (při jízdě z Bernu) švýcarské dálnice A1 leží ve vzdálenosti 73 km od Bernu vesnice Kolliken (GPS souřadnice 47,324831N; 8,011765E). I z automobilu nebo autobusu jedoucího po této dálnici je vidět poměrně atypická stavba, jejíž fotografie převzatá z 0 je zobrazena na obr. 54. Při detailnějším pohledu (viz obr. 55) je zřejmé, že konstrukce nad budovou drží na ocelových lankách střechu budovy. Proč taková je konstrukce nutná?



obr. 54

S využitím informací přímo od firmy Geschäftsführer Konsortium SMDK, která halu provozuje, je zřejmé, že se v hale skladuje nebezpečný chemický odpad. V hale, která má rozměry 170 metrů a 200 metrů, je trvale udržován podtlak vzhledem k atmosférickému tlaku proto, aby se ani při otevření dveří haly nedostávaly nebezpečné plynné odpady ven z haly.

Určete, jak velkou minimální silou jsou namáhána ocelová lanka konstrukce, je-li uvnitř haly udržován podtlak vůči atmosférickému tlaku 10 Pa - 14 Pa.



obr. 55

Velikost minimální síly určíme pro případ nižší hodnoty tlaku uvedeného intervalu. Vzhledem k tomu, že tlak lze určit ze vztahu

$$p = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

vypočítáme velikost síly pomocí vztahu $F = p \cdot S$. V souladu se vztahem (3) budeme počítat velikost síly, která působí kolmo na plochu o obsahu S , tj. velikost síly, kterou jsou svislá ocelová lanka zatěžována svisle. Budeme předpokládat, že střecha je vodorovná a má plochu $S = 170 \cdot 200 \text{ m}^2 = 34000 \text{ m}^2$. Velikost síly pak je $F = 10 \cdot 34000 \text{ N} = 340 \text{ kN}$.

Je nutné si uvědomit, že takto určená velikost síly je nutná pouze na to, aby lanka kompenzovala rozdíl tlaku uvnitř a vně haly. Vzhledem k tomu, že podtlak vůči atmosférickému tlaku může v hale dosahovat až hodnoty 14 Pa, může být velikost síly až 1,4krát vyšší - tj. až 480 kN. A to není brána v úvahu tíha samotné střechy, která může k výsledné síle přidat několik stovek kilonewtonů navíc.

2.22 Oprava Španělského sálu Pražského hradu

Ve čtvrtek 13. 8. 2020 odvysílala Česká televize v pořadu *Události* reportáž o opravě Španělského sálu na Pražském hradě (viz [6]). Aby se zabránilo šíření nebezpečných látek, které byly součástí původní podlahy, do okolí, pracovali dělníci v podtlakovém stanu.

Jaká je výhoda využití tohoto stanu při opravě sálu?

Proč byl stan malý a musel se po sále posouvat?

Proč pracovníci vstupovali do stanu přes dekontaminační komoru?

Určete plochu podlahy na základě údajů od mluvčího Správy Pražského hradu.

Stan byl použit proto, aby se nebezpečné látky obsažené v materiálu původní podlahy nešířily do okolí. Ve stanu byl udržován podtlak vůči okolnímu atmosférickému tlaku, čímž bylo zabráněno úniku látek do okolí.

Menší stan je jednodušší na výrobu a také na zajištění bezpečnosti. Jestliže je uvnitř udržován podtlak, na stan působí zvenčí tlaková síla, kterou musí kompenzovat konstrukce stanu. Při malých rozměrech stanu (tj. malých plochách, na které síla působí) je velikost této

Netradiční fyzikální úlohy, Jaroslav Reichl, SPŠST Panská, Praha, © 2016
síly (v souladu s definicí tlaku tekutin) malá. Při větších rozměrech stanu by velikost této síly vzrostla a její kompenzace by byla technicky náročnější.

V dekontaminační komoře byli pracovníci při výstupu očištěni od nebezpečných látek. Současně tato komora mohla sloužit i jako dekompresní komora, v níž byli pracovníci uzavřeni, vyrovnal se tlak s prostorem, do kterého pracovníci chtěli vstoupit, a poté do něj vstoupili. Nicméně vzhledem k trvalému udržování podtlaku uvnitř stanu to nebylo patrně zapotřebí. Hodnota podtlaku nebyla nebezpečná pro život pracovníků.

Na základě rozměrů podlahy 47 m a 24 m vychází plocha sálu 1128 m^2 . Reportér sice říkal „necelých 1300 metrů čtverečních“, ale do tvaru, o kterém mluvil mluvčí Správy Pražského hradu, nemusely být započítány různé výklenky, ...

2.23 Prsty ve vodě

V souvislosti s probíráním vztlakové síly a Archimedova zákona je velmi užitečné provést se žáky následující experiment. Na váhu položíme kádinku (nebo plastovou nádobu od potravin) naplněnou vodou několik centimetrů pod okraj. Je-li to možné, váhu vynulujeme (pokud ne, bude nutné si pamatovat údaj, který váha v tomto případě ukazuje, a později s ním pracovat). Žákům položíme otázku: Jaký údaj bude ukovat displej váhy, jestliže do nádoby ponoříme jeden prst tak, aby se nedotýkal dna nádoby? Nechceme slyšet přesný údaj, ale pouze to, zda displej bude ukazovat stále nulu nebo jiný údaj.



obr. 56



obr. 57

Poté, co vyslechneme odpovědi žáků, které bývají velmi různé, předvedeme příslušný experiment (viz obr. 56). Údaj na displeji se zvětší, což znamená, že na váhu působí další síla kromě tíhové síly nádoby s vodou. Co je to ale za sílu?

Opět necháme žáky chvíli přemýšlet a poté je případně návodnými otázkami nasměrujeme ke správné odpovědi. Na prst ponořený do vody působí vztlaková síla vody. Podle třetího Newtonova zákona ale musí působit i prst na vodu; a to stejně velkou ale opačně orientovanou silou, než je síla vztlaková. Displej váhy tak vlastně ukáže velikost vztlakové síly, kterou působí voda na prst. V této chvíli, když se žáky bavíme o údajích na displeji, je vhodné se domluvit, že v průběhu tohoto experimentu budeme používat slovní spojení „váha ukazuje sílu“, i když ve skutečnosti jsou údaje zobrazované na displeji udávány v gramech (tj.

Netradiční fyzikální úlohy, Jaroslav Reichl, SPŠST Panská, Praha, © 2016
pomocí váhy určujeme hmotnost těles). V rámci diskuse se žáky o tomto problému je to výrazně jednodušší.

Pokud ponoříme do nádoby dva prsty, zobrazí displej váhy dvojnásobný údaj, než ukázal v prvním kroku experimentu (viz obr. 57). Pochopitelně, že hodnota údaje na displeji váhy závisí na míře ponoření prstů, proto hodnota může být i mírně odlišná od přesného dvojnásobku resp. trojnásobku (při ponoření tří prstů) hodnoty z prvního kroku experimentu.

2.24 Vztlaková síla vrtulníku

V knize amerického spisovatele Dana Browna *Ztracený symbol* je téměř v závěru knihy i tato pasáž (citovaná podle [6]).

Nahoru! Do háje! Nahoru!

Pilot UH-60 zapnul rotory na rychloběh, aby zabránil styku ližin s rozměrným stropním oknem. Věděl, že ty více než dvě a půl tuny vztlaku, které působí dolů pod rotory, už takhle mohou sklo každým okamžikem roztržít. Bohužel svažitá střecha pyramidy pod vrtulníkem účinně odkláněla vztlakovou sílu do stran, čímž rotory okrádala o tah.

Nahoru! No tak!

Sklonil předek vrtulníku, aby popoletěl kousek stranou, jenže levá ližina uhodila do středu okna. Byl to jen okamžik, ale i to stačilo. Rozměrný okulus explodoval ve víru ostrých střepů, které se jako příválový déšť sesypaly do místnosti dole.

Hvězdy padají z nebes.

Na základě této ukázky mohou žáci diskutovat o několika problémech zmíněných v ukázce: Proč autor udává vztlakovou sílu v tunách? Proč měl pilot strach, že vztlaková síla rozbije okno pod vrtulníkem? Jak je možné, že *svažitá střecha pyramidy pod vrtulníkem účinně odkláněla vztlakovou sílu do stran*? Proč tím okrádala vrtulník o vztlak?

Vztlak resp. velikost vztlakové síly udávají piloti nebo námořníci v tunách (tj. jednotkách hmotnosti) proto, že se tento údaj snáze porovnává s hmotností dopravního prostředku (vrtulník, letadlo, loď), který pilot nebo námořník má řídit a udržet ve vzduchu resp. na vodě.

Na základě úlohy 2.23 je zřejmé, že vzduch působí na vrtulník vztlakovou silou resp. svisle vzhůru mířící tahovou silou. Ta je součtem vztlakové síly, která je dána objemem vrtulníku, a odporové vztlakové síly, kterou vytváří rotor vrtule. Stejně velkou silou, jako je velikost výsledné tahové síly, působí ale vrtulník na vzduch pod sebou. A ten působí na předměty pod ním - např. na sklo střešního okna budovy.

Pokud bude mít střecha tvar kupole, bude se síla, kterou působí vrtulník na vzduch, rozkládat do směrů daných konstrukcí kupole. A proto bude na vrtulník působit menší síla - část síly se nevyužije na pohyb vrtulníku směrem vzhůru.

2.25 Člověk v řece

V knize Wilbura Smitha *Řeka Bohů II: Sedmý pergamen* (viz [8]) je i následující pasáž:

Chvíli se nedělo nic a pak Nicholas uviděl, že se lano nad škvírou napíná. Pět silných mužů táhlo ze všech sil. Slyšel opakované héj rup, ale skála nemínila ustoupit.

„Rychlost volného pádu je asi dvě stě čtyřicet kilometrů za hodinu,“ počítal v duchu. „Při takové rychlosti se z vody stává beton. Já snad tak svižně nepoletím,“ utěšoval se.

Znovu pohlédl vzhůru. Muži stále zabírali a táhli, seč jim síly stačily. Ostrá kamenná hrana přežezala jeden pramen lana a ten se jako dlouhý zelený červ začal svíjet vzhůru.

„Přestaňte tahat!“ křičel Nicholas. „Zastavte!“ Ale Boris už nestál na okraji srázu, pomáhal ostatním.

Praskl druhý pramen a v kudrlinkách vystřelil nahoru za prvním. Nicholase držel pramen třetí a poslední.

„Povolí každým okamžikem,“ uvědomil si. „Borisi, ty hajzle zatracenej, přestaň tahat!“ Hlas k Rusovi nedoletěl. Se zvukem podobným výstřelu zátky šampaňského lano definitivně prasklo.

Nicholas padal dolů a nad hlavou mu svištěl konec provazu. Zvedl ruce, aby srovnal polohu těla a dopadl aspoň na nohy.

Vzpomněl si na skalní ostroh pod sebou. Spadne mimo, nebo mu rozeklaná rezavá skála rozdrť všechny kosti? Ani se neodvážil pohlédnout dolů. Také by se mohl ve vzduchu obrátit. Pád z takové výšky naplocho do vody by žebra a páteř asi těžko přečkaly vcelku.

Měl dojem, že zrychlení mu vyžene vnitřnosti z těla. Stačil se ještě nadechnout a byl ve vodě. Dopadl na nohy, a přesto byl náraz neuvěřitelně silný – páteř se přenesl až do hlavy, zuby mu hlasitě cvakly o sebe a v očích explodoval gejzír žhavých jisker. Řeka ho spolkla. Klesl hluboko a cítil, jak mu kamenité dno bolestivě vráží kyčelní klouby až do pánve. Kolena se mu podlomila. Měl dojem, že má zlámané obě nohy.

Náraz mu vyrazil dech, a teprve když ho šílená potřeba dýchat donutila odrazit se ode dna, uvědomil si, že má nohy v pořádku. Vynořil se, kašlal vodu a sípal. Napadlo ho, že ostrůvek musel minout o délku těla, ale teď už ho silný proud odnášel pryč.

Šlapal vodu a protíral si oči. Když byl konečně schopný vnímat, spěšně se rozhlédl. Skalní břehy ubíhaly šíleným tempem. „Pět metrů za sekundu, jestli ne víc,“ odhadoval rychlost vody. „Dost na zlámání kostí při nárazu na kámen.“ Zatímco mu myšlenky vířily hlavou, všiml si, že takřka na dosah ruky mívá velký balvan. Obrátil se na záda, nohy natáhl před sebe, aby se mohl od nečekané překážky odrazit.

Postupně si uvědomoval měnící se hlas řeky v kaňonu. Tlumený hukot narůstal, čím níže ho voda unášela. Břehy se k sobě přiblížily a proud reagoval na zúžený profil zrychlením. Hučení vody znělo v úzké skalní soutěsce jako rachot hromu.

Nicholas už nemohl déle čekat, ze všech sil plaval napříč řekou k nejbližší skalní stěně. Pokoušel se najít nějaký záchytný bod, nebo výstupek, kterého by se přidržel, ale skála byla téměř dokonale ohlazená a beznadějně mu klouzala pod rukama. Viděl, jak se hladina vody srovnává a uklidňuje, až připomínala lesklý povrch zrcadla. Jako by řeka cítila, co ji ve předu čeká.

Odstrčil se od skály, aby získal prostor k manévrování, a nohy natáhl před sebe. Voda se pod ním náhle propadla, ucítil narůstající sílu gravitace a jako padající list se začal točit ve vodním víru. Prostor všude kolem vyplňovala bílá neprůhledná vodní tříšť, až úplně ztratil orientaci. Pád trval nekonečně dlouho a jen tlak žaludku do žeber mu napovídal, že ještě pořád klesá. Dopad do provzdušněné vody byl měkčí, ale váha těla a rychlost pádu ho táhly do hloubky.

Nevěděl, kde je nahoře a kde dole, ale bojoval s vodním živlem, dokud se napůl udušený nedostal nad hladinu. S očima plnými vody viděl, že ho vír unáší pod vodopád. Ve velkolepém vířivém tanci se kolem otáčely a srážely masy vody.

Zpětný proud ho zanesl k boční stěně. Podařilo se mu zachytit se chomáče mechovitého kapradí, rostoucího z pukliny ve skále. Oči mu bezcílně bloudily po skalách, ale najednou se přece jen zastavily. Upoutalo ho něco, co bylo na přírodní útvar nezvykle pravidelné a uspořádané. Od vodní hladiny vedly kolmo vzhůru dvě řady tmavých značek a končily u horního okraje strže, vzdáleného dobrých šedesát metrů. Pustil trs kapradí a sunul se podél stěny k místu, kde značky vybíhaly z vody.

Když se dostal blíž, poznal, že jsou to výklenky vyhloubené ve skále. Dvě řady svislých otvorů od sebe byly vzdáleny na dvojnásobné rozpětí paží a nacházely se ve stejné výšce.

Když do jednoho strčil ruku, zjistil, že ji tam pohodlně zasune až po loket. Díry byly vykotlané a měly ohlazené okraje, jak je po léta zaplavovala voda, ale výše ve stěně si zachovaly původní tvar s poměrně ostrými a pravidelnými hranami.

Na základě ukázky zodpovězte následující otázky.

1. Vysvětlete postup, jakým Nick získal velikost rychlosti volného pádu. Proč určil právě tuto hodnotu?
2. Jak je nutné chápat Nickovu úvahu, že „při takové rychlosti se z vody stává beton“?
3. Proč Nick zvedl ruce při svém pádu vzduchem do vody? Vysvětlete. Proč chtěl dopadnout „alespoň na nohy“?
4. Jak souvisí velikost rychlosti, kterou se Nick ve vodě pohybuje, se zlámáním kostí při nárazu na kámen?
5. Proč se změnil zvuk řeky?
6. Jak poznal Nick podle „tlaku žaludku do žeber“, že stále padá vodopádem dolů?
7. Proč byl dopad do vody pod vodopádem „měkčí“?

Odpovědi na uvedené otázky jsou následující:

1. Velikost rychlosti volně padajících těles roste lineárně s časem, přičemž konstantou úměrnosti je velikost tíhového zrychlení:

$$v = g \cdot t. \quad (4)$$

Pád člověka v atmosféře lze pomocí volného pádu pouze modelovat. Ve skutečnosti se člověk pohybuje v prostředí, ve kterém působí odporové síly; jejich velikost navíc s rostoucí velikostí rychlosti pohybu roste. Proto za volný pád lze považovat pouze několik prvních sekund pohybu. Navíc s rostoucím časem roste kvadraticky vzdálenost, kterou padající těleso urazí:

$$s = 0,5 \cdot g \cdot t^2. \quad (5)$$

Kdyby se tedy Nick pohyboval volným pádem rychlostí o velikosti $240 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, pohyboval by se (dle vztahu (4)) z klidu již $t = \frac{v}{g} = \frac{67}{9,81} \text{ s} = 6,8 \text{ s}$. Za tu dobu by volným pádem urazil dle vztahu (5) vzdálenost $s = 0,5 \cdot 9,81 \cdot 6,8^2 \text{ m} = 227 \text{ m}$. Pád z takové výšky by ale člověk těžko přežil. Proto lze soudit na to, že Nick (resp. autor) měl takové zkušenosti z praxe, na základě kterých mohl učinit popsání odhad.

2. Při dopadu do vody narazí člověk na prostředí, které má ve srovnání se vzduchem řádově 1000krát vyšší hustotu. Proto je i 1000krát vyšší velikost odporové síly, která na člověka při prvním kontaktu bude působit. Velikost této síly tedy velmi rychle prudce vzroste a padající člověk má pocit, že narazil na tvrdou překážku. Velikost tíhové síly působící během pádu na člověka zůstává po celou dobu pádu stejná.
3. Nick zvedl ruce proto, aby stabilizoval tělo ve svislé poloze. Odporová síla působící při pádu na člověka bude nejnižší, jestliže bude mít člověk nejmenší příčný průřez (za jinak stejných podmínek). Proto se tělo ustálí ve svislé poloze. Dopad na nohy je lepší proto, že odporová síla vody při nárazu (viz odpověď na otázku 2) bude působit na nohy a ne na části těla, které jsou výrazně citlivější na poškození (měkká tkáň břicha, záda a páteř, hlava).
4. S rostoucí velikostí rychlosti člověka ve vodě roste i velikost síly, kterou bude při dopadu na překážku tato překážka na člověka působit. Vždy člověk o překážku svůj pohyb buď zbrzdí a nebo zastaví. Vyšší velikost rychlosti tedy bude znamenat větší velikost zrychlení při nárazu a tedy i podle druhého Newtonova zákona větší velikost působící síly.
5. Zvuk řeky se mění v závislosti na velikosti rychlosti proudění vody a následném vzniku vírů. A velikost rychlosti se mění ve shodě s rovnicí spojitosti v důsledku zužování nebo rozšiřování koryta řeky. Navíc popisovaný děj se odehrává ve skalách, od kterých je zvuk proudící řeky ještě několikanásobně odražen.

6. Při pádu vodopádem se nacházel Nick téměř ve volném pádu - při relativně malé výšce lze jeho pád považovat za volný pád (viz odpověď na otázku 1). Při volném pádu padají všechna tělesa se stejným tíhovým zrychlením, a proto tíha těles (zde působení žaludku na dolní část břicha) je nulová.
7. Voda pod vodopádem je hodně nasycená vzduchem, který je do vody pod vodopádem strháván padající vodou. V důsledku toho je průměrná hustota vody nižší, a tedy na člověka narážejícího do vody působí menší síla (viz odpověď na otázku 2).

2.26 Člověk pod vodou

V knize Wilbura Smitha *Řeka Bohů II: Sedmý pergamen* (viz [8]) je i následující pasáž:

Trčel ve vodě, intenzivně dýchal a snažil se do krevního oběhu napumpovat co největší množství kyslíku, aby vydržel pod vodou co nejdéle. Nakonec se nadechl, jak nejvíce mohl. S hrudníkem zvětšeným na maximum zajel po hlavě do vody jako kachna, nohy nechal trčet rovně nad hladinou, aby mu pomohly dolů.

Klouzal hlavou napřed, rukama se přidržoval skalní stěny a hledal další otvor. Našel ho a přitáhl se k němu, aby urychlil klesání.

Druhý výklenek dříve nahmatl, než uviděl, a využil ho stejným způsobem. Otvory od sebe byly vzdálené necelé dva metry, a tak mohl docela přesně sledovat, jak hluboko se potápí.

Plaval ještě hlouběji a našel další dva. Čtvrtý otvor se nacházel sedm metrů pod hladinou. Cítil, že tlak vody na ušní bubínky mu vyhání vzduch z Eustachovy trubice.

Klesal dál a objevil pátý otvor. Vzduch v plicích stlačený téměř na polovinu zmenšil vztlak vody, a tak mohl klesat snadněji a rychleji.

Nicholas měl oči otevřené dokořán, ale kromě stěny těsně před sebou neviděl nic. V té hloubce byla téměř tma. Zahlédl šestý výklenek, dosáhl na něj a zaváhal.

„Skoro jedenáct metrů pod vodou a dno nikde,“ pomyslel si. Kdysi soutěžil za armádní tým v lovu ryb oštěpem. Tehdy si dovilil sestoupit do osmnácti metrů a zůstat tam celou minutu, ale to byl mladší a ve vrcholné kondici.

„Ještě jeden, poslední,“ sliboval si, „a pak rychle nahoru za kyslíkem.“ V hrudi mu tlouklo bláznivě srdce a objevila se palčivá bolest, potřeba dýchat vzrůstala. Přitáhl se ke skále a vystartoval dolů.

Zahlédl nejasné obrysy sedmého výklenku.

„Směřuji až na samé dno,“ uvědomil si překvapeně. „Můj ty světe! Jak to Taita dokázal? Vždyť tenkrát neměli potápěčské vybavení.“ Na okamžik nejistě zaváhal, jestli má riskovat a potopit se ještě níž. Věděl, že se blíží hranici svých sil. Neovladatelné křečovitě cukání v hrudníku to neomylně napovídalo.

„Čert to vem! Proč nezkusit ještě jeden?“ Začínala se mu točit hlava a cítil podivnou euforii. Stále dokázal vnímat nebezpečí a pohlédl na svoje tělo. V temnu hlubiny sotva rozeznával vrásky a záhyby na kůži coby následek tlaku vody. Víc než dvě atmosféry svíraly jeho tělo a drtily mu hrudník. Nedostatečné okysličení mozku vyvolávalo pocit bezstarostnosti a nezničitelnosti.

„Ještě jednou do soutěsky, drazí přátelé,“ opilé myšlenky mu vyskakovaly v mysli. Vyrazil dolů.

„Osmička je naše číslo, doktore, to nám to vyšlo,“ pod prsty ucítil osmý otvor. Nesmyslné rýmy mu dál kroužily hlavou. „Šťastné číslo osmička, na talířku panička ...“

Když se otáčel k návratu, narazil nohama na dno. „Patnáct metrů,“ uvědomil si překvapivě jasně.

„Zůstals tu moc dlouho. Rychle nahoru. Musíš dýchat.“

Chystal se odrazit ode dna, ale cítil, jako by mu nohy sevřela neznámá síla.

„Chobotnice!“ zhrozil se. Vzpomněl si na řádek z Taitova textu na stěle. *Její vagina je chobotnice, která zhltnula krále.*

Pokusil se vymanit kopáním, ale nohy měl svázané chapadly podvodní příšery. Studené, záludné objetí ho uvěznilo. „Taitova chobotnice. Nebesa! On to mínil doslova. Dostala mě.“

Byl přibitý ke skále, zaskočený a bez pomoci. Opanovala ho hrůza a krev zdivočelá bláznivým tepem srdce ji roznesla po celém těle. Na chvíli dokázala vyhnat halucinace z mozku už dlouho okrádaného o kyslík. Došlo mu, co se vlastně stalo.

„Žádná chobotnice, tlak vody.“ Kdysi dříve zažil něco podobného. Jednou se při armádním výcviku potápěli poblíž náhonu do turbín elektrárny v Loch Arran. Společník, se kterým byl uvázaný na stejném laně, se dostal do blízkosti jejich nemilosrdného sání. Tlak vody ho doslova přepasíroval přes mříž přítokového hrdla. Z neoprénu mu jako dýky trčela polámaná žebra rozdrceného hrudníku. Nicholase zachránila před stejným osudem náhoda. V kritickém okamžiku se nacházel kousek stranou a to ho uchránilo před tlakem vody. Dva armádní potápěči měli co dělat, aby ho dostali ven. Tehdy si z toho odnesl jen polámanou nohu.

Nyní neměl ani vzduch, ani druhá s akvalungem, který by mu pomohl. Přisál ho úzký otvor ve skále, ústí podvodního tunelu.

Horní část těla měl volnou, ale nohy mu silný proud vody spoutával jako nemilosrdné okovy. Uvědomil si, že okolí otvoru je ostře ohraničené, rovné a hranaté jako překlad vysekaný z kamene. Proud ho čím dál tím víc vtahoval. Vztáhl ruce a snažil se bránit, jak mohl, ale zaťaté prsty mu beznadějně klouzaly po hladké skále.

„Má velkou sílu,“ napadlo ho, „ten se jen tak nepoddá.“ Znovu zaťal prsty do skály a cítil, že se mu lámou nehty, jak se marně snažil najít nějaký záchytný bod. Najednou mu prsty zapadly do posledního možného otvoru nad výpustí.

Konečně se měl čeho chytit. S rukama zaklíněnými ve škvíře se z posledních sil snažil vzdorovat tlaku vody. Zabral, až mu naběhly svaly na pažích a šlachy na krku se proměnily v ocelové provazy. Měl pocit, jako by mu každým okamžikem mělo něco prasknout v hlavě, ale cítil také, že se mu alespoň podařilo zastavit záludné vtahování do otvoru.

„Ještě jednou,“ burcoval vůli. „Ještě to zkus.“ Ale to bylo vše, co v něm zbylo. Neměl vzduch, opustila ho odvaha a rozhodnost. Vědomí zastřely temné stíny.

Kdesi uvnitř v zásobárně skrytých rezerv, kterou otevírá snad jen prozíravost, objevil nenadálou energii. Naposledy zabral, dokud temnotu v jeho hlavě neroztřehaly oslnující závoje jasných barev, meteorů a ohnivých kol. A táhl dál. Cítil, že síla vody polevuje a nohy zbavené okovů ho vystřelují vzhůru.

Pozdě. Ohňostroje zhasly, vystřídal je tma a vodopád mu hučel přímo v hlavě. Topil se. Nevěděl, kde je a kolik metrů mu ještě zbývá ke svobodě. Věděl jen, že to nedokáže. Nastal konec.

Nepoznal, že vyplaval na hladinu. A i kdyby to tušil, neměl už sílu zvednout hlavu a nadýchnout se. Ležel na vodě jako nasáklý dřevěný špalek a umíral. Vtom mu Royaniny prsty vjely do vlasů a studený vzduch ho udeřil do obličeje.

„Nicku!“ vykřikla. „Dýchej, proboha dýchej!“

Na základě uvedené ukázky zodpovězte tyto otázky:

1. Proč Nick před potopením se do vody intenzivně dýchal a nabíral do plic velké množství vzduchu?
2. Proč zmenšil okolní tlak vody Nickův vztlak?
3. Vyjádřete tlak, který Nick odhaduje na „více než dvě atmosféry“ v běžně používaných jednotkách tlaku.
4. V jaké hloubce se Nick podle hodnoty tlaku nacházel?
5. Vysvětlete příčinu vzniku tlaku vody, díky kterému se Nick nemohl dostat ze dna řeky.

Odpovědi na uvedené otázky jsou následující:

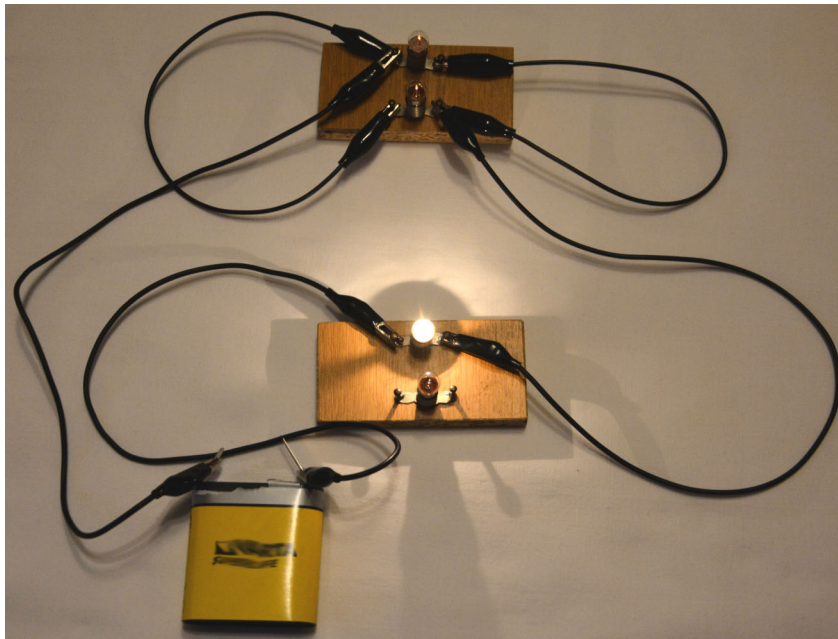
1. Nick chtěl, aby mu zásoba kyslíku vydržela co nejdéle a on se tak mohl potopit do co největší hloubky pod vodu.
2. Ve větší hloubce pod vodou působila na Nicka větší hydrostatická síla. Ta působí na těleso ponořené do kapaliny všemi směry a v případě lidského těla může zmenšit jeho objem - měkké tkáně (břicho, svaly, dutiny, ...) se částečně stlačí. Proto se zmenší i velikost vztlakové síly, která těleso ponořené do vody nadnáší.
3. Jedna atmosféra odpovídá normálnímu atmosférickému tlaku, tj. 101,325 kPa. Proto platí: 2 atm = 202,650 kPa.
4. Hloubku h lze určit na základě vztahu (1); pro hloubku h tak dostáváme:
$$h = \frac{p}{\rho \cdot g} = \frac{202650}{1000 \cdot 9,81} \text{ m} = 20,7 \text{ m}.$$
 Nickův odhad vzájemné vzdálenosti dvou výklenků a hydrostatického tlaku vody tedy nebyl zcela přesný.
5. Příčiny vzniku tlaku vody, díky kterému se Nick nemůže dostat ze dna, jsou dvojí. První je fakt, že Nick byl poměrně hluboko, a proto hydrostatický tlak i hydrostatická síla, který tento tlak vyvolává, nabývají velkých hodnot. Vzhledem k tomu, že hydrostatická síla zmenšila velikost vztlakové síly (viz odpověď na otázku 2), bylo obtížnější dostat se vzhůru. Druhou příčinou, proč se Nick nemůže dostat k hladině, je vznik podtlaku oproti okolnímu tlaku vody. Tento podtlak (ve shodě s Bernoulliho rovnicí) je dán relativně velkou rychlostí, kterou voda vytéká z tunelu.

3. Elektrina a magnetismus

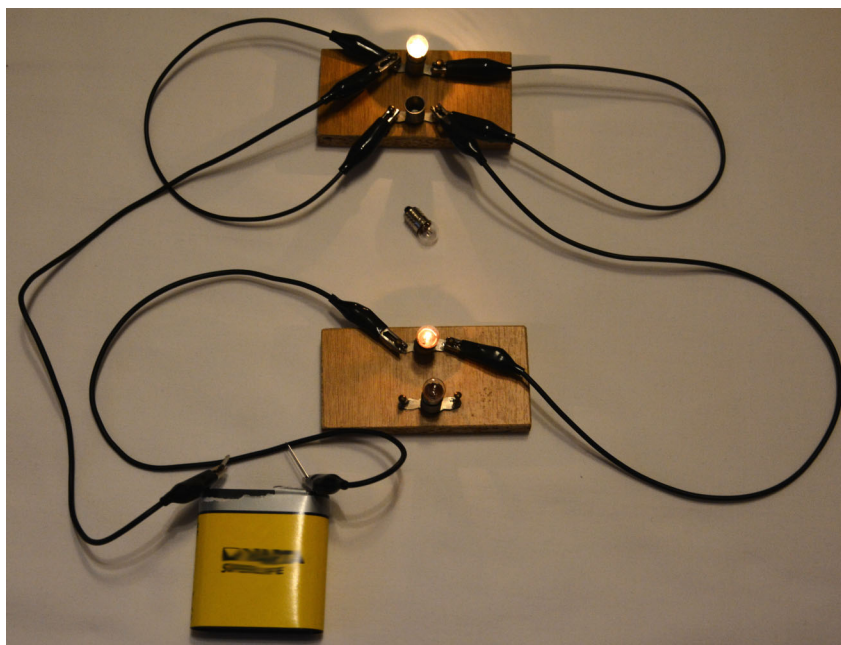
3.1 Elektrický obvod - vyšroubování žárovky

Na obr. 58 je zobrazen elektrický obvod tvořený dvěma paralelně spojenými žárovkami, k nimž je sériově připojena třetí. Všechny žárovky jsou stejné a jsou připojeny ke zdroji napětí. Jak se změní jas zbývajících žárovek v obvodu, jestliže jednu ze dvou paralelně zapojených žárovek vyšroubojeme?

Žáky necháme nejdříve o úloze přemýšlet, vyslechneme jejich odpovědi a poté změnu obvodu zrealizujeme (viz obr. 59). Je vidět, že původně paralelně zapojená žárovka svůj jas zvýší, zatímco žárovka zapojená původně sériově svůj jas sníží.



obr. 58

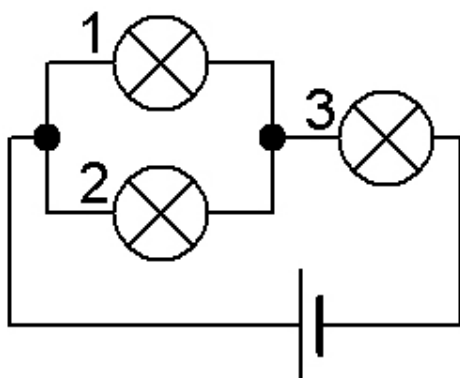


obr. 59

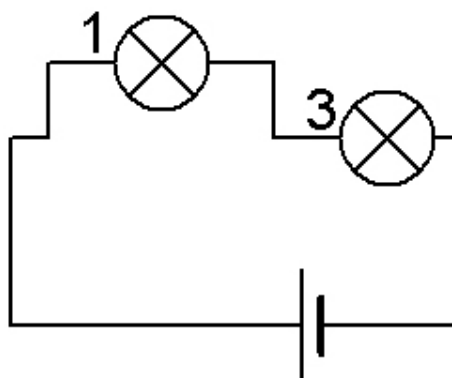
Před dalším vysvětlením je vhodné zakreslit schémata obou uvažovaných obvodů (viz obr. 60 a obr. 61). Schéma druhého obvodu je záměrně nakresleno tak, aby bylo jasné, z jakého místa obvodu byla odstraněna žárovka.

Pokud budeme považovat žárovky za elektrotechnické součástky s konstantním odporem (což v tomto případě lze), můžeme odpor každé z nich označit symbolem R . Původní obvod tak bude mít celkový odpor $1,5R$. Na žárovkách 1 a 2 bude stejné napětí,

protože jsou spojené paralelně. Napětí na žárovce 3 bude dvojnásobné ve srovnání s napětím na žárovkách 1 a 2, protože paralelně zapojené žárovky 1 a 2 mají výsledný odpor $0,5R$, zatímco odpor žárovky 3 je R . Ve shodě s prvním Kirchhoffovým zákonem ale žárovkou 3 poteče dvakrát větší proud, než žárovkou 1 a žárovkou 2. Proto bude žárovka 3 svítit jasněji.



obr. 60



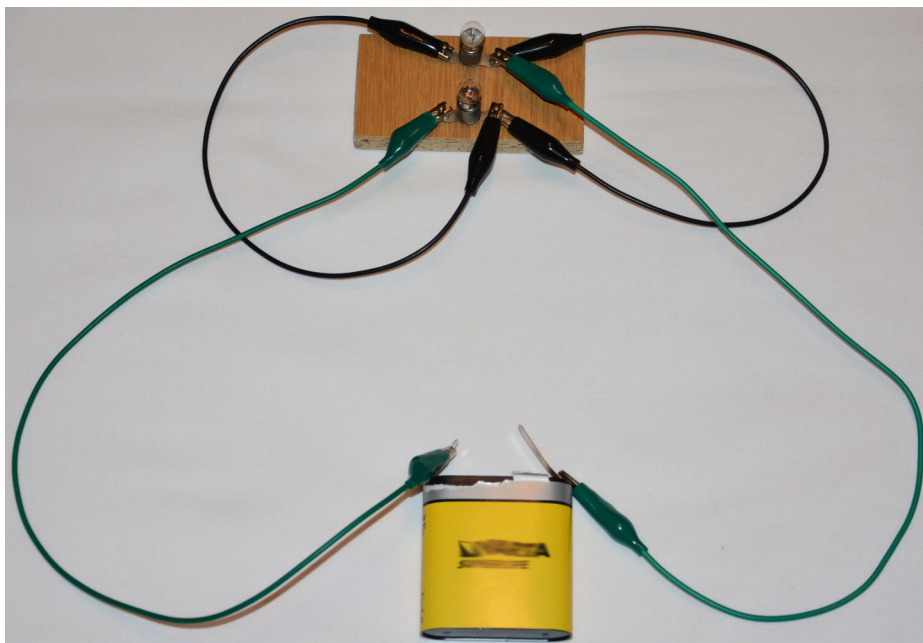
obr. 61

Po vyšroubování žárovky číslo 2 budou žárovky 1 a 3 zapojeny sériově. Celkový odpor obvodu proto bude $2R$. Proto obvodem (při stejném napětí zdroje jako v prvním případě) poteče menší proud, než tekla žárovkou 3 v prvním případě. Žárovka 3 tedy bude svítit méně jasně, než svítila v prvním případě. Žárovkou 1 poteče stejný proud, jako teče žárovkou 3; ten bude přitom větší, než byl elektrický proud tekoucí žárovkou 1 v prvním případě. Proto se jas této žárovky zvýší. Obě žárovky tak budou svítit stejně.

Tato úloha je zajímavá i tím, že poté, co z obvodu vyšroubujeme jednu žárovku, která má určitý nenulový odpor, celkový odpor obvodu vzroste.

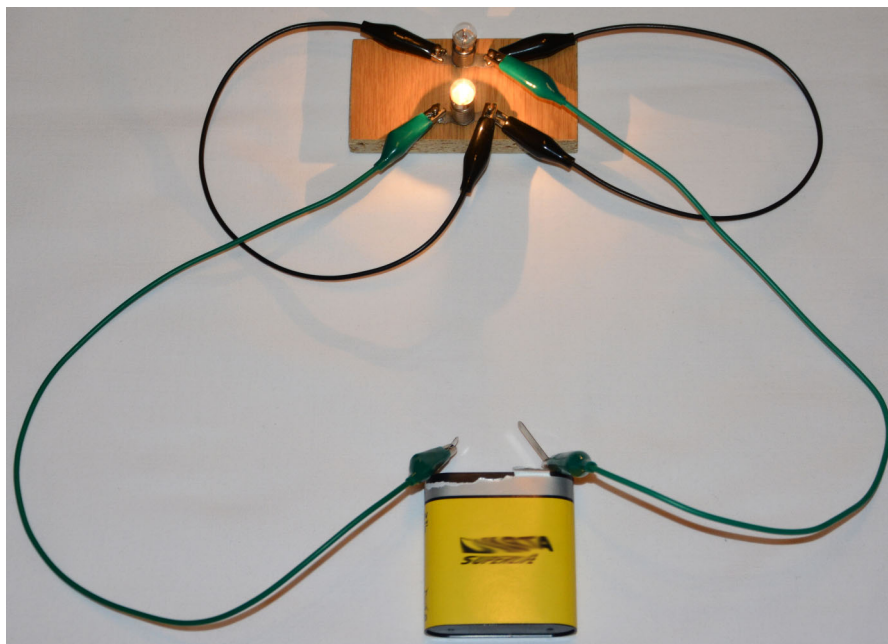
3.2 Elektrický obvod - svítící žárovky I.

Na obr. 62 je zobrazen elektrický obvod. Jak budou svítit zapojené žárovky, pokud obvod připojíme ke zdroji napětí?

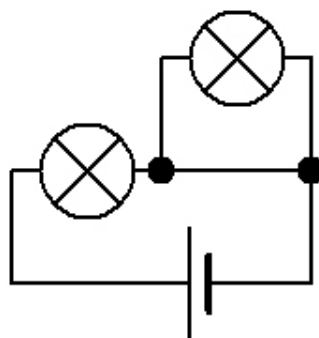


obr. 62

Ve shodě s Kirchhoffovými zákony bude elektrický proud procházet pouze žárovkou, která je obr. 62 zobrazena níže (viz obr. 63). Druhá žárovka je totiž připojena k potenciálovému rozdílu 0 V - oba vývody patice žárovky jsou připojeny do stejného místa obvodu a mají tedy stejný potenciál (zanedbáme-li odpor spojovacích vodičů). Proto většina elektrického proudu prochází vodičem, kterým jsou oba vývody patice žárovky spojené (na obr. 62 je to černý vodič spojující pravý vývod dolní žárovky s pravým vývodem horní žárovky) a ne horní žárovkou.



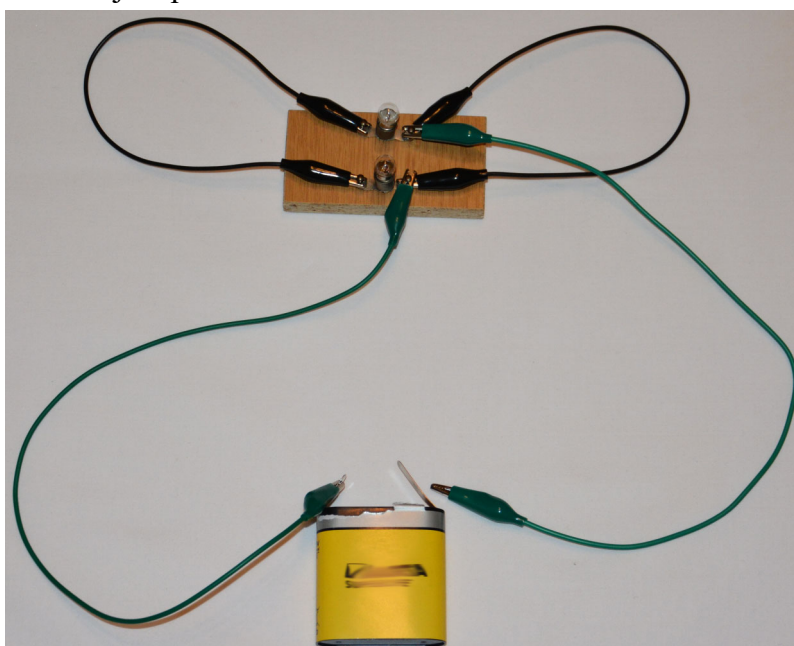
obr. 63



obr. 64

3.3 Elektrický obvod - svítící žárovky II.

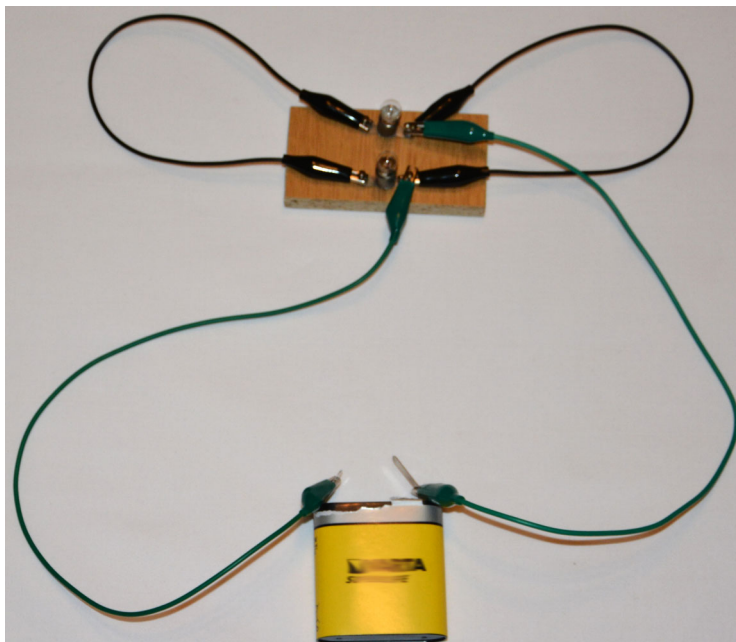
Na obr. 65 je zobrazen elektrický obvod. Jak budou svítit zapojené žárovky, pokud obvod připojíme ke zdroji napětí?



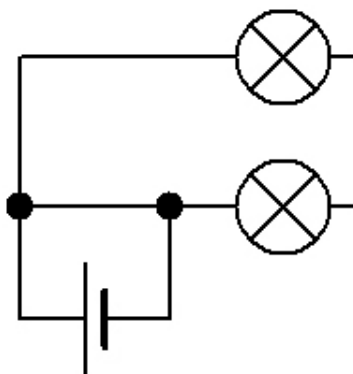
obr. 65

Po připojení sestaveného obvodu ke zdroji napětí, nebude svítit ani jedna žárovka (viz obr. 66). Důvodem je způsob zapojení elektrického obvodu. Při detailnějším pohledu na zapojený obvod zjistíme, že zdroj napětí je vlastně zapojeným obvodem zkratován (pokud zanedbáme odpory spojovacích vodičů). Proto ve shodě s Kirchhoffovými zákony protéká elektrický proud pouze tou částí obvodu, v níž nejsou zapojeny žárovky; v obvodu na obr. 65 resp. obr. 66 je to část obvodu tvořena vodičem vycházejícím z jedné svorky zdroje napětí, vodičem spojujícím vývody dvou různých patic žárovek a vodičem uzavírajícím obvod do druhé svorky zdroje napětí.

Schéma tohoto obvodu je zobrazeno na obr. 67.



obr. 66



obr. 67

3.4 Realizace logických spojek

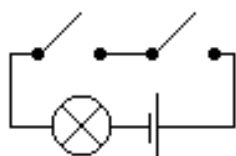
Navrhněte schéma elektrických obvodů, které budou simulovat jednotlivé logické spojky používané v digitální technice: AND, OR, NAND, XOR a INVERTOR. Vypínače (resp. spínače) budou představovat vstupní proměnné, žárovka bude realizovat výstupní proměnnou; pravdivostní hodnoty daných logických spojek jsou uvedeny v tab. 1. Následně příslušné obvody sestrojte a demonstруйте jejich činnost. Diskutujte nutnost zapojení další součástky do elektrického obvodu.

Schémata jednotlivých uvažovaných obvodů jsou zobrazena na obr. 68 až obr. 72.

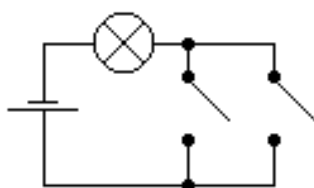
Obvody, jejichž schémata jsou zobrazena na obr. 70 a obr. 72, nebudou ve skutečnosti fungovat přesně tak, jak odpovídá daným logickým spojkám. Důvodem je, že v některých stavech obvodu je zkratován zdroj napětí. Proto je nutné zapojit do obvodu ochranný rezistor.

A	B	A AND B	A OR B	A NAND B	A XOR B	INVERTOR A
0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	0
1	1	1	1	0	0	0

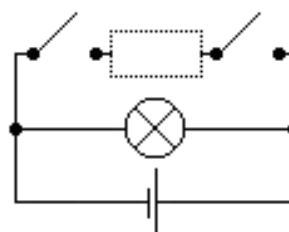
tab. 1



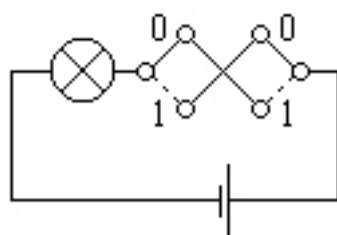
obr. 68



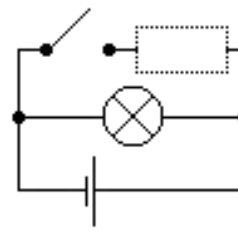
obr. 69



obr. 70



obr. 71



obr. 72

3.5 Výpočet odporu a elektrického proudu

V úterý dne 2. 8. 2016 byla odvysílána v rámci pořadu *Události* na programu ČT1 reportáž o výměně vodičů v úseku nedaleko města Jihlava (viz [9]). Na základě zhlédnutí této reportáže vyřešte následující úlohy.

1. Je správné tvrzení moderátora Václava Kubaly, „že vodiče nestačily svou kapacitou“? Vysvětlete.
2. Proč se snaží montéři dávat na sloupy co největší úseky vodičů bez přerušení a bez svorek?
3. Určete průměrnou hustotu materiálu, z něhož jsou vodiče vyrobeny. Diskutuje získaný výsledek.
4. Je správně věta mluvčího společnosti, že „vodiči poteče 110000 voltů“? Vysvětlete.
5. Vypočítejte celkový odpor celého úseku vyměňovaného elektrického vedení.
6. Vypočítejte hodnotu elektrického proudu, který teče vodiči.

Řešení zadaných úloh jsou následující:

1. Správně by měl moderátor hovořit o parametrech vodiče, které nebyly vhodné k přenosu rostoucího elektrického proudu. Kapacita vodiče sice má smysl, ale v tomto případě bylo moderátorem zvoleno slovo, které je sice intuitivně jasné laické veřejnosti (elektrické vedení bylo poddimenzováno), ale současně má fyzikálně zcela jiný význam.
2. V místech, kde se vodiče spojují, mohou vznikat různé nežádoucí jevy, které zvyšují odpor vedení, a tím i ztrátový výkon vedení. Jedná se o zvětšený přechodový odpor mezi jednotlivými částmi vodiče, o případné sršení elektřiny v důsledku nekvalitního spoje, mohou nastat též drobné elektrické výboje a další parazitní jevy. Proto se snaží montéři dávat na sloupy co největší úseky vodiče bez jeho přerušení.

3. Na základě reportáže víme, že vodič má průměr 3 cm a jeden metr jeho délky má hmotnost 1,5 kg. Proto lze hustotu vodiče, který lze považovat za válec, určit s využitím vztahu

$$\rho_v = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi \frac{d^2}{4} v} \quad (6)$$

Po dosazení pak dostaneme: $\rho_v = 4 \frac{1,5}{3,14 \cdot 0,03^2 \cdot 1} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 2123 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Podle reportáže

jsou vodiče hliníko-ocelové, takže by průměrná hustota měla mít hodnotu mezi hustotou hliníku a oceli, tj. v intervalu $(2700; 7800) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Vypočtená hodnota hustoty naznačuje, že buď jsou reportérovy údaje nepřesné, nebo vodič obsahuje další části s hustotou výrazně nižší, než je uvedený interval hustot. Vodiče mohou obsahovat různé tmely, kterými drží jednotlivá lanka u sebe, mezi lanky může být vzduch, ...

4. Věta správně z fyzikálního hlediska není. Vodiči poteče elektrický proud v důsledku rozdílu potenciálů na krajích vodiče (tj. vodič bude připojen k napětí 110 kV).
5. Elektrický odpor lze určit na základě vztahu

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{\pi \frac{d^2}{4}} \quad (7)$$

kde ρ je v tomto případě měrný odpor. Vzhledem k tomu, že (dle slov reportéra) jsou vodiče hliníko-ocelové, budeme muset znát měrný odpor těchto materiálů. Ve středoškolských tabulkách lze nalézt tyto hodnoty: $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ a $\rho_{\text{ocel}} \in (10; 20) \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Pro výpočet použijeme tedy „průměrnou“ hodnotu

$\rho_{\text{Al}} = \frac{2,7 + 15}{2} \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} = 8,85 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \approx 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$. Dosazením hodnot z reportáže do

vztahu (7) získáme hledaný odpor $R = 4 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 18000}{3,14 \cdot 0,03^2} \Omega = 5 \Omega$ (počítáme odpor

vedení z elektrárny ke spotřebiči, proto je v čitateli zlomku činitel 2). Hodnota odporu vychází na první pohled velmi malá, ale při daných parametrech je řádově dobře. Pokud bychom uvažovali vodič rozdělený n vodivých vláken, odpor jednoho vlákna by se sice zvýšil, ale výsledný odpor n paralelně spojených těchto vláken by byl stejný jako výše vypočtený odpor.

6. Elektrický proud I určíme na základě vztahu

$$I = \frac{U}{R} \quad (8)$$

Po dosazení dostaneme $I = \frac{110000}{5} \text{ A} = 22000 \text{ A}$. Elektrický proud ale také můžeme vypočítat na základě výkonu P , který je z elektrárny přenášen. V tom případě platí

$$I = \frac{P}{U} \quad (9)$$

Jihlava bude pravděpodobně připojená k jaderné elektrárně Dukovany, jejíž výkon je přibližně 2000 MW. Proto elektrický proud podle vztahu (9) vychází

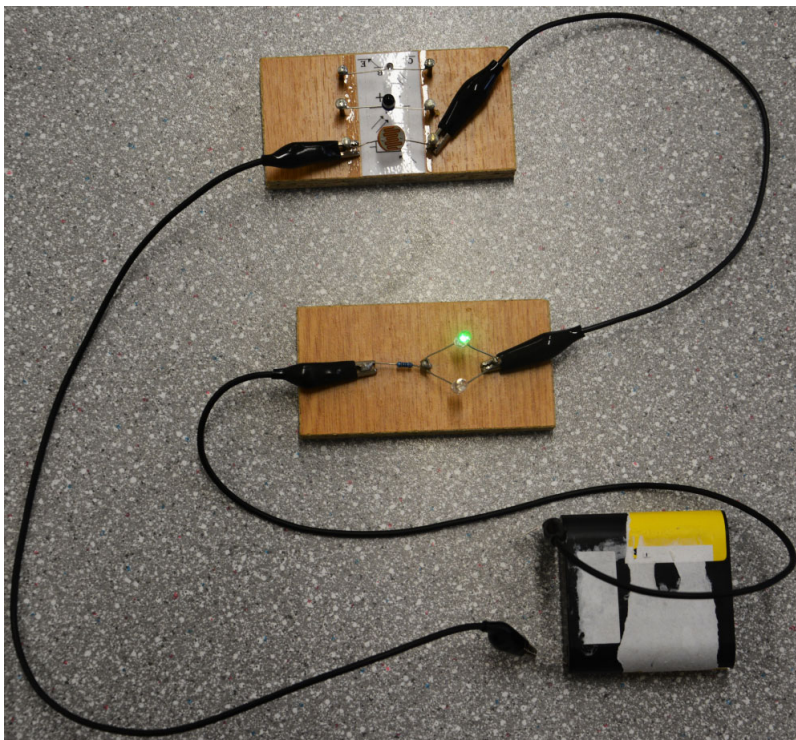
$I = \frac{2 \cdot 10^9}{110 \cdot 10^3} \text{ A} \approx 18000 \text{ A}$, což je ve shodě s výsledkem získaným na základě vztahu (8).

3.6 Činnost fotorezistoru

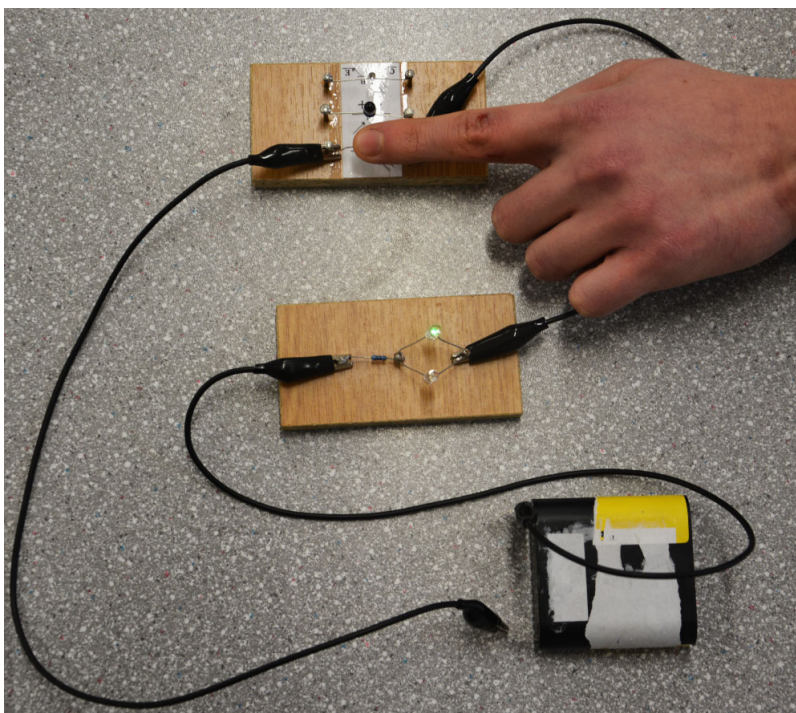
Zrealizujte experiment, kterým bude možné demonstrovat činnost fotorezistoru.

Nejjednodušší experiment spočívá v tom, že fotorezistor připojíme k ohmmetru a změnou osvětlení aktivní plošky fotorezistoru budeme měnit jeho odpor. (Podobný experiment je popsán v odstavci 3.7 s termistory.)

Dalším experimentem je sestavení obvodu, ve kterém bude sériově spojen fotorezistor, LED a ochranný rezistor a celý obvod bude připojen ke zdroji napětí - viz obr. 73. Jak je patrné, při běžném osvětlení aktivní plošky fotorezistoru LED svítí. Jestliže ale fotorezistor zakryjeme např. prstem (viz obr. 74), jas svitu LED poklesne. Zakrytím fotorezistoru se zvětšil jeho odpor, obvodem tak procházel menší elektrický proud, a proto jas svitu LED poklesl.



obr. 73



obr. 74

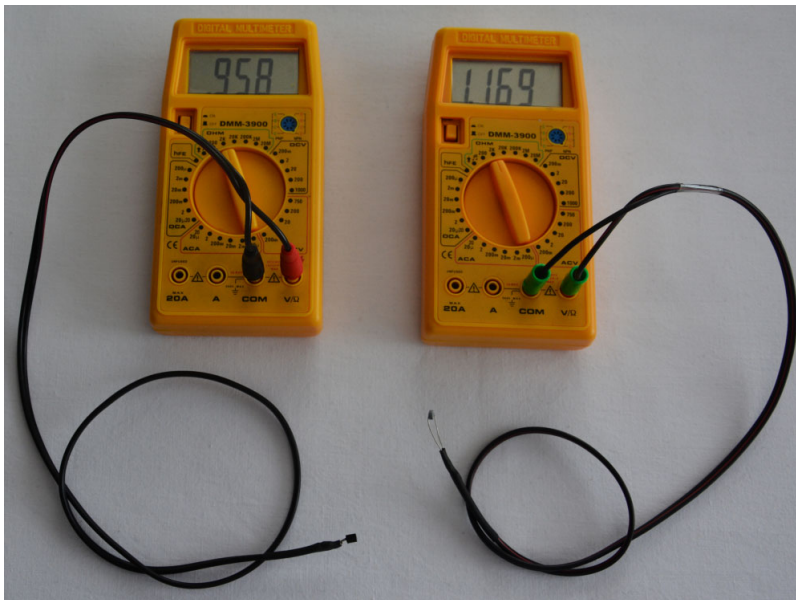
Princip činnosti fotorezistoru vyplývá z fotoelektrického jevu (viz [14]).

3.7 Činnost termistoru

Navrhněte experiment, kterým ukážete činnost obou typů termistorů.

Nejjednodušší experiment lze zrealizovat tak, že termistory obou typů připojíme k ohmmetrům a určíme jejich odpor při pokojové teplotě (viz obr. 75). Pak připravíme do vhodné nádoby horkou vodu, termistory do ní ponoříme a naměříme opět jejich odpor (viz obr. 76). Z obou fotografií je zřejmé, že jeden typ termistoru v teplé lázni zvýšil svůj odpor, zatímco druhý typ termistoru ve stejné lázni svůj odpor zmenšil.

Analogický výsledek bychom dostali, pokud bychom termistory ponořili do ledové tříště; pouze by se odpor změnil opačně, než v experimentu s horkou vodou.



obr. 75



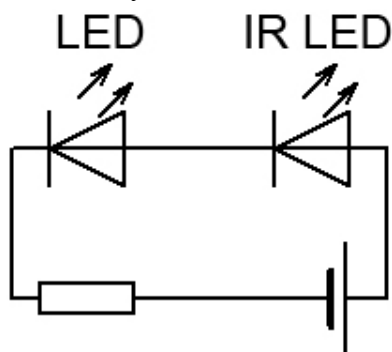
obr. 76

Další variantou experimentu je využít podobný obvod, jaký je popsán v odstavci 3.6 věnovaném činnosti fotorezistoru.

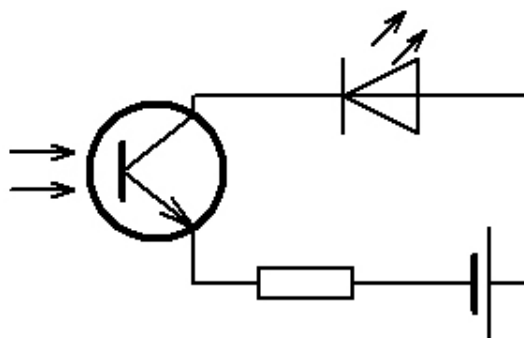
3.8 Činnost tranzistoru

Demonstrujte princip činnosti fototranzistoru.

Činnost fototranzistoru lze demonstrovat např. pomocí dvou elektrických obvodů, jejichž schémata jsou zobrazena na obr. 77 a obr. 78. V obvodu, jehož schéma je zobrazeno na obr. 77, je k LED vyzařující infračervené elektromagnetické záření (dále jen IR LED) připojena běžná LED, která má pouze detekční funkci - informuje o tom, že obvodem prochází elektrický proud. V obvodu, jehož schéma je zobrazeno na obr. 78, je zapojen tranzistor citlivý na infračervené záření.

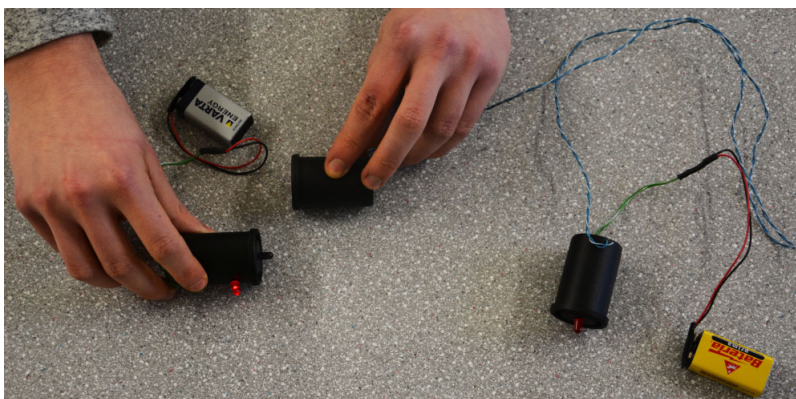


obr. 77

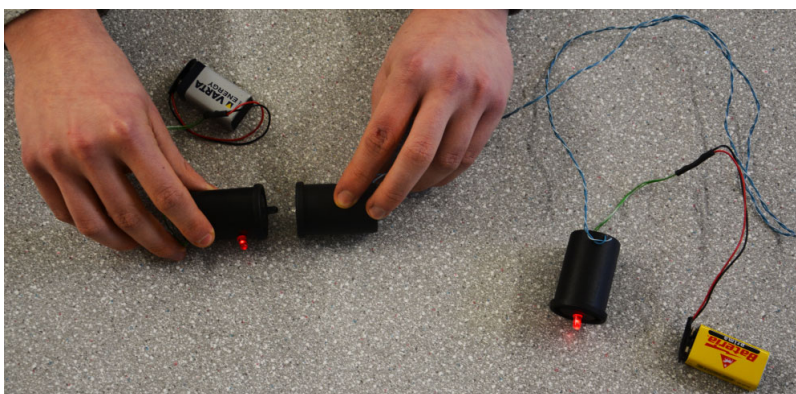


obr. 78

Oba obvody sestavíme a IR LED umístíme do blízkosti fototranzistoru (viz obr. 79) ale tak, aby záření emitované IR LED nedopadalo do fototranzistoru. LED připojená sériově k fototranzistoru nesvítí. Pokud bude záření emitované IR LED dopadat na fototranzistor (viz obr. 80), LED připojená sériově k fototranzistoru bude svítit.



obr. 79



obr. 80

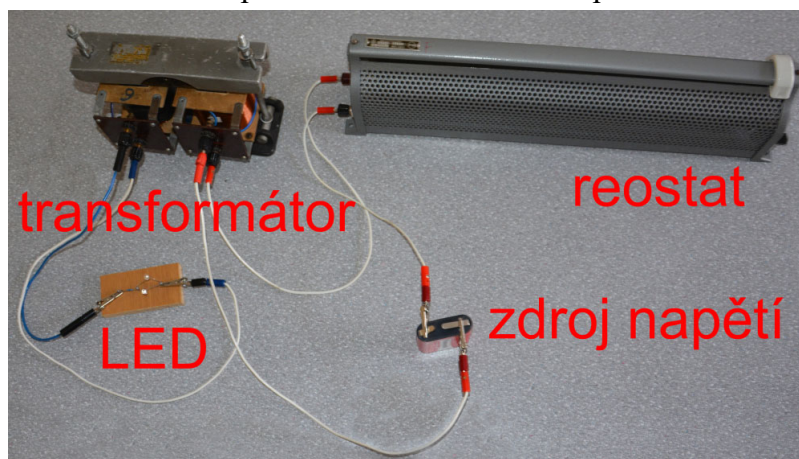
V důsledku ozáření průhledného okénka fototranzistoru, klesl jeho odpor a obvodem začal procházet větší elektrický proud, který stačil na rozsvícení LED. Změna odporu vlivem dopadajícího elektromagnetického záření je dána fotoelektrickým jevem (viz [14]).

Popsaným experimentem současně demonstrujeme i šíření lidským okem neviditelného elektromagnetického záření vzduchem a jeho detekci fototranzistorem.

3.9 Činnost transformátoru

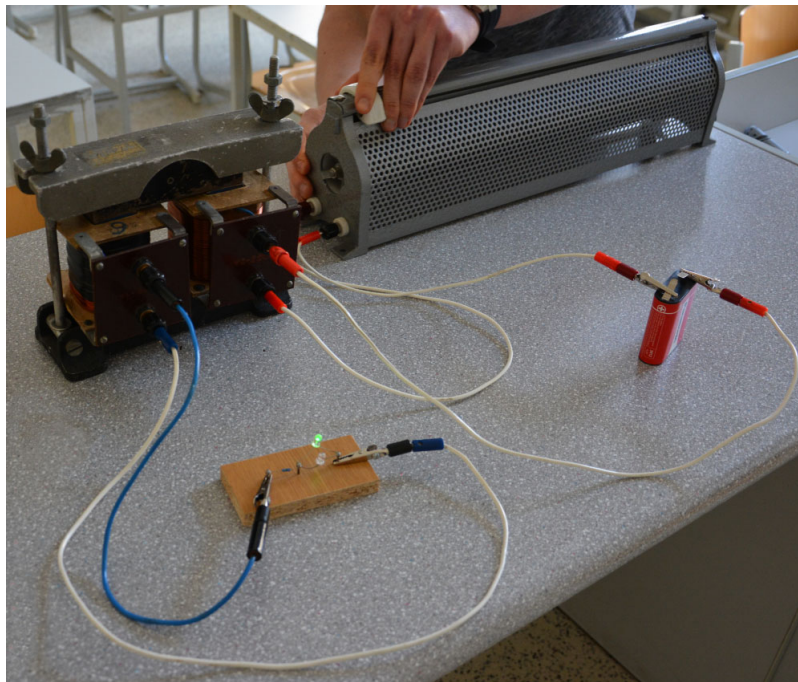
Je možné, aby byl primární obvod transformátoru připojen ke stejnosměrnému zdroji napětí a přesto sekundárním obvodem transformátoru tekla elektrický proud?

Na první pohled se zdá, že stejnosměrný zdroj napětí nemůže vytvořit proměnný elektrický proud, který bude vytvářet proměnné magnetické pole nutné pro elektromagnetickou indukci napětí v sekundárním vinutí transformátoru. Pokud ovšem do primárního obvodu zařadíme reostat (viz obr. 81), bude možné změnou jeho odporu vytvořit proměnný elektrický proud v primárním vinutí transformátoru, a tedy i proměnné magnetické pole v jádře transformátoru nutné pro indukci elektrického napětí v sekundárním obvodu.



obr. 81

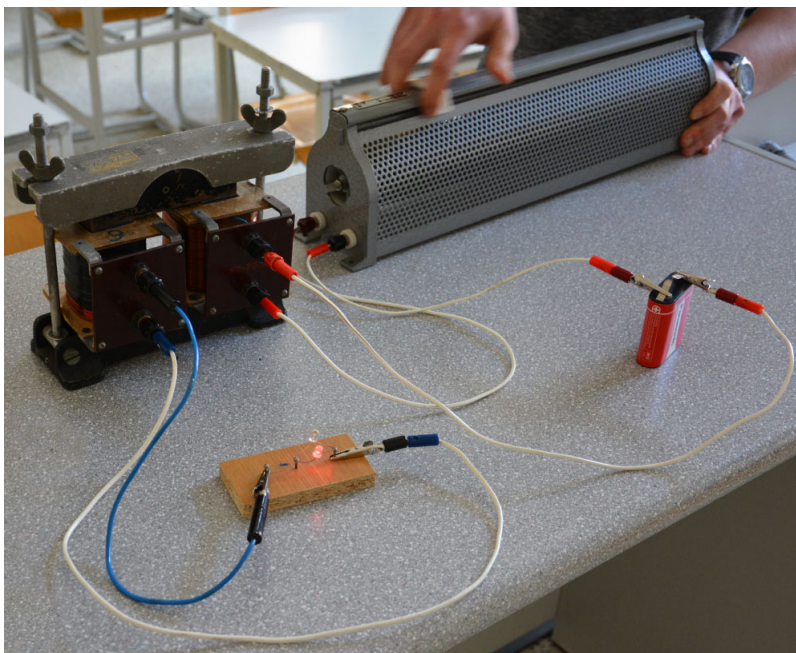
V prvním kroku experimentu budeme odpor reostatu snižovat (viz obr. 82). Tím se bude měnit hodnota proudu v primárním obvodu transformátoru a v důsledku toho bude sekundárním obvodem procházet elektrický proud. LED zapojená v sekundární části obvodu se proto rozsvítí.



obr. 82

Ve druhém kroku experimentu budeme odpor reostatu zase zvětšovat (viz obr. 83). Primárním vinutím transformátoru tak bude opět procházet proměnný elektrický proud, a proto se bude indukovat elektrické napětí v sekundárním vinutí. LED zapojená v sekundárním obvodu se proto i nyní rozsvítí. Vzhledem k tomu, že byly k experimentu použity dvě antiparalelně zapojené LED, rozsvítí se nyní druhá LED, než v prvním kroku experimentu. To znamená, že ve srovnání s prvním krokem experimentu prochází nyní sekundárním vinutím

Netradiční fyzikální úlohy, Jaroslav Reichl, SPŠST Panská, Praha, © 2016
elektrický proud opačným směrem. A to je ve shodě s Lenzovým zákonem - směr elektrického proudu je takový, že tímto proudem vytvořené magnetické pole působí proti změně magnetického pole, která indukovaný proud vyvolala.

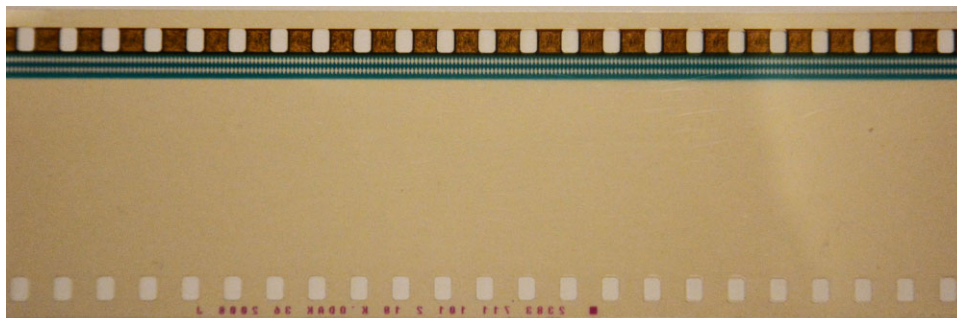


obr. 83

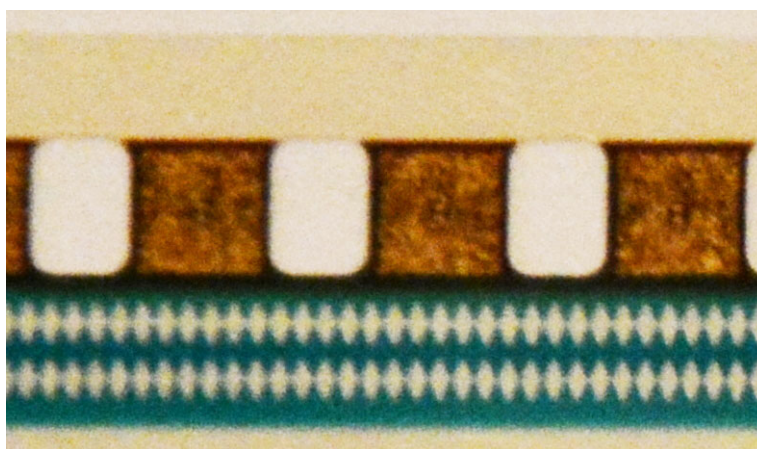
4. Mechanické kmitání, vlnění a akustika

4.1 Záznam zvuku na filmu

Na obr. 84 je zobrazen filmový pás, na kterém je nahrán pouze zvukový záznam jednoduchého tónu pořízený optickou cestou s využitím technologie cyan. Jakou frekvenci má zaznamenaný zvuk? Detail snímku je zobrazen na obr. 85.



obr. 84



obr. 85

Na filmovém pásu jsou umístěna jednotlivá obrazová pole podélně a na každé z nich připadá osm perforačních otvorů. V klasické kinematografii se filmový pás přehrává tak, že za jednu sekundu se promítne 24 snímků. Pokud tedy budeme znát počet vln, které připadají na zobrazeném filmovém pásu na vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími perforačními otvory, budeme schopni spočítat frekvenci zaznamenaného zvuku.

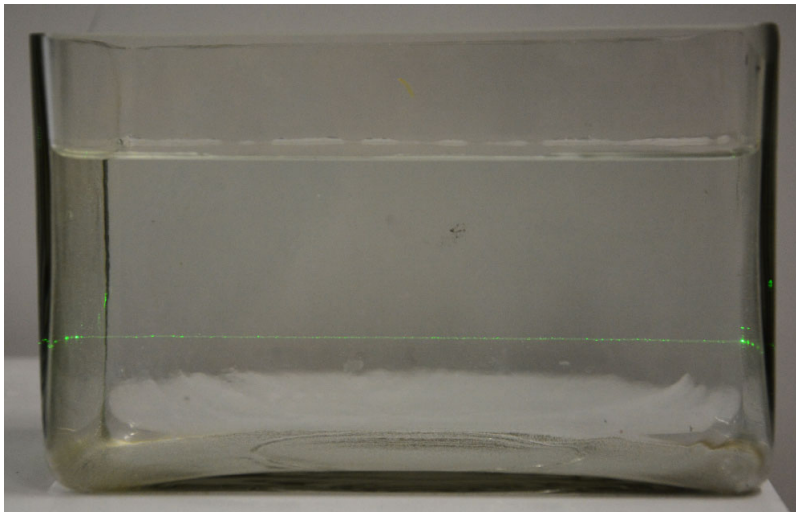
Počet půlvln mezi dvěma sousedními perforačními otvory je 11; počet vln tedy je 5,5. Frekvenci zaznamenaného zvuku lze nyní určit poměrně snadno: $f = 5,5 \cdot 8 \cdot 24 \text{ Hz} = 1056 \text{ Hz}$. Vzhledem k jisté nepřesnosti určení počtu půlvln připadajících na vzdálenost mezi dvěma sousedními perforačními otvory lze soudit, že na filmovém pásu je zaznamenán zvuk s frekvencí 1000 Hz.

5. Optika

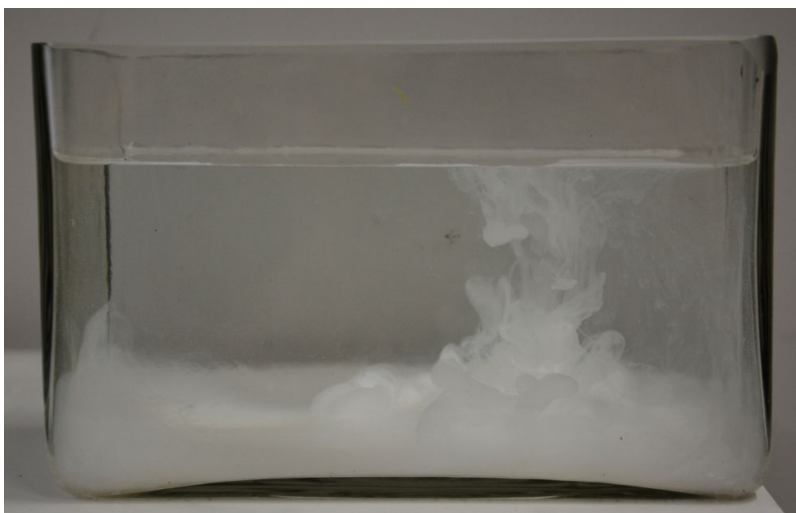
5.1 Šíření světla

Jak je možné zviditelnit trajektorii světelného paprsku?

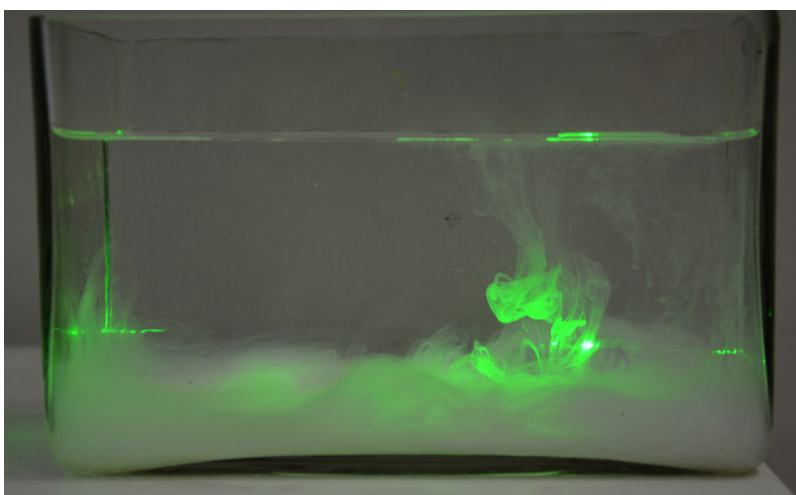
Na obr. 86 je zobrazeno akvárium, kterým se šíří (rovnoběžně se dnem akvária) světelný paprsek z LASERu. Světelný paprsek ale není mimo akvárium vidět - je vidět pouze ve vodě. Jak je to možné?



obr. 86



obr. 87



obr. 88

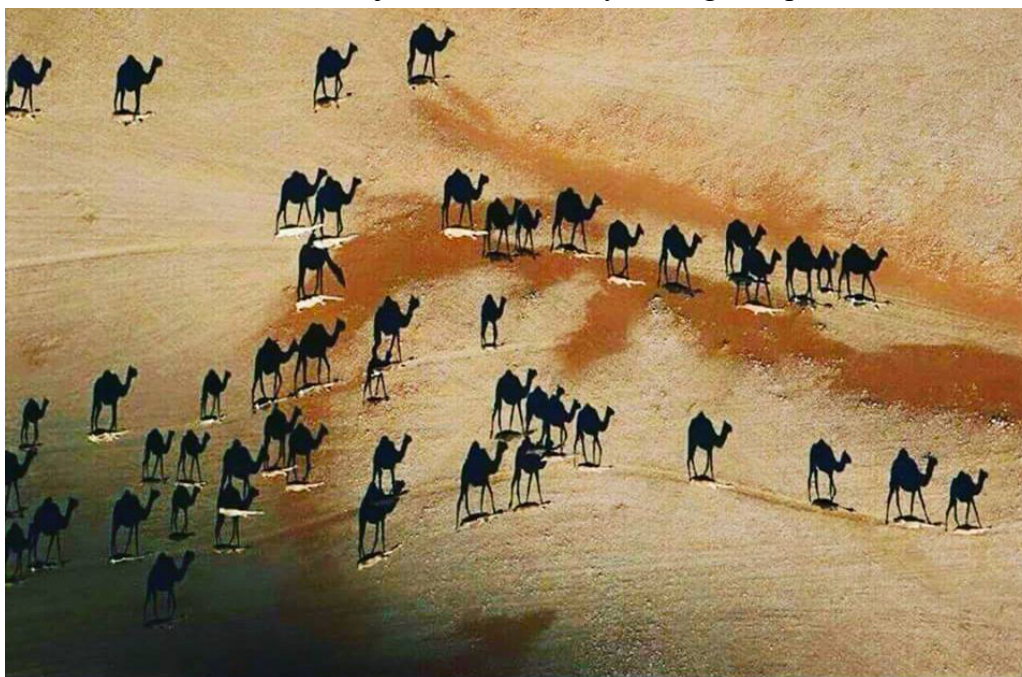
Aby bylo možné jakýkoliv předmět vidět, je nutné, aby tento předmět buď sám vyzařoval světlo, nebo světlo odrážel. Pokud tedy prochází světelný paprsek čistým prostředím (vzduch), světlo není rozptylováno, ani se od žádných překážek neodráží, a proto se šíří přímočaře od svého zdroje a do oka pozorovatele (který stojí v rovině kolmé k šíření světla) světlo nedopadá.

Ve vodě již nastává částečně rozptyl světla, a proto se část světla šíří všemi směry - a tedy i do oka pozorovatele.

Pokud chceme popsany rozptyl zlepšit, stačí do vody přilít trošku mléka (viz obr. 87), ve vzduchu vytvořit dým, ... Na těchto částicích se bude světlo výrazně rozptylovat a bude se šířit i mimo svůj původní směr. Pozorovatel stojící v libovolném směru vzhledem k šíření světla tak světelný paprsek uvidí, případně uvidí nehomogenity vytvořené v původně čistém prostředí zabarvené tou barvou, kterou má šířící se světelný paprsek (viz obr. 88).

5.2 Světlo a stín

Na obr. 89 je zobrazena fotografie pořízená v poušti v Saudské Arábii. Popište, co je na fotografii zobrazeno? Odhadněte, v jaké denní době byla fotografie pořízena?



obr. 89

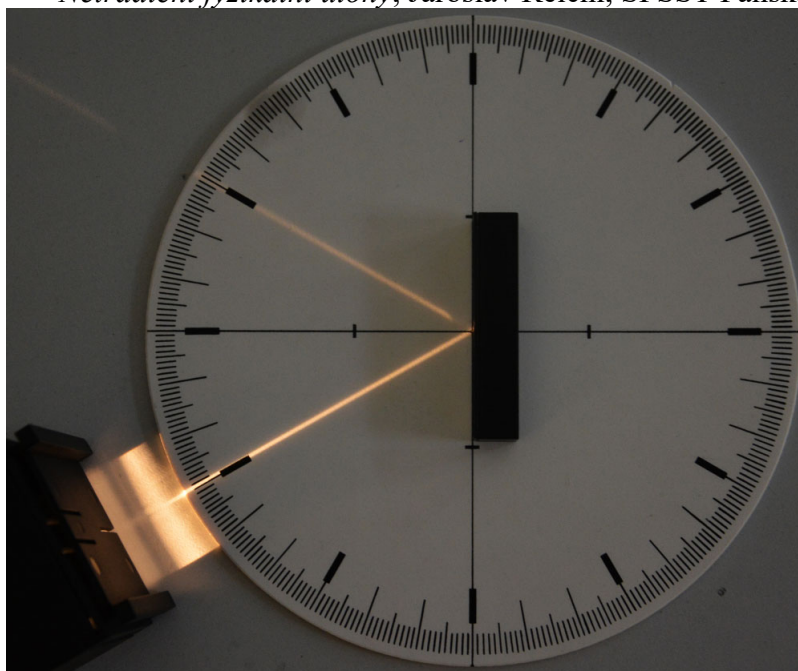
Na obrázku je zobrazena karavana velbloudů v poušti. Velbloudi jsou zachyceni jako bílé „čárky“, zatímco to, co vypadá jako černí velbloudi, jsou stíny skutečných velbloudů. Vzhledem k tomu, že fotografie zobrazuje stíny delší, než jsou výšky samotných předmětů stíny vrhající, musela být fotografie pořízena buď při západu, nebo při východu Slunce. V tu dobu se nachází Slunce nízko nad obzorem a vržené stíny jsou dlouhé.

5.3 Odraz světla

Demonstrujte platnost zákona odrazu.

Zákon odrazu lze demonstrovat poměrně jednoduše s rovinným zrcadlem položeným na podložce s úhloměrnou stupnicí (viz obr. 90). Pak lze změnou polohy zdroje světla nebo otočením podložky se zrcadlem měnit úhel dopadu, čímž se bude měnit i úhel odrazu.

Pro správné odečítání úhlů ze stupnice na podložce je nutné, aby odrazná plocha zrcadla byla těsně přiložena k jedné ze dvou navzájem kolmých rysek na podložce a aby dopadající paprsek dopadal na zrcadlo v místě, kde se na podložce obě uvažované rysky protínají. V tom případě je možné hodnoty úhlů bez problémů ze stupnice odečítat.

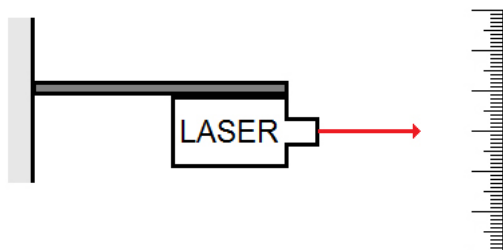


obr. 90

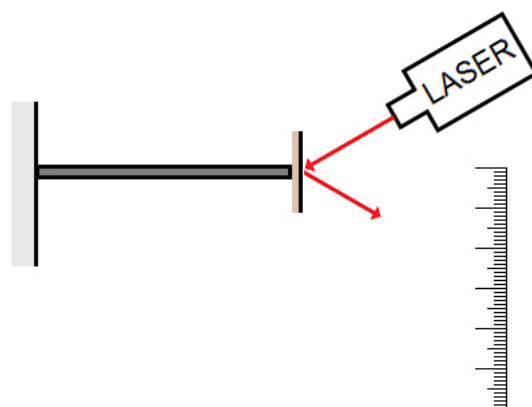
5.4 Využití odrazu od zrcadla v praxi

Který ze způsobů detekce vibrací (chvění, natáčení, ...) je v praxi vhodnější - způsob, při kterém je zdroj světla umístěn na vibrujícím tělese (viz obr. 91), a nebo způsob, při kterém je na vibrujícím tělese umístěno rovinné zrcadlo odrážející světlo laseru na detektor (viz obr. 92)? Vysvětlete. Úlohu řešte pouze z hlediska fyzikálního principu - neuvažujte různé hmotnosti zdroje světla a zrcadla, způsob přenosu vibrací, ...

Lepší způsob je ten, při kterém se světlo odráží od rovinného zrcadla (viz obr. 92). Odrazem světla od zrcadla totiž zvyšujeme citlivost daného přístroje dvakrát. Jestliže se totiž vibrující zrcadlo pootočí o úhel φ , změni paprsek odražený od toho zrcadla oproti původnímu směru směr šíření o úhel 2φ . To tedy znamená, že každé natočení zrcadla způsobí dvakrát větší změnu chodu odraženého paprsku, čímž se stane daný přístroj citlivější (snáze se budou popsané výchylky odečítat na měřící stupnici).



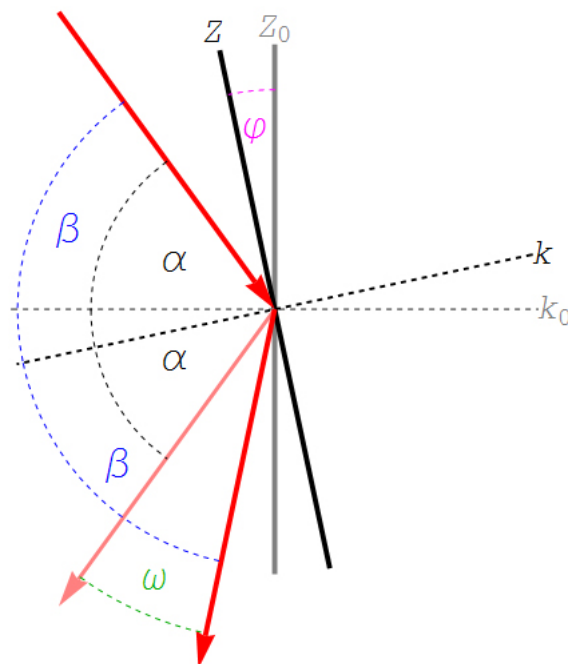
obr. 91



obr. 92

Dvakrát větší výchylku od zrcadla odraženého paprsku ve srovnání s výchylkou samotného zrcadla vysvětlíme s využitím obr. 93. Na tomto obrázku je zobrazeno rovinné zrcadlo v počáteční poloze Z_0 , od kterého se v souladu se zákonem odrazu odráží světelný paprsek (odražený paprsek je kvůli zřetelnosti obrázku vyznačen světlejší barvou). Úhel dopadu i úhel odrazu měříme v tomto případě od kolmice dopadu k_0 ; oba tyto úhly jsou stejné a jsou označeny α . Při otočení zrcadla o úhel φ do polohy Z se dopadající paprsek bude odrážet od zrcadla v této nové pozici. Úhel dopadu i úhel odrazu budeme měřit od kolmice dopadu k a oba tyto úhly označíme β . Úhel, který chceme zjistit, je úhel mezi paprskem

odraženým od zrcadla v poloze Z_0 a paprskem odraženým od zrcadla v poloze Z . Tento úhel označíme ω .



obr. 93

Podle obr. 93 platí: $2\alpha + \omega = 2\beta$, a tedy platí $\omega = 2(\beta - \alpha)$. Úhel $\beta - \alpha$ je úhel, který vzájemně svírají obě kolmice dopadu. Jestliže se zrcadlo z polohy Z_0 do polohy Z otočilo o úhel φ , pak se o stejný úhel vůči sobě otočily i obě kolmice dopadu. Proto $\omega = 2(\beta - \alpha) = 2\varphi$.

Uvedeného principu se využívá v řadě technických aplikací (seismografy, digitální siloměry nebo váhy, ...): rovinné zrcadlo je umístěno na pohyblivém elementu přístroje, který detektuje dané deformace, a je osvětlováno světlem LASERu. Odražené světlo se od rovinného zrcadla odráží (princiálně v souladu s obr. 92) a dopadá do detektoru (např. pole fototranzistorů), v němž se na základě místa, kam do detektoru od zrcadla odražené světlo dopadlo, vyhodnotí dané měření.

5.5 Odraz světla od zrcadla

Kolik dívek bylo fotografováno u zrcadla, které je zobrazeno na obr. 94?



obr. 94

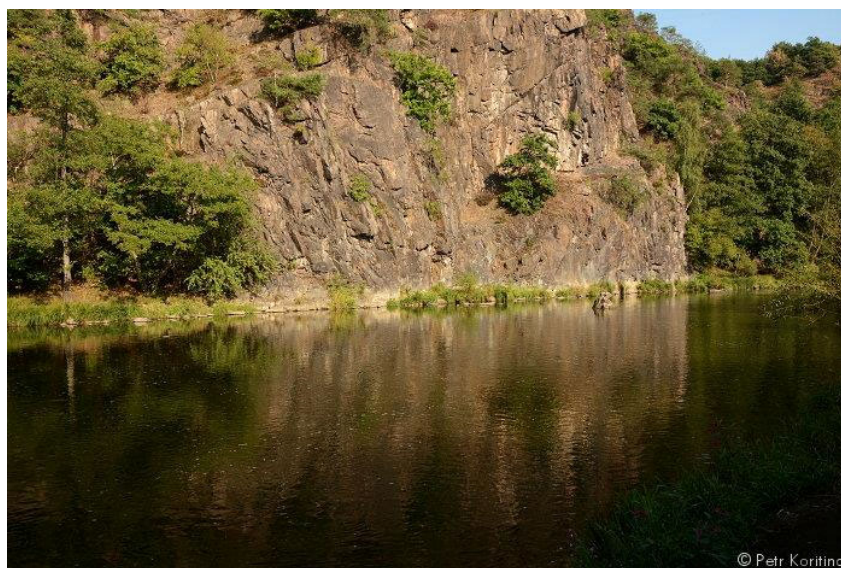
Ač se zdá na první pohled, že dívek bylo více, ve skutečnosti byly fotografovány pouze dvě dívky. Seděly mezi dvěma navzájem rovnoběžnými zrcadly a každá se dívala do toho zrcadla, které k ní bylo blíže. V důsledku toho, že zrcadla jsou vzájemně rovnoběžná, vznikla iluze podporující mylnou hypotézu, že dívek bylo více.

5.6 Odraz světla od hladiny vody

Na obr. 95 a obr. 96 jsou zobrazeny fotografie pořízené u vodních ploch. Na fotografii zobrazené na obr. 95 je obraz odrážející se od hladiny vody čistý a „ostrý“, zatímco na fotografii zobrazené na obr. 96 je obraz odrážející se od hladiny vody „rozostřený“. Vysvětlete proč. Autorem fotografií je Petr Koritina.



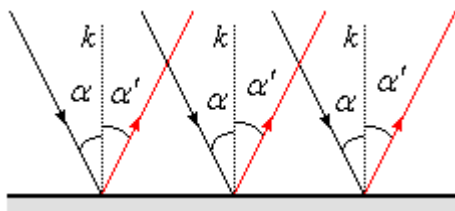
obr. 95



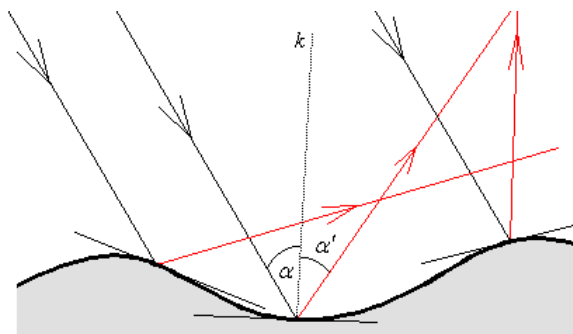
obr. 96

Hladina vody na fotografii zobrazené na obr. 95 je klidná, takže se chová jako lesklá plocha resp. zrcadlo (viz obr. 97). Svazek rovnoběžných paprsků, které na hladinu dopadají, se od ní opět jako svazek rovnoběžných paprsků odráží. Proto vidíme obraz vytvořený těmito rovnoběžnými paprsky ostrý.

Hladina vody na fotografii zobrazené na obr. 96 není klidná, ale vlivem větru nebo proudění vody se pohybuje. Proto se při odrazu chová jako matná odrazná plocha (viz obr. 98). Ta způsobuje, že vzájemně rovnoběžné paprsky na tuto plochu dopadající nebudou po odrazu již vzájemně rovnoběžné. Do oka (resp. objektivu fotoaparátu) tak budou dopadat pod různými úhly, což způsobí rozmazání původního obrazu.



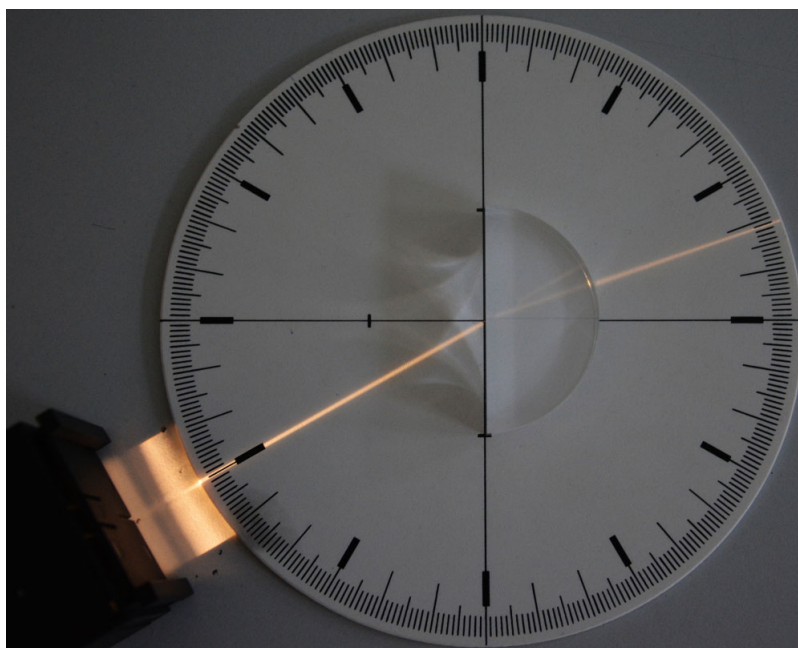
obr. 97



obr. 98

5.7 Zákon lomu - výpočet indexu lomu

Vypočítejte na základě lomu světla v optickém půlválci (viz obr. 99 a obr. 100) index lomu použitého půlválce. Je nutné uvažovat lom světla na rozhraní zakřivené stěny půlválce a vzduchu? Vysvětlete.



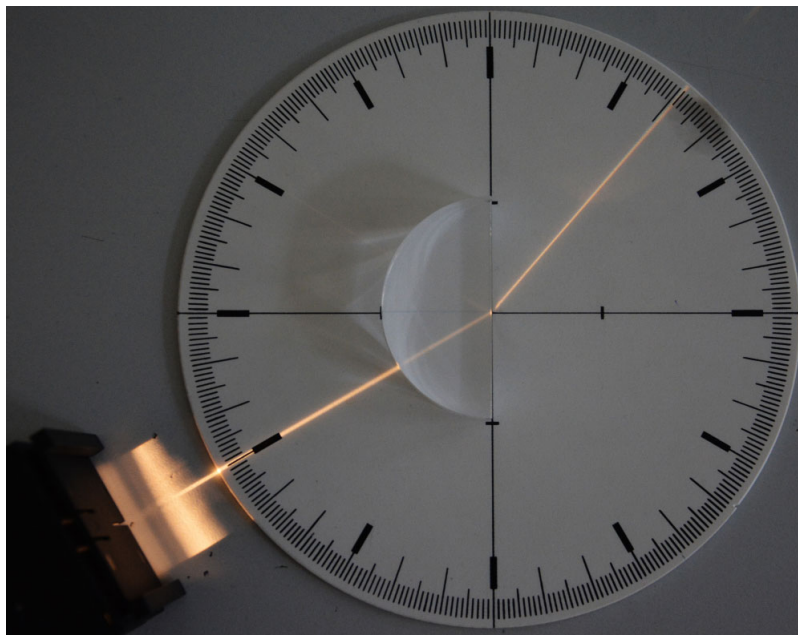
obr. 99

Abychom mohli určit index lomu použitého půlválce, musíme znát úhel dopadu α paprsku světla dopadajícího na půlválec a úhel lomu β , pod kterým se světlo po průchodu půlválcem láme. Pak stačí využít matematický tvar Snellova zákona lomu daný vztahem

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (10)$$

V obou uvažovaných situacích je druhým prostředím, ze kterého (resp. do kterého) světlo dopadá vzduch s indexem lomu rovným jedné. Před odečítáním hodnot obou uvažovaných úhlů je nutné vyřešit otázku, zda je nutné uvažovat lom světla na rozhraní zakřivené stěny půlválce a vzduchu. Pokud bude dodržena podmínka, že světelný paprsek bude vždy dopadat do středu podstavu půlválce (tj. do středu polokruhu tvořícího podstavu),

šíří se světelný paprsek po poloměru polokruhu. To znamená, že se šíří kolmo na tečnu (resp. tečnou rovinu) sestrojenou v bodě, ve kterém světelný paprsek vstupuje (resp. vystupuje) do půlválce. Světelný paprsek tedy dopadá kolmo na rozhraní půlválce a vzduchu (které představuje zmiňovaná tečná rovina), a proto se neláme. Proto není nutné v tomto případě lom na rozhraní půlválce a vzduchu uvažovat.



obr. 100

V situaci zobrazené na obr. 99 je $\alpha = 30^\circ$ a $\beta = 19^\circ$. Ze vztahu (10) budeme vyjadřovat a následně počítat proměnnou n_2 a dostaneme: $n_2 = n_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 1 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 19^\circ} = 1,54$.

V situaci zobrazené na obr. 100 je $\alpha = 30^\circ$ a $\beta = 49^\circ$. Ze vztahu (10) budeme vyjadřovat a následně počítat proměnnou n_1 a dostaneme: $n_1 = n_2 \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = 1 \cdot \frac{\sin 49^\circ}{\sin 30^\circ} = 1,51$.

Hodnoty indexu lomu sice nevyšly zcela totožné, ale v rámci možnosti odečítání hodnot úhlů ze stupnice jsou vypočtené hodnoty indexu lomu použitého půlválce dostatečně přesné.

5.8 Totální odraz světla

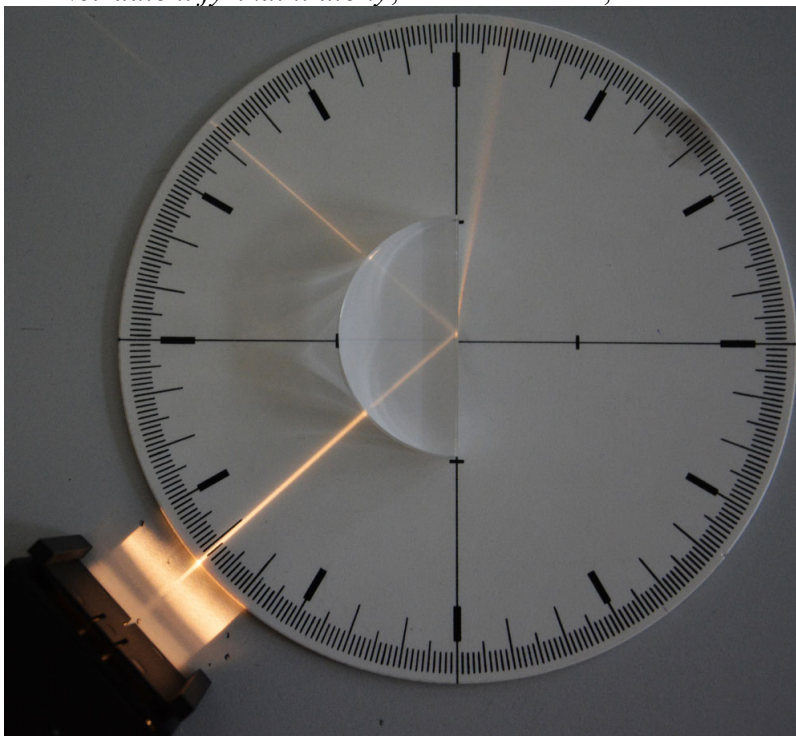
Jaký fyzikální jev ilustrují fotografie zobrazené na obr. 101 a obr. 102? Vysvětlete tento jev. Lze na základě některé z uvedených fotografií určit index lomu materiálu plastového půlválce, kterým světlo prochází? Pokud ano, určete ho. Jak je možné, že odraz světla zobrazený na obr. 102 neodpovídá zákonu lomu?

Fotografie na obr. 101 zobrazuje situaci, při níž světelný paprsek dopadá na rovinné rozhraní půlválce a vzduchu pod tzv. mezním úhlem. Lomený paprsek se šíří téměř po daném rovinném rozhraní. Při mírném zvětšení úhlu dopadu (viz obr. 102) se paprsek již totálně odráží a do vzduchu za půlválcem již neprochází.

Na základě obou obrázků je zřejmé, že světlo dopadá na rozhraní půlválce a vzduchu pod úhlem $\alpha_m = 41^\circ$. Vztah (10) lze pro případ, kdy se lomený paprsek šíří po rozhraní obou uvažovaných prostředí (tj. úhel lomu je roven 90 stupňů), psát ve tvaru

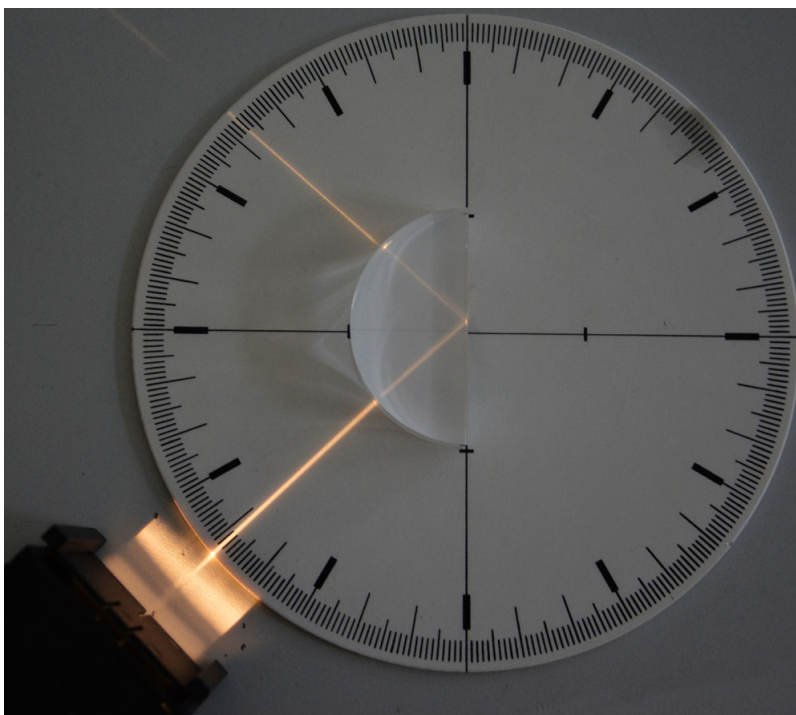
$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}, \quad (11)$$

ze kterého vyjádříme index lomu n_1 : $n_1 = \frac{n_2}{\sin \alpha_m} = \frac{1}{\sin 41^\circ} = 1,52$. Získaný výsledek je ve shodě s výsledky získanými v odstavci 5.7.



obr. 101

Na fotografii zobrazené na obr. 102 nedopadá světelný paprsek přesně do středu půlkruhové podstavy plastového půlválce. Proto nemůže dopadat na zakřivenou stěnu půlválce kolmo a šířit se po poloměru kruhu tvořícího podstavu (viz rozbor v odstavci 5.7). Světelný paprsek se tedy na rozhraní vzduch - plast láme, na rozhraní plast - vzduchu se totálně odráží a při výstupu z půlválce se opět láme. V důsledku toho světelný paprsek vychází z plastového půlválce pod jiným úhlem, než pod jakým do něj dopadá.



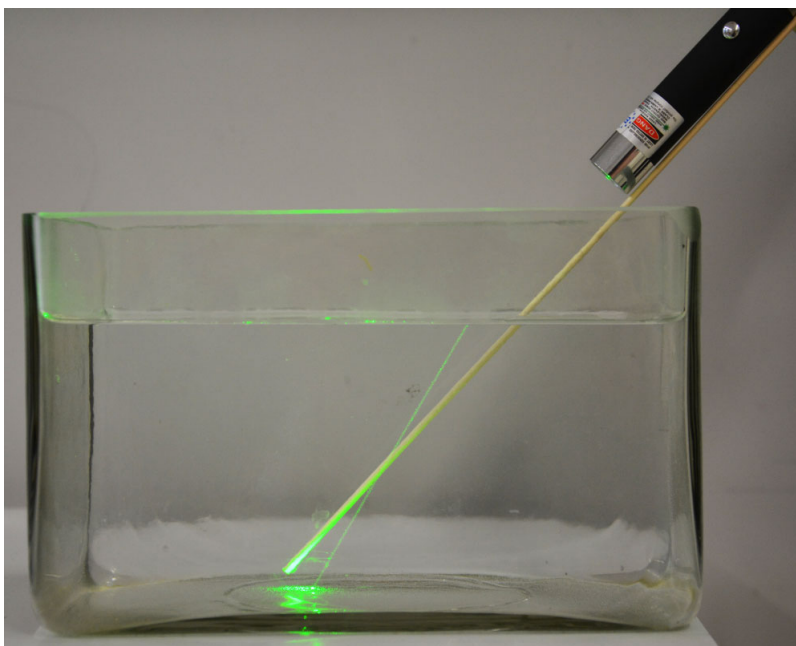
obr. 102

5.9 Zákon lomu

Vysvětlete situaci zobrazenou na obr. 103. Jak je možné, že se světlo LASERu šíří ve vodě jiným směrem, než jaký má špejle?

Při zvoleném úhlu pohledu na danou situaci je vidět nedeformovaný obraz špejle - a to jak nad vodou, tak pod vodou. Světlo LASERu, které se šíří nad hladinou rovnoběžně se

Netradiční fyzikální úlohy, Jaroslav Reichl, SPŠST Panská, Praha, © 2016
směrem špejle (dáno tím, že LASER je přiložen těsně ke špejli), se na rozhraní vzduch - voda láme. Vzhledem k tomu, že se šíří z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího, láme se světlo ke kolmici. Fakt, že světelný paprsek není nad hladinou vody vidět, vyplývá z vysvětlení v odstavci 5.1.



obr. 103

Vysvětlete, proč je špejle zobrazená na obr. 104 (resp. na obr. 105, na kterém je směr špejle vyznačen barevně) zalomená.



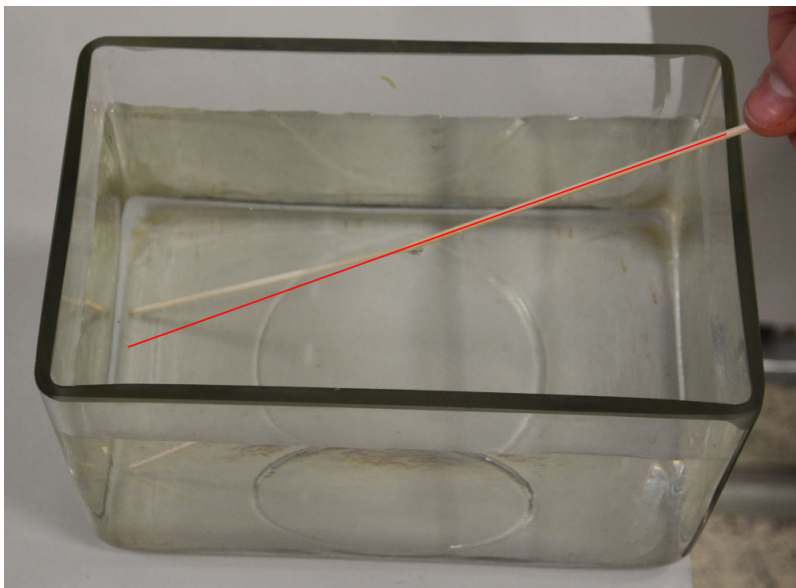
obr. 104

Nejdříve je nutné si uvědomit to, že předměty vidíme, pokud světlo buď sami vyzařují, nebo je odrážejí. Při zvoleném pohledu na akvárium se špejlí je nutné si uvědomit, že světlo odražené z koncového bodu špejle (část špejle pod vodou) se šíří vodou, na rozhraní voda - vzduch se láme a následně světlo vstupuje do oka resp. objektivu fotografického přístroje. Ani lidské oko, ani objektiv fotografického přístroje nedokáží lom světla zaznamenat. Oba přístroje prostě sledují trajektorii světla, které do nich dopadá, a automaticky jí prodlužují po téže přímce i do vody, aniž by vzaly v úvahu lom světla. Proto se špejle jeví zalomená. Stejný jev nastává tehdy, když se jeví bazén či řeka mělkí, než ve skutečnosti je (detailně viz [10]).

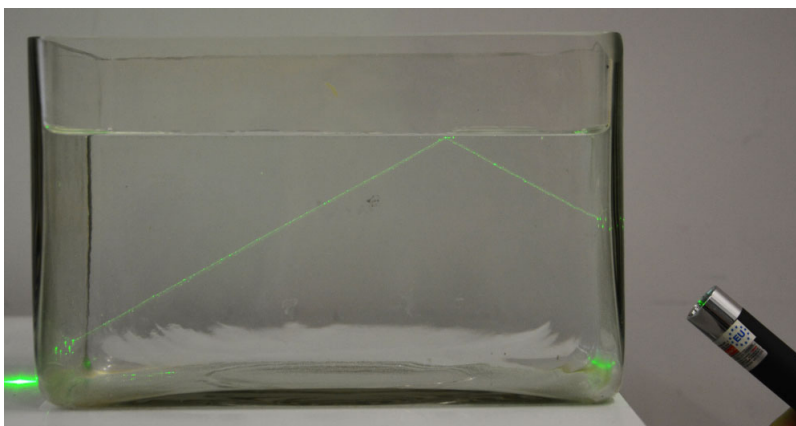
Jaký jev je zobrazen na fotografii na obr. 106?

Na fotografii je zobrazen totální lom světla, které se šíří z vody do vzduchu. Pokud světlo dopadá pod větším úhlem, než je tzv. mezní úhel (viz odstavec 5.8), na rozhraní

Netradiční fyzikální úlohy, Jaroslav Reichl, SPŠST Panská, Praha, © 2016
opticky hustšího a opticky řidšího prostředí se neláme, ale pouze odráží. Důvod, proč není vidět světelný paprsek ve vzduchu, je vysvětlen v odstavci 5.1.



obr. 105



obr. 106

5.10 Odrazné hranoly

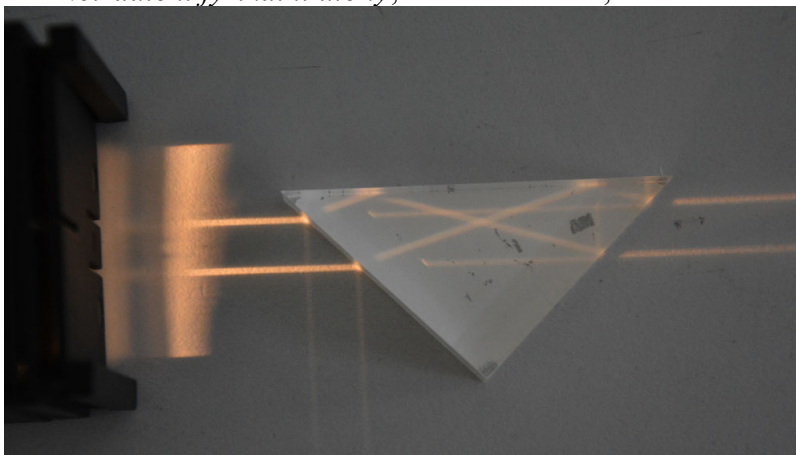
Pomocí odrazného hranolu, jehož podstavou je rovnoramenný pravoúhlý trojúhelník, změňte směr chodu dvou vzájemně rovnoběžných paprsků tak, aby po průchodu hranolem:

1. paprsky pokračovaly v původním směru, ale obraz jimi přenášený byl převrácený;
2. paprsky pokračovaly do směru, který je vůči původnímu směru šíření otočen o 90 stupňů;
3. paprsky se vracely zpět do směru, z něhož byly vyslány (ne nutně po téže přímce).

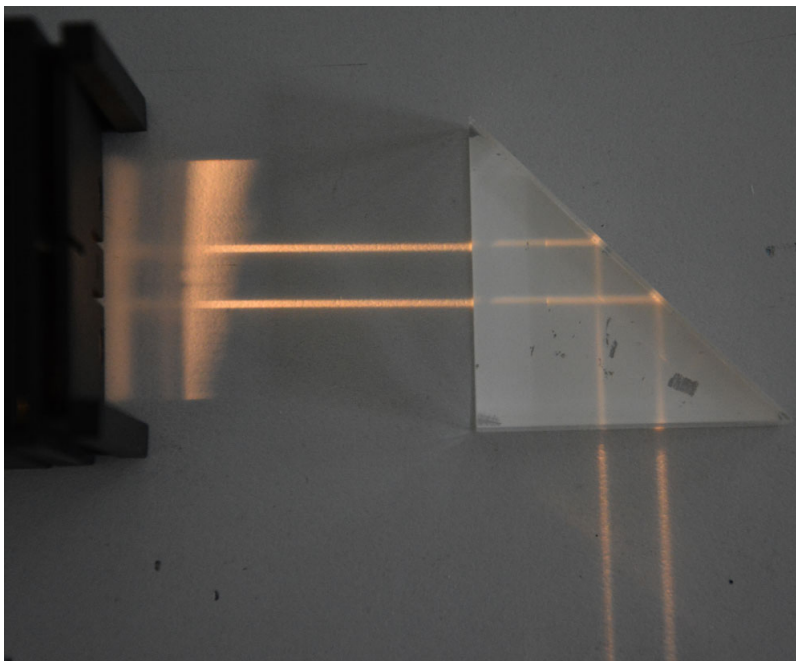
Uveďte, zda se těchto principů využívá někde v praxi.

Řešení využívá totálního odrazu světla na rozhraní opticky hustšího prostředí materiálu hranolu a opticky řidšího prostředí okolního vzduchu (viz odstavec 5.8). Jednotlivé situace jsou zobrazeny na obr. 107 až obr. 109.

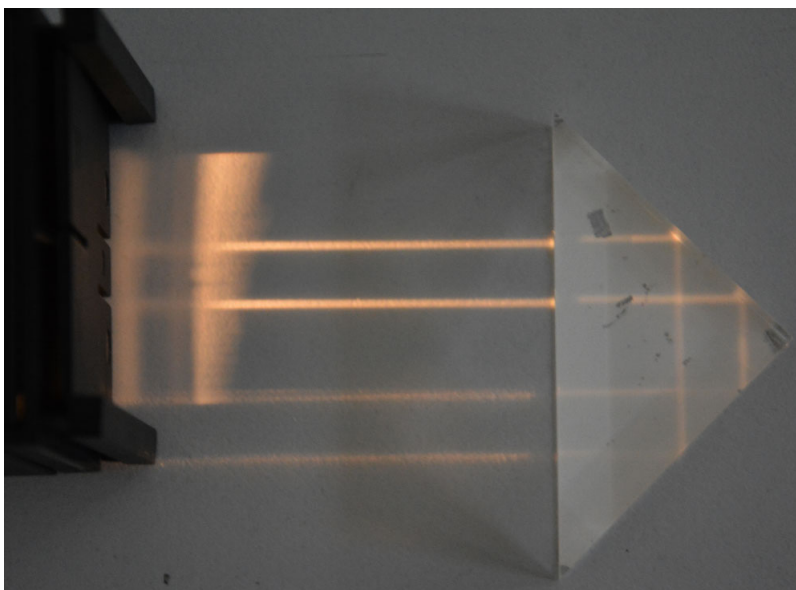
Popsané přesměrování chodu paprsků se využívá v optických přístrojích (dalekohledy, fotoaparáty, ...), v nichž optické hranoly mění chod světelných paprsků tak, aby pozorovatel viděl přes daný optický přístroj v okuláru nebo v hledáčku vzpřímený a stranově nepřevrácený obraz.



obr. 107



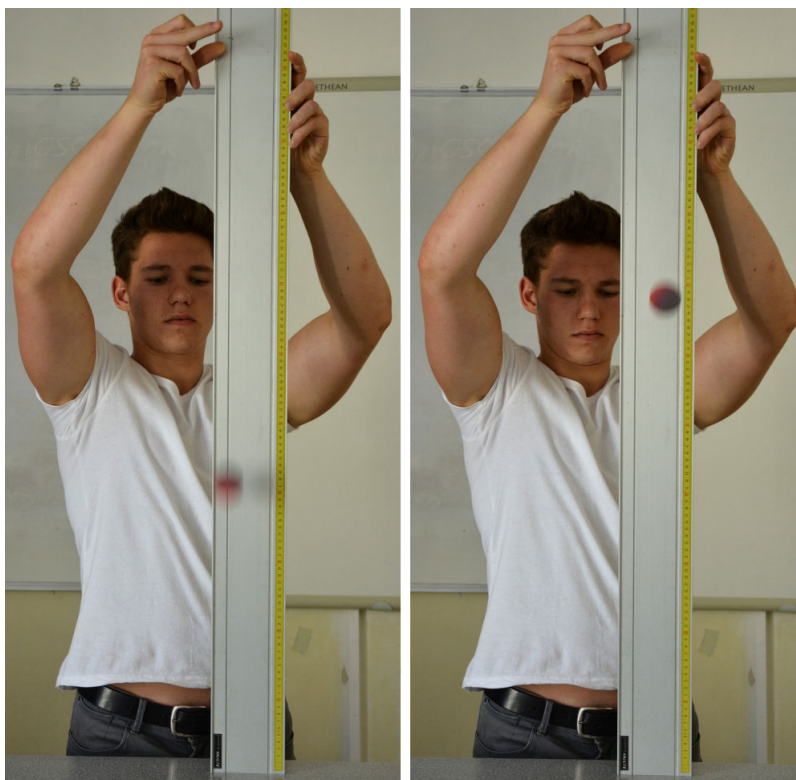
obr. 108



obr. 109

5.11 Rozmazaný obraz

Vysvětlete příčinu rozmazání míčku volně vypuštěného z rukou experimentátora. Proč je míček v levé části fotografie zobrazený na obr. 110 rozmazán, zatímco v pravé části téže fotografie je zobrazen ostřeji?



obr. 110

Příčinou rozmazání míčku je relativně dlouhá expoziční doba závěrky fotoaparátu. Během této doby urazí (téměř) volně padající míček v levé části fotografie relativně dlouhou dráhu. Proto se na fotografii jednotlivé body míčku nezobrazí jako body, ale jako plošky. Míček tedy vnímáme jako rozmazaný.

Pravá část fotografie byla patrně pořízena v okamžiku, kdy se míček nacházel v blízkosti maximální výšky, do které může za daných podmínek vystoupit. Ať se míček nachází ve fázi, kdy brzdí při svém pohybu vzhůru, nebo kdy zrychluje při svém pohybu dolů, vždy se pohybuje relativně malou rychlostí (v maximální výšce výstupu je totiž v klidu). Proto i během doby expozice snímku urazí krátkou dráhu a míra jeho rozmazání je tedy malá.



obr. 111

Vysvětlete, proč jsou některé objekty na fotografii zobrazené na obr. 111 rozmazané a jiné ostré.

Příčin rozmazání objektivů na fotografii může být několik.

První příčinou je to, že se různé objekty nacházejí v různých vzdálenostech od objektivu. Vzhledem k fotografování z jedoucího autobusu musela být nastavena poměrně krátká doba expozice, a tedy nemohla být nastavena velká clona. Pořízený snímek má proto malou hloubku ostrosti a na snímku budou tedy ostře zobrazené jen ty objekty, na které bylo zaostřeno. Objekty v jiných vzdálenostech od objektivu, než je vzdálenost, na kterou bylo zaostřeno, budou rozmazány.

Druhou příčinou může být vzájemný pohyb autobusu, ze kterého byla fotografie pořízena, a fotografovaných objektů. Tím, že se nacházejí v různých vzdálenostech od objektivu, mohly být tyto objekty vystaveny navíc různému větru. A pokud by se vlivem větru objekty (resp. jejich části) pohybovaly proti směru pohybu autobusu, míra rozmazání by byla větší, protože relativní velikost autobusu a daného objektu by byla větší, než pokud by byly dané objekty v bezvětří.

6. Termodynamika

6.1 Mlecí kameny

Jeden díl internetového pořadu *Jídlo s.r.o.* (viz [11]) byl věnován výrobě hořčice. Moderátora pořadu překvapilo, proč jsou nádoby, ve kterých se mele kaše vzniklá z hořčičného semínka, horké. Vysvětlení od zaměstnance továrny bylo následující: „My směs neohříváme, karborundové mlýny máme tak blízko u sebe, aby ta hořčice byla jemňoulinká, a tím se hořčice zahřívá.“

Vysvětlete příčinu ohřevu hořčičné hmoty.

Podle slov průvodce pořadu „z nádob jde pára“. O jakou páru se jedná a odkud se v hořčičné směsi vzala.

Hořčičná směs je vlivem rotace mlecích kamenů nucena k pohybu mezi těmito kameny. Pohybová energie kamenů se mění částečně na práci nutnou na deformaci směsi (drtí se zbytky slupek semínek, samotná semínka, přísady) a částečně na změnu vnitřní energie směsi. Mezi pohybující se hořčičnou směsí a mlecími kameny působí třecí síly, které spotřebovávají část mechanické energie kamenů, a tato část mechanické energie se mění na teplo. Proto se ohřívá jak směs, tak i nádoby, v níž je směs uložena.

Zvýší-li se teplota směsi na dostatečnou hodnotu, začne se z povrchu směsi v nádobě odpařovat voda přítomná ve směsi.

6.2 Mramor

V jednom dílu pravidelného sobotního magazínu *Z metropole* (viz [12]), který vysílá Česká televize, byla i reportáž z rekonstrukce Národního Muzea. V rámci ní památkář tvrdí, že se přírodní a umělý mramor pozná podle povrchové teploty. Je toto tvrzení správné?

Jestliže se mramorový sloup, který je tvořen umělým a přírodním mramorem, nachází v jedné místnosti, navíc se obě části sloupu vzájemně dotýkají, mají ve shodě s termodynamickými zákony vzájemně stejnou teplotu. Položíme-li na různé předměty téže povrchové teploty ruku a vnímáme-li rukou odlišnou teplotu těchto předmětů, je zřejmé, že každý z předmětů (v tomto případě každý typ mramoru) má jiný součinitel tepelné vodivosti. Předmět s vyšším součinitelem tepelné vodivosti se bude zdát při kontaktu s rukou chladnější - předmět totiž bude snáze odebírat ruce teplo, což detektory kůže spolu s mozkem vyhodnotí jako sníženou teplotu daného předmětu. Kdybychom ale použili např. bezdotykový teploměr a určili povrchovou teplotu obou předmětů, naměřili bychom stejné hodnoty teploty.

Podle článku [13] se součinitelé tepelné vodivosti přírodního i umělého mramoru liší. Odlišnosti jsou (i podle jiných běžněji dostupných zdrojů) malé, ale jsou.

Je pravděpodobné, že člověk, který s těmito materiály běžně pracuje, dokáže tyto rozdíly skutečně vnímat.

6.3 Vaření

V pořadu *Hobby naší doby - letní speciál* ze dne 1. 8. 2020 bylo v jeho závěru představeno několik rychlých a jednoduchých receptů (viz [14]). Recepty představila představitelka firmy distribuující používaný mixér spolu s moderátorkou pořadu Jiřinou Bohdalovou.

V čase 1:25 ukázky slečna říká, že vidíme, jak mixér vysává vzduch, protože se uvolňují bublinky. Co je to za bublinky a odkud se vzaly?

V čase 1:56 ukázky slečna říká: „Vidíte, jak to klesá? To je vlastně to vakuum.“ Vysvětlete, proč pokrm v nádobě mixeru po otevření ventilu poklesl?

V čase 4:24 ukázky slečna říká „vypustíme vzduch“ z nádoby, z níž byl předtím vzduch vyčerpán. Je její tvrzení správné?

Bublínky, které se uvolňují z vody, jsou bublinky syté páry. Ty se uvolňují proto, že nad kapalinou (s ovocem) se vlivem vysávání vzduchu snižuje tlak. Kapalina v nádobě se tedy (byť má pokojovou teplotu) začíná ve sníženém okolním tlaku vařit.

Dokud byl z prostoru nad pokrmem odčerpán vzduch, byl pokrm napěněn zbytkovým vzduchem a plyny, které se uvolnily z ovoce při jeho mixování. Jakmile byl do nádoby zpět přiveden vzduch, zvýšil se tlak vzduchu nad pokrmem a zvětšená tlaková síla vzduchu stlačila napěněný pokrm níže. Hlášku „To je to vakuum.“ necháváme bez komentáře ...

Tvrzení slečny není správné. Správně měla říct, že vzduch *napustíme* zpět do nádoby.

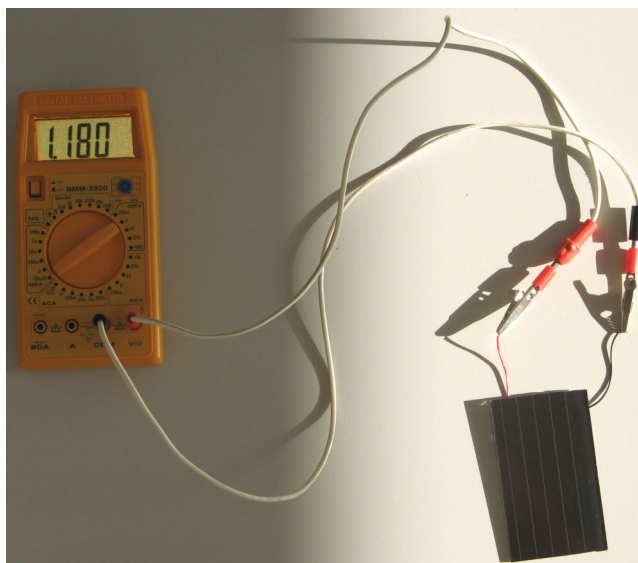
7. Moderní fyzika

7.1 Solární panely

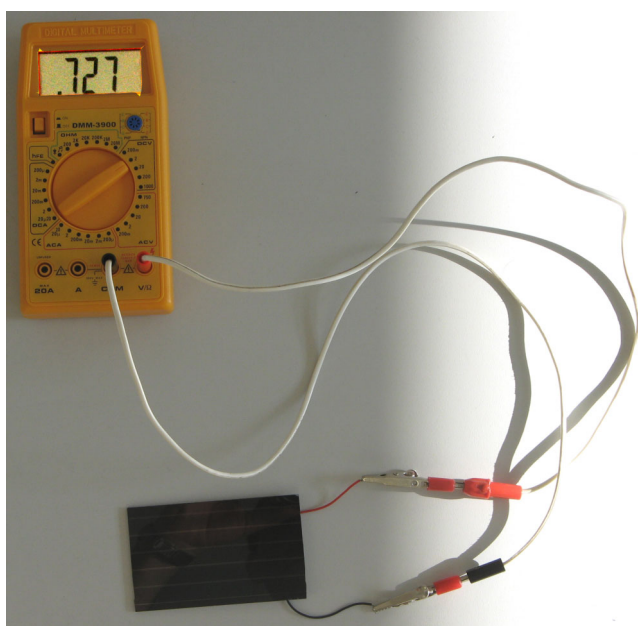
Vysvětlete princip činnosti solárních panelů.

Princip činnosti solárních panelů je založen na tzv. fotoelektrickém jevu (viz [14]). Při tomto jevu se energie elektromagnetického záření může měnit na tzv. výstupní práci elektronů obsažených v materiálu, na který toto záření dopadá. Pokud se elektrony uvolní, mohou vést daným materiálem elektrický proud a mezi konci daného materiálu lze naměřit elektrické napětí.

Je-li solární panel vystaven přímému slunečnímu svitu (viz obr. 112), fotoelektrický jev nastává a na panelu lze měřit elektrické napětí. Hodnota tohoto napětí je vyšší, než v případě, že se solární panel nachází ve stínu (viz obr. 113). I v tomto případě ale na solární panel dopadá dostatečně množství elektromagnetického záření, a proto panel generuje nenulové napětí. Pokud bychom panel zakryly neprůhledným materiálem, napětí na něm měřené by bylo nulové.



obr. 112

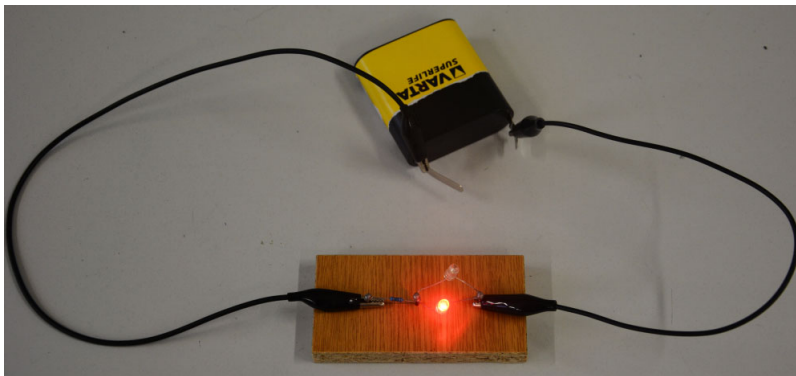


obr. 113

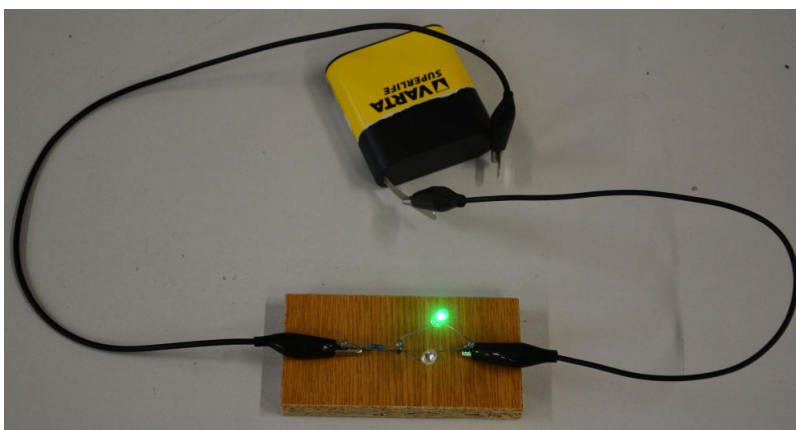
7.2 LED generující elektrické napětí?

Mohou běžné LED generovat elektrické napětí? Vysvětlete.

Před vysvětlením zadaného problému je nutné představit panel se dvěma antiparalelně spojenými LED emitující světlo červené a zelené barvy (viz obr. 114 a obr. 115). Na těchto fotografiích je nutné si pouze všimnout, v jaké části panelu se nachází LED emitující červené světlo a v jaké části je umístěna LED emitující zelené světlo. Fakt, že LED po připojení ke zdroji napětí svítí, je v pořádku. Stejně tak je zřejmé, že po změně polarity zdroje se rozsvítí druhá antiparalelně zapojená LED.



obr. 114



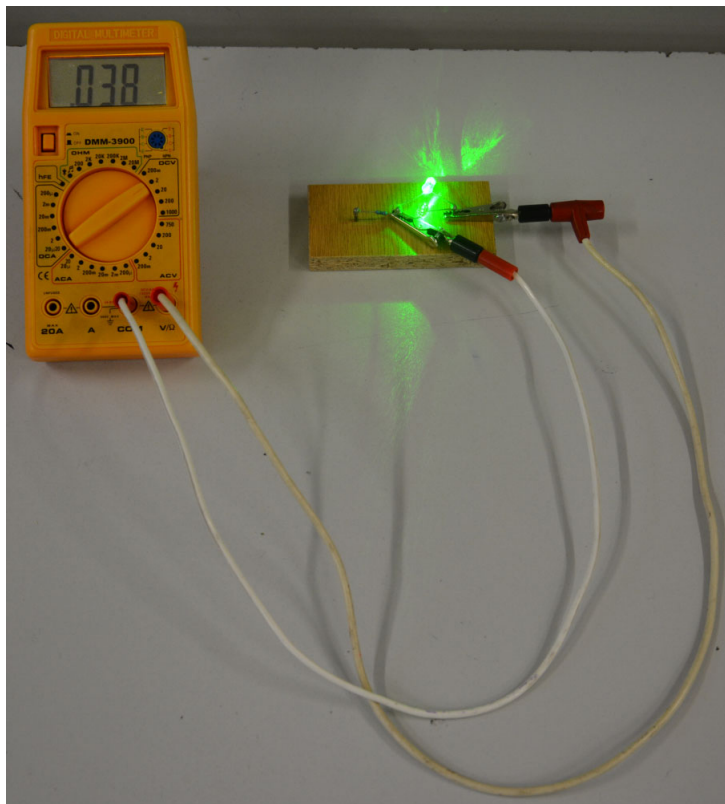
obr. 115



obr. 116

Pokud nyní připojíme LED k voltmetru a posvítíme na ně postupně LASERem svítícím zeleným světlem, ukáže voltmetr nenulové napětí (viz obr. 116 a obr. 117).

Na obr. 116 je přitom zobrazeno chování LED, která emituje červené světlo. Ta také při dopadu světla zelené barvy generuje vyšší napětí, což souvisí s frekvencemi červeného a zeleného světla. Červené světlo má ve srovnání se zeleným světlem nižší frekvenci a v materiálu červené LED jsou energetické hladiny rozloženy tak, aby bylo právě toto elektromagnetické záření při přechodu elektronů mezi hladinami generováno. V důsledku toho bude také snadněji probíhat fotoelektrický jev, na základě kterého je možné měřit na nasvícené LED elektrické napětí.



obr. 117

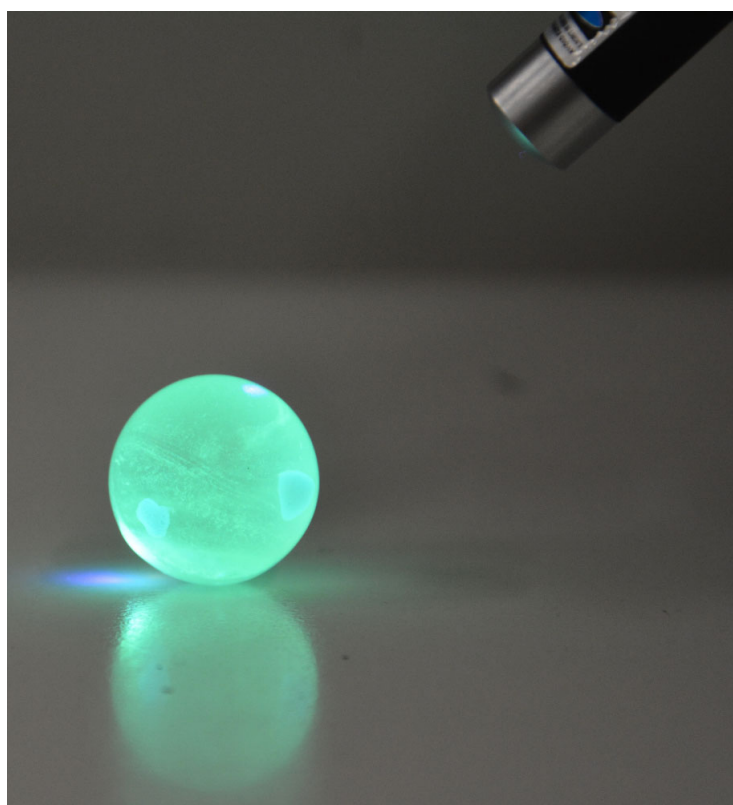
7.3 Svítící tělesa

Vysvětlete, proč některá tělesa po nasvícení vhodným světlem sama svítí.

Na obr. 118 je zobrazena fotografie kuličky za běžného rozptýleného slunečního světla v místnosti. Barva kuličky je bílá, nevýrazná. Jestliže na kuličku posvítíme světlem LASERu, začne kulička zářit namodralým světlem (viz obr. 119). Příčinou svitu kuličky je jev nazývaný fluorescence - fotony světla LASERu vybudí elektrony obsažené v materiálu kuličky na vyšší energetické hladiny. Ty jsou pro elektrony nestabilní, a proto se elektrony vracejí na stabilnější (tj. nižší) energetické hladiny a v důsledku toho vyzařují elektromagnetické záření. Jeho frekvence je dána rozdílem energetických hladin, mezi kterými elektrony přeskakují. Popsaný jev je krátkodobý, a jakmile LASER zhasneme, jev ustane a kulička přestane svítit.



obr. 118



obr. 119

8. Závěr

Výše popsané úlohy se žáky skutečně řešíme a podle mých zkušeností takto zadané úlohy řeší žáci raději, než úlohy kvantitativní nebo úlohy zadané standardním způsobem. Podobných úloh lze vymýšlet více - stačí se kolem sebe pozorně dívat a objevíme velké množství fyzikálních úloh. Navíc lze řadu výše uvedených úloh modifikovat a přejít od kvalitativní úlohy k úloze kvantitativní.

Vzhledem k tomu, že učím na střední škole, mohou být některé z úloh pro žáky základní školy obtížnější nebo neřešitelné. Volba správné úlohy případně její zjednodušení nebo série návodných otázek či nápověd' je již v kompetenci učitele, který bude chtít takovou úlohu žákům zadat.

Poděkování

Za pomoc při přípravě obrazové části textu děkuji Davidovi Bielickému a Jakubovi Tomaidesovi, žákům třídy 13L SPŠST Panská, Praha.

9. Literatura a další zdroje

- [1] Pohybující se součást [online]. [citováno 9. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/50/cc/31/50cc3104a2af981783866eaa77d96b61.gif>
- [2] *Události* (ze dne 8. 7. 2020), pořad České televize [online]. [citováno 7. 8. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/220411000100708/video/777914>
- [3] Metodický portál RVP - určování polohy těžiště tělesa [online]. [cit. 2015-10-14]. Dostupné z WWW: <http://clanky.rvp.cz/clanek/o/g/2271/URCOVANI-POLOHY-TEZISTE-TELESA.html/>
- [4] *Události*, pořad České televize [online]. [citováno 7. 8. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/>
- [5] Sondermülldeponie Kölliken [online]. [citováno 6. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <http://mapio.net/o/669044/>
- [6] *Události* (ze dne 13. 8. 2020), pořad České televize [online]. [citováno 16. 8. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/220411000100813/video/783759>
- [7] BROWN, D., *Ztracený symbol*, nakladatelství Argo, Praha, str. 383
- [8] SMITH W., *Řeka Bohů II: Sedmý pergamen*, AlPress, s. r. o., 2015, str. 96 - 99 a 114 - 116
- [9] *Události* (ze dne 2. 8. 2020), pořad České televize [online]. [citováno 3. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/216411000100802/video/486380>
- [10] Encyklopedie fyziky - Zdánlivá hloubka předmětu [online]. [citováno 9. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/445>
- [11] *Jídlo s.r.o. Hořčice* [online]. [citováno 8. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <https://www.stream.cz/jidlo-s-r-o/10007353-horcice>
- [12] *Z metropole* (ze dne 10. 10. 2015), pořad České televize [online]. [citováno 8. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10116288835-z-metropole/215411058230041/>
- [13] Asdrubali, F., Baldinelli, G., Bianchi, F., Presciutti, A., Rossi, F., Schiavoni, S.: *Thermal and optical characterization of natural and artificial marble for roof and external floor installations*, Journal of Physics: Conference Series, Volume 655, conference 1 [online]. [citováno 8. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/655/1/012017/pdf>
- [14] *Hobby naší doby - letní speciál* (ze dne 1. 8. 2020), pořad České televize [online]. [citováno 6. 8. 2020]. Dostupné z WWW: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10314241266-hobby-nasi-doby/220562223010005-hobby-nasi-doby-letni-special/video/781744>
- [15] Encyklopedie fyziky - Fotoelektrický jev [online]. [citováno 9. 8. 2016]. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/722>