



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Modularizace a modernizace studijního programu počáteční přípravy učitele fyziky

Studijní modul

ŠKOLNÍ POKUSY

František Látal

Olomouc 2012



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Modularizace a modernizace studijního programu počáteční přípravy učitele fyziky

Oponenti: Mgr. Michal Kolář, Ph.D.
PhDr. Mgr. Jan Válek

Zpracováno v rámci řešení projektu Evropského sociálního fondu
a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky
Modularizace a modernizace studijního programu počáteční přípravy učitele fyziky,
registrační číslo: CZ.1.07/2.2.00/18.0018.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

1. vydání
© František Látal, 2012
© Univerzita Palackého v Olomouci, 2012
ISBN 978-80-244-???

Obsah

Úvod.....	5
1 Chyby měření.....	6
1.1 Časté chyby měření	6
2 Měření délky.....	8
3 Demontrace na vozíčkové dráze.....	10
3.1 Rovnoměrný přímočarý pohyb	10
3.2 Rovnoměrně zrychlený (zpomalený) přímočarý pohyb	11
4 Demontrace na Atwoodovu padostroji.....	13
5 Volný pád.....	15
6 Newtonovy pohybové zákony.....	16
6.1 Zákon setrvačnosti	16
6.2 Druhý Newtonův pohybový zákon.....	16
6.3 Zákon akce a reakce	18
7 Reaktivní motory	19
7.1 Heronova parní baňka.....	19
7.2 Segnerovo kolo	21
8 Smykové tření	22
8.1 Měření třecí síly siloměrem.....	22
8.2 Stanovení součinitele smykového tření na nakloněné rovině.....	23
9 Demontrace odstředivým strojem	25
9.1 Besselovy kruhy	25
9.2 Wattův odstředivý regulátor	26
9.3 Odstředivky	27
9.4 Demontrace s rotující kapalinou	28
9.5 Kompenzace odstředivé síly.....	29
9.6 Závislost odstředivé síly na hmotnosti tělesa a na vzdálenosti od osy otáčení	29
9.7 Volná osa	30
10 Tlak v tekutině vyvolaný vnější silou	31
10.1 Tlak v kapalině vyvolaný vnější tlakovou silou (demontrace „ježkem“)	31
10.2 Tlak v kapalině vyvolaný vnější tlakovou silou	31
10.3 Hydraulický lis	32
11 Tlak v kapalinách vyvolaný tíhovou silou	34
11.1 Hydrostatická tlaková síla a hydrostatický tlak	34
11.2 Hydrostatické paradoxon.....	35
11.3 Tlak na stěny nádoby.....	36

11.4	Spojené nádoby.....	38
12	Vztlaková síla v kapalinách a plynech.....	39
12.1	Demonstrace Archimedova zákona	39
12.2	Demonstrace s plným a dutým válcem.....	40
13	Proudění kapalin a plynů	42
13.1	Demonstrace proudění kapaliny a obtékání těles Pohlovým přístrojem	42
13.2	Venturiho trubice	43
13.3	Demonstrace závislosti aerodynamické síly na profilu obtékaného tělesa.....	44
14	Experimenty s vývěvou.....	46
14.1	Pokus s magdeburskými polokoulemi	46
14.2	Proražení fólie atmosférickou tlakovou silou	48
14.3	Demonstrace Archimedova zákona pro plyny.....	48
14.4	Přelévání vody z jedné nádoby do druhé.....	49
14.5	Snížení bodu varu vody snížením tlaku.....	50
14.6	Bourdonova trubice	51
14.7	Budík ve vývěvě	53
14.8	Balónek a další netradiční předměty ve vývěvě	53
15	Přibližné stanovení průměru molekuly kyseliny olejové.....	55
16	Přilnavost	56
17	Změna vnitřní energie soustavy	58
17.1	Změna vnitřní energie tepelnou výměnou	58
17.2	Změna vnitřní energie konáním práce	58
18	Sdílení tepla	60
18.1	Sdílení tepla vedením	60
18.2	Crookesův radiometr	61
19	Povrchové jevy.....	63
19.1	Existence povrchové vrstvy kapaliny	63
19.2	Plateauovy síťky	63
19.3	Povrchová síla – Maxwellův pokus.....	64
19.4	Povrchová síla – Van der Mensbruggheův pokus	65
19.5	Závislost povrchového napětí na druhu kapaliny	66
19.6	Závislost povrchového napětí na teplotě	67
19.7	Závislost kapilární elevace na poloměru trubice	67
20	Demonstrace teplotní roztažnosti.....	68
20.1	Teplotní délková roztažnost pevného tělesa	68
20.2	Bimetalový pásek	68
20.3	Teplotní délková roztažnost pryžového vlákna	69

20.4	Teplotní objemová roztažnost pevného tělesa.....	69
21	Regelace ledu	71
22	Peltierův článek.....	72
23	Mechanické kmitání.....	74
23.1	Harmonické kmitání ladičky	74
23.2	Matematické kyvadlo	74
23.3	Blackburnovo kyvadlo.....	75
23.4	Spřažená kyvadla	76
24	Mechanické vlnění	78
24.1	Šíření vlnění na pružině	78
24.2	Šíření vlnění na pružném laně	78
24.3	Rázostroj.....	79
24.4	Juliusův vlnostroj.....	79
24.5	Stojaté vlnění příčné na pryžové hadici.....	79
24.6	Chvění struny.....	80
25	Chladniho obrazce	82
26	Zdroje zvuku	83
26.1	Savartova siréna.....	83
26.2	Seebeckova siréna.....	84
27	Wimshurstova indukční elektrika	85
27.1	Elektrické kyvadélko	86
27.2	Hustota náboje na Faradayově poháru.....	87
27.3	Sršení náboje.....	87
27.4	Pokus s chocholem	88
28	Van de Graaffův generátor.....	89
28.1	Elektrický vítr	90
28.2	Faradayova klec	90
29	Elektrický náboj a elektrické pole.....	92
29.1	Elektrování těles a indikace náboje	92
30	Pokusy z optiky.....	94
30.1	Druhy optického prostředí	94
30.2	Ověření zákona odrazu světla.....	95
30.3	Periskop	96
30.4	Lom světla	96
30.5	Úplný odraz světla	98
30.6	Duté a vypuklé kulové zrcadlo	99
30.7	Čočky.....	101

31	Vzdáleně ovládané experimenty	103
31.1	Výhody x nevýhody vzdáleně ovládaných experimentů	104
31.2	Vzdáleně ovládané laboratoře v ČR a na Slovensku	105
31.3	Vzdáleně ovládané laboratoře ve světě	108
	Literatura	110

Úvod

Skriptum *Školní pokusy* je určeno pro studenty magisterské etapy učitelského studia fyziky na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci. Jeho cílem je seznámit studenty s příslušnými učebními pomůckami a umožnit jim, aby si osvojili experimentální techniky při přípravě, realizaci a vysvětlení daného fyzikálního principu či jevu.

Tato publikace obsahuje experimenty z oblasti mechaniky, termiky, molekulové fyziky, kmitů a vln, elektřiny a magnetismu a optiky. Součástí skriptu jsou také informace a odkazy na vzdáleně ovládané experimenty. Text nenabízí kompletní sbírku fyzikálních experimentů, ale je primárně zaměřen na experimenty, které jsou v současné době k dispozici pro studenty učitelských kombinací s fyzikou na Katedře experimentální fyziky na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci.

U každého experimentu je uveden seznam potřebných pomůcek, bodový postup realizace měření či demonstrace a závěr s vysvětlením předvedeného experimentu. Na závěr některých experimentů jsou uvedeny poznámky, které rozšiřují experiment a nabízí jeho různé modifikace. V textu je také mnoho obrázků, fotografií a zajímavých odkazů na tematická videa.

Ve výuce fyziky se učitel nevyhne předvádění pokusů, u nichž hrozí nebezpečí úrazu. Může jít např. o pokusy, při nichž užíváme vyššího napětí, nebo při pokusech s chemikáliemi, v mechanice může dojít k uvolnění rychle rotujících těles, v optice hrozí poškození zraku při práci se silným zdrojem světla, v termice hrozí nebezpečí popálení apod. Základním bezpečnostním pravidlem je důkladná příprava před demonstrací experimentu. Pokusy instalujeme tak, aby nemohlo dojít k úrazu žáků či učitele. Při nebezpečných pokusech předvádíme jev samostatně bez pomoci žáků. Učitel fyziky by měl nosit pracovní plášť a je vhodné, když pracovní oděv nebo plášť mají také žáci v průběhu laboratorních cvičení.

Je mou milou povinností poděkovat recenzentům Mgr. Michalu Kolářovi, Ph.D. a PhDr. Mgr. Janu Válkovi za cenné připomínky a náměty a také doc. RNDr. Oldřichu Lepilovi, CSc. za korekturu zápisu matematických vzorců v textu.

Doufám, že tato publikace bude přínosná pro budoucí učitele fyziky a pomůže jim při přípravě a realizaci experimentální činnosti v jejich vyučovacích hodinách fyziky na středních či základních školách.

1 Chyby měření

Každé měření fyzikální veličiny je zatíženo chybami. Tyto chyby jsou důsledkem nedokonalosti lidských smyslů a nepřesností měřicích přístrojů. Fyzikální měření je také ovlivněno vnějšími vlivy, např. otřesy, magnetickým polem, nebo nestálou teplotou, tlakem, či vlhkostí v laboratoři.

Pokud změříme některou veličinu pouze jedenkrát, nelze z tohoto údaje určit chybu našeho měření a nevíme, jak přesné měření bylo. Abychom získali co nejlepší informaci o měřené veličině, musíme stejné měření provést opakovaně.

Existuje mnoho typů chyb, které mohou ovlivnit měření a existuje několik způsobů jejich klasifikace. Podle nejobecnějších kritérií lze chyby rozdělit na **systematické** a **náhodné**.

Náhodné chyby jsou součástí všech experimentálních měření. Jsou důsledkem náhodných fluktuací a projevují se tím, že výsledky opakovaných měření stejné veličiny za stejných podmínek se vždy poněkud navzájem liší. Naměřené hodnoty jsou rozptýleny kolem nějaké střední hodnoty. Tyto chyby mohou být např. důsledkem změny experimentálních podmínek.

Náhodné chyby nemůžeme odstranit. S využitím statistických metod můžeme ovšem z výsledků opakovaného měření určit nejpravděpodobnější hodnotu měřené veličiny a stanovit s jakou přesností byla určena.

Systematické chyby mohou být více závažné, protože jejich vliv nelze snížit tím, že provedeme větší počet měření. Příčinou systematických chyb mohou být nevhodně zvolené měřicí metody, chyby měřicího přístroje či chyby samotného pozorovatele.

Příčinu systematických chyb lze zjistit a výsledek měření opravit. Pokud je příčinou systematické chyby zvolená metoda měření, pak musíme pro měření zvolit vhodnější metodu. Chybu měřicích přístrojů lze zmenšit jejich kalibrací, tj. srovnáním s přístroji dokonalejšími a přesnějšími. Chyby způsobené pozorovatelem lze omezit praxí experimentátora, cvikem a zvýšenou pozorností při experimentování.

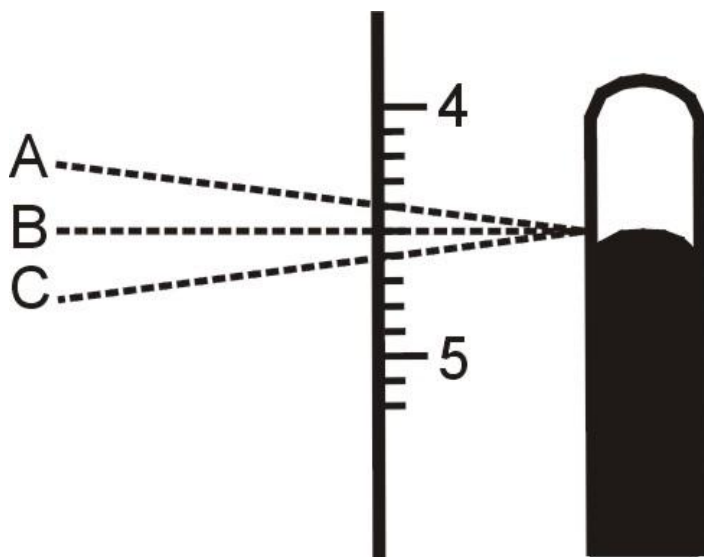
Při měření mohou také vzniknout tzv. **hrubé chyby**. Původ těchto chyb může být v nepozornosti, únavě či omylu pozorovatele. Jestliže se při opakovaném měření stejné veličiny za stejných podmínek vyskytne hodnota, která se od ostatních nápadně liší, jde zpravidla o hrubou chybu. Tuto číselnou hodnotu z dalšího zpracování výsledků měření vyloučíme.

1.1 Časté chyby měření

Je důležité, aby žáci byli schopni odhadnout, kde se při měření mohou dopustit největší chyby a jak tato chyba může ovlivnit výsledek měření.

Chyby v kalibraci přístrojů: Tyto chyby často vycházejí z toho, že měřicí přístroje jsou používány v jiných podmínkách, než v jakých byly kalibrovány. Měřidlo, které bylo kalibrováno pro použití při 20 °C, nebude dávat přesné výsledky při měření ve 30 °C. Pro měření je třeba také volit správné přístroje. Např. běžný svinovací metr nebude asi vhodný pro určení průměru tenkého drátu, když tento průměr není větší než nejmenší dílek na svinovacím metru. Naopak délku dlouhé kovové tyče není vhodné měřit mikrometrem.

Chyby způsobené odečítáním ze stupnice: Jestliže máme např. odečíst výšku sloupce tekutiny v trubici pomocí pravítka, které není zcela v těsné blízkosti vodního sloupce (viz obr. 1.1), musíme se vždy dívat na tento sloupec kolmo. Na obr. 1.1 vidíme, že správně je varianta B, kde na stupnici odečteme hodnotu 4,5. V případě A nesprávně odečteme 4,4 a v případě C změříme také nesprávnou hodnotu 4,6. Tato chyba může být snížena na minimum tím, že stupnici pravítka umístíme do těsné vzdálenosti od měřeného objektu.



Obr. 1.1 Chyba způsobená odečítáním ze stupnice

2 Měření délky

K měření menších délek používáme především posuvné měřidlo (viz obr. 2.1) a mikrometrické měřidlo (viz obr. 2.2).



Obr. 2.1 Posuvné měřidlo



Obr. 2.2 Mikrometrické měřidlo

U posuvného měřidla vkládáme předmět mezi dvě ramena, z nichž jedno je pevné a druhé posuvné. Stupnice posuvného měřidla je obvykle dělena na 20 dílků, které odpovídají 19 dílkům hlavní stupnice (na pevné části měřidla), tzn., že každý dílek na posuvném ramenu je o 0,05 mm kratší než dílek hlavní stupnice. Obě ramena vybíhají na opačnou stranu v hroty, jimiž lze měřit vnitřní rozměry dutých těles. Pomocí tyčinky, která se vysouvá s posuvným ramenem lze měřit hloubku dutin.

Mikrometrické měřidlo má dvě stupnice. Na pevném ramenu jsou vyznačeny poloviny a celé milimetry, na otočné stupnici je 50 dílků. Otočením šroubu o 360° se posune ukazatel na stupnici o 0,05 mm, tzn., že 1 dílek otočné stupnice odpovídá 0,01 mm. Při měření nedotahujeme šroub silou, otáčíme pouze koncem. Po dorazu čelistí uslyšíme charakteristický zvuk. Pře začátkem každého měření musíme stanovit nulovou polohu mikrometru či posuvného měřidla.

Pomůcky:

měřené těleso (kvádr, válec, matka apod.), posuvné měřidlo, mikrometrické měřidlo

Postup:

1. Zkontrolujte nulovou polohu posuvného měřidla.
2. Na různých místech válečku (případně kuličky) změříme desetkrát jeho průměr a měření zapisujte do tabulky.
3. Vypočítáme aritmetický průměr $\bar{x}$ a průměrnou odchylku Δx . Odchylku zaokrouhlíme na jednu platnou číslici a na stejný řád upravíme aritmetický průměr. Výsledek zapíšeme ve tvaru $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$ jednotka.
4. Vypočteme také relativní odchylku δx ze vztahu $\delta x = \frac{\Delta x}{x}$. Relativní odchylku vyjadřujeme obvykle v procentech. Relativní odchylku v procentech vypočítáme ze vztahu $\delta x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \%$. Laboratorní měření považujeme za dostatečně přesné, je-li relativní odchylka menší než 1 %.
5. Nyní určíme nulovou polohu mikrometru, kterou si označíme d_0 , pak teprve měříme průměr válečku. Měřený průměr si označíme d_1 . Správný průměr válečku je $d = d_1 - d_0$. Měření provedeme také desetkrát.
6. Nyní srovnáme výsledky obou měření a jejich relativní chyby.

Závěr:

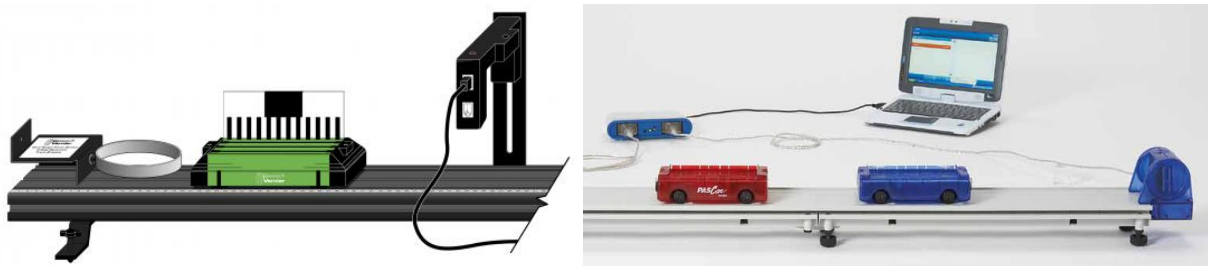
Měření délky pomocí posuvného a mikrometrického měřidla patří k základním úlohám středoškolských laboratorních cvičení.

Poznámky:

1. Je důležité, aby si žáci důkladně procvičili měření s posuvným a mikrometrickým měřidlem, jelikož tyto pomůcky budou často v laboratorních cvičeních používat. Také je třeba věnovat dostatek času analýze naměřených dat, jejich zpracování, výpočtu a stanovení chyb měření.

3 Demontrace na vozičkové dráze

Vozičková souprava se skládá z dráhy (resp. vzduchové dráhy), dvou vozičků, kladky a příslušenství. S využitím této soupravy lze demonstrovat rovnoměrný přímočarý pohyb, rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb, pohyb po nakloněné rovině, druhý Newtonův pohybový zákon, pružný a nepružný ráz, zákon zachování kinetické energie, zákon zachování hybnosti apod. Vozičkovou soupravu dodávají např. výrobci školních pomůcek Vernier a Pasco (viz obr. 3.1). Na školách se lze také setkat se starším dřevěným modelem vozičkové dráhy. V této kapitole budeme experimentovat se vzduchovou dráhou (viz obr. 3.2), která je dodávána firmou Phywe.



Obr. 3.1 Vozičková souprava Vernier a Pasco (převzato z www.vernier.com, www.pasco.cz)



Obr. 3.2 Vzduchová dráha s vozičky

3.1 Rovnoměrný přímočarý pohyb

Rovnoměrný přímočarý pohyb je nejjednodušším rovnoměrným pohybem. Při tomto pohybu urazí těleso za stejné časové intervaly vždy stejné úseky dráhy.

Pomůcky:

vzduchová dráha (příp. vozičková dráha) s příslušenstvím, metronom

Postup:

1. Vzduchovou dráhu nastavíme do vodorovné polohy pomocí stavěcích šroubů na podstavcích noh. Při správném nastavení dráhy zůstává vozík (při vhánění vzduchu z kompresoru do dráhy) na místě a nepohybuje se.
2. Zapneme kompresor a vozík upevníme do startovacího zařízení na okraji vzduchové dráhy. Dva po sobě následující zvukové signály na metronomu volíme zcela libovolně.

3. Uvolníme vozík a např. pomocí magnetů budeme na vzduchové dráze zaznamenávat polohu vozíku v okamžiku zaznění zvukového signálu z metronomu (dráhu začneme odečítat od okamžiku, kdy se vozík začne pohybovat pohybem rovnoměrným přímočarým). Výsledky experimentu zaznamenáme.
4. Pokus zopakujeme pro jiný časový interval a výsledky opět zaznamenáme.

Závěr:

Z měření vyplývá, že nepůsobí-li na vozík síla, urazí vozík za stejné časové úseky vždy stejnou dráhu. Zvolíme-li jiný časový interval, jsou uražené úseky dráhy stejné, ale jiné než v prvním případě.

Poznámky:

1. Na metronomu zvolíme určitý čas mezi dvěma zvukovými signály, např. 1 s. Zaznamenáváme dráhu s i čas t od okamžiku, kdy se vozík začne pohybovat rovnoměrným přímočarým pohybem. Příslušné hodnoty dráhy a času zapíšeme do tabulky a sestojíme graf $s = f(t)$. Z vytvořeného grafu vidíme, že mezi s a t je přímá úměrnost. Platí $s = vt$, kde veličina v je konstanta úměrnosti. Je to velikost rychlosti rovnoměrně přímočarého pohybu.
2. Závislost mezi dráhou a časem rovnoměrně přímočarého pohybu lze stanovit i bez metronomu. Na vzduchové dráze zvolíme v místech, kde se vozíček pohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem dva body, které umístíme do určité vzdálenosti od sebe Δs_1 . Stopkami několikrát změříme časový interval Δt_1 , za který urazí vozíček vzdálenost Δs_1 . Hodnoty Δs_1 a Δt_1 zapíšeme do tabulky. Zvolíme jinou vzdálenost Δs_2 a stopkami opět několikrát změříme časový interval Δt_2 . Z výsledků měření vyplývá, že podíl $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ je konstantní.
3. Na horní část vozíku připevníme destičku o délce d . Na úseky, kde se vozík pohybuje rovnoměrným pohybem, umístíme optické závory, které připojíme k PC. Z naměřených hodnot na optických závorách stanovíme dobu, po kterou projíždí destička o délce d pod optickou závorou. Z naměřených hodnot pro různé polohy optických závor ověříme platnost vztahů pro rovnoměrný přímočarý pohyb.
4. Videoanalýzu k tomuto experimentu lze nalézt na webové stránce:
<http://pokusy.upol.cz>

3.2 Rovnoměrně zrychlený (zpomalený) přímočarý pohyb

Jestliže se velikost rychlosti tělesa při pohybu mění, jde o nerovnoměrný přímočarý pohyb. Nejjednoduššími nerovnoměrnými pohyby jsou rovnoměrně zrychlený a rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb. U těchto pohybů je rychlost lineární funkcí času a velikost zrychlení je konstantní.

Pomůcky:

vzduchová dráha (příp. vozíčková dráha) s příslušenstvím, metronom

Postup:

1. Vzduchovou dráhu nastavíme do vodorovné polohy pomocí stavěcích šroubů na podstavcích noh. Při správném nastavení dráhy zůstává vozík (při vhánění vzduchu

z kompresoru do dráhy) na místě a nepohybuje se. Kladka na vozíčkové dráze musí být vysunuta mimo stůl. K vozíčku připevníme nit, kterou vedeme přes kladku a na volný konec nitě upevníme urychlující závaží libovolné hmotnosti, např. 3 g. Časový interval na metronomu nastavíme např. na 1 s.

2. Nejprve budeme demonstrovat závislost dráhy na čase rovnoměrného zrychleného pohybu. Zapneme dmýchadlo a metronom. V okamžiku úderu metronomu uvolníme vozík a zjišťujeme dráhy, které vozík urazí za 1 s, 2 s atd. Měření provedeme opakovaně a vypočítáme průměrné hodnoty. Získané hodnoty zapíšeme do tabulky a vyneseme do grafu $s = f(t)$. Vidíme, že závislost není lineární, ale tvar křivky připomíná část paraboly. Vyneseme-li získané hodnoty do grafu $s = f(t^2)$, zjistíme, že grafem je přímá úměrnost.
3. Nyní budeme demonstrovat závislost rychlosti na čase rovnoměrného zrychleného pohybu. Zapneme dmýchadlo a metronom. V okamžiku úderu metronomu uvolníme vozík. Nit s urychlujícím závažím zachytíme v okamžiku 1 s, tzn., že následující pohyb vozíku je rovnoměrný a má rychlost rovnu okamžité rychlosti v čase 1 s. Nyní pokus opakujeme, ale nit s urychlujícím závažím zachytíme v okamžiku 2 s, 3 s atd. Výsledky si zapisujeme do tabulky a vytvoříme graf $v = f(t)$. Z grafu vidíme, že rychlost je přímo úměrná času.

Závěr:

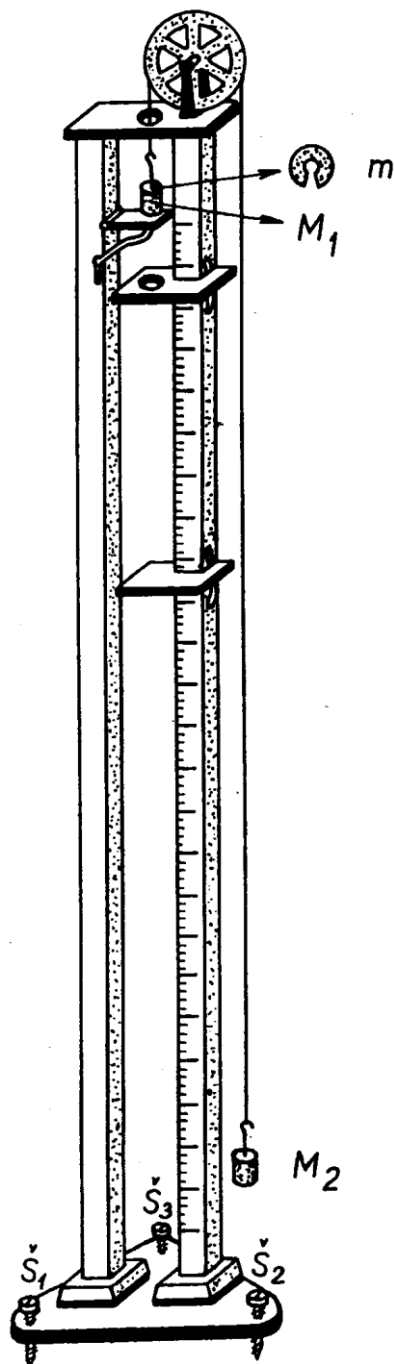
Dráha rovnoměrně zrychleného pohybu je přímo úměrná druhé mocnině času. V druhé části experimentu demonstrujeme, že mezi okamžitou rychlostí a dobou, po kterou se vozík pohybuje, je přímá úměrnost.

Poznámky:

1. Vozíčkovou dráhu je vhodné využít při demonstraci druhého Newtonova pohybového zákona. Tento experiment je uveden v kapitole 6.2.
2. K měření, lze obdobně jako u experimentu 3.1, také využít PC a optické závory, které snímají průchod vozíku ve zvolených pozicích.
3. Výsledky měření výrazně závisí na technickém stavu vozíčkové dráhy.
4. Pokud nevlastníte vozíčkovou dráhu, lze experimenty provádět i na demonstračním stole s využitím vozíčků s minimálním třením. Pokud nevlastníte ani vozíčky lze si je vyrobit např. z lepenky dle návodu z webové stránky:
<http://skolnipomucky.websnadno.cz/Mechanika.html>
5. Videoanalýzu k tomuto experimentu lze nalézt na webové stránce:
<http://pokusy.upol.cz>

4 Demonstrace na Atwoodovu padostroji

Atwoodův padostroj (viz obr. 4.1) patří ke starším fyzikálním pomůckám pro demonstraci rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu. V horní části se nachází otáčivá kladka, přes kterou je vedena pevná nit. Na ní jsou zavěšena dvě stejně těžká závaží ($M_1 = M_2$).



Obr. 4.1 Atwoodův padostroj (převzato z Žouželka, J.: *Praktikum školních pokusů 1*, str. 12)

Pomůcky:

Atwoodův padostroj s příslušenstvím, stopky nebo metronom

Postup:

1. Na závaží, které je u měřítka, přidáme malý přivažek (o hmotnosti m). Toto závaží je před začátkem demonstrace podepřeno padacím můstkem, který je uchycen k začátku stupnice.
2. Nachystáme si stopky (nebo nastavíme metronom) a v okamžiku zapnutí stopek, či v okamžiku úderu metronomu, spustíme můstek a celou soustavu uvedeme do pohybu.
3. Na stupnici si zaznamenáváme okamžiky průchodu závaží s přivažkem v pevně stanovených časových intervalech (např. každé 2 s, nebo při úderu metronomu). Toto měření je třeba několikrát zpřesňovat, protože se při prvním pokusu nepodaří přesně stanovit dané pozice.
4. Ze zaznamenaných pozic je zřejmé, že naměřené délky drah jsou přímo úměrné druhé mocnině času.
5. Nyní připevníme na Atwoodův padostroj stolek s otvorem. Stolek vložíme do místa, kde chceme měřit okamžitou rychlost.
6. Opět spustíme můstek a uvedeme celou soustavu do pohybu. V okamžiku, kdy prochází závaží s přivažkem stolem s otvorem, dojde k zachycení přivažku. Od tohoto průchodu měříme opět dráhu, kterou urazí závaží v pevně stanoveném časovém okamžiku. Z naměřených hodnot vyplývá, že nyní se jedná o pohyb rovnoměrný, který probíhá rychlostí, kterou měla soustava v okamžiku, kdy byl přivažek zadržen.
7. Stolek s otvorem můžeme postupně vkládat do různých míst na stupnici a měření analogicky opakovat.

Závěr:

Atwoodův padostroj lze použít pro demonstraci základních kinematických vztahů pro rovnoměrný a rovnoměrně zrychlený pohyb.

Poznámky:

1. Tento experiment je vhodné použít spíše pro demonstrační účely k vysvětlení základních kinematických vztahů, než pro přesné laboratorní měření.
2. Ve středoškolských sbírkách fyziky se objevuje řada početních příkladů, kdy jsou na vlákne zavěšena přes pevnou kladku dvě závaží. K řešení těchto příkladů lze žákům ukázat experimenty na Atwoodově padostroji.

Při výpočtu takového příkladu postupně odvodíme vzorec

$$a = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} g, \quad (4.1)$$

kde a je zrychlení celé soustavy. Vlákno, kterým jsou závaží spojena, má stále stejnou délku, neprotahuje se a ani se nezkracuje. Závaží se pohybují opačným směrem (jedno nahoru, druhé dolů) se stejnou rychlostí a se stejným zrychlením.

Jestliže budou mít závaží stejnou hmotnost ($M_1 = M_2$), bude čítec ve vzorci 4.1 roven nule. Dvě stejná závaží se budou pohybovat (nebo budou v klidu) s nulovým zrychlením (tj. půjde o rovnoměrný pohyb). Pokud nebudou hmotnosti závaží stejné, pak se bude soustava pohybovat s nenulovým zrychlením (tj. půjde o rovnoměrně zrychlený pohyb).

5 Volný pád

Volný pád je zvláštní případ rovnoměrně zrychleného pohybu s nulovou počáteční rychlostí. Je to pohyb tělesa volně padajícího ve vakuu v blízkosti povrchu Země.

Pomůcky:

kuličkový padostroj, univerzální elektronický měřič času, metr

Postup:

1. Padostroj tvoří stativová tyč, na níž je upevněno zařízení pro spuštění kuličky a záchytná miska se spínacím kontaktem.
2. K padostroji připojíme elektronický měřič času.
3. Kuličku upevníme do horní části padostroje. V okamžiku uvolnění kuličky se spustí měřič času, který se zastaví v okamžiku dopadu kuličky na záchytnou misku. Na displeji se objeví čas, po který kulička padala.
4. Změříme dráhu od horní části padostroje k záchytné misce a hodnoty zapíšeme do tabulky. Vynulujeme elektronický měřič času a měření několikrát opakujeme.
5. Horní držák padostroje posunujeme níže a celé měření několikrát opakujeme.
6. Sestrojíme graf $s = f(t)$. Z grafu je vidět, že závislost není lineární. Sestrojíme graf $s = f(t^2)$. Vidíme, že v tomto případě platí přímá úměra.

Závěr:

Vyhodnocením měření zjistíme, že volný pád je pohyb rovnoměrně zrychlený. Ze vztahu

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad (5.1)$$

lze vypočítat velikost tíhového zrychlení g .

Poznámky:

1. Zajímavým žákovským pokusem k tomuto tématu je zjišťování reakční doby žáků. K demonstraci stačí pouze delší rovné pravítko. Jeden žák drží pravítko za horní konec a nechá ho viset svisle dolů. Druhý žák umístí palec a ukazováček k dolnímu konci pravítka, tak aby pravítko nedržel. Mezi prsty doporučujeme vložit rysku 0 cm, pro jednodušší odečítání délky. První žák odpočítává a pustí pravítko. Druhý žák okamžitě chytí padající pravítko. Odměřením vzdálenosti mezi prsty a dolním koncem pravítka zjistíme dráhu, kterou pravítko urazilo. Pravítko se pohybuje volným pádem se zrychlením přibližně $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Ze vztahu

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}}, \quad (5.2)$$

- lze stanovit dobu pádu pravítka, a tedy reakční dobu druhého žáka.
2. Studium volného pádu lze provést pomocí dalších přístrojů a pomůcek, jako je např. Babinetův padostroj, nebo několik optických závor.

6 Newtonovy pohybové zákony

Základem dynamiky jsou tři Newtonovy pohybové zákony.

První pohybový zákon říká, že každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami svůj pohybový stav změnit.

Druhý pohybový zákon říká, že zrychlení tělesa je přímo úměrné výslednici sil působících na těleso a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.

Třetí pohybový zákon říká, že síly, kterými na sebe navzájem působí dvě tělesa, jsou stejně velké, opačného směru a současně vznikají a zanikají. Jednu sílu nazýváme akce, druhou reakce. Každá z těchto sil působí na jiné těleso, proto se ve svých účincích navzájem neruší.

6.1 Zákon setrvačnosti

Pomůcky:

ocelová koule

Postup:

1. Ocelovou kouli položíme na hladký stůl (případně na skleněnou desku) a uvedeme ji do pomalého pohybu.
2. Pokud je třecí síla mezi deskou a ocelovou koulí malá, rychlost koule se během pohybu téměř nemění.

Závěr:

Experiment demonstruje zákon setrvačnosti.

Poznámky:

1. Demonstraci zákona setrvačnosti lze provést pomocí několika jednoduchých experimentů. Např. přes otvor lahve s širším hrdlem (např. od kečupu) postavíme obruč z tuhého papíru. Na tento papírový kruhový pás nahoru položíme minci. Prudkým pohybem odstraním obruč z láhve. Mince spadne dovnitř do láhve.

6.2 Druhý Newtonův pohybový zákon

Ve druhém pohybovém zákonu vyjádřil Newton vztah mezi výslednicí sil F působící na hmotný bod a zrychlením a hmotného bodu. Pohybová rovnice pro naši soustavu těles (viz obr. 6.1) je při zvolení vhodné souřadné soustavy zapsána skalárně vztahem

$$(M + m_z)a = m_z g, \quad (6.1)$$

kde a je zrychlení celé soustavy, g tíhové zrychlení, M hmotnost vozičku a m_z hmotnost urychlujícího závaží.

Okamžité zrychlení, rychlost a pozice vozičku lze stanovit ze vztahů (6.2-6.4).

$$a = \frac{m_z g}{M + m_z} \quad (6.2)$$

$$v = \frac{m_z g}{M + m_z} t \quad (6.3)$$

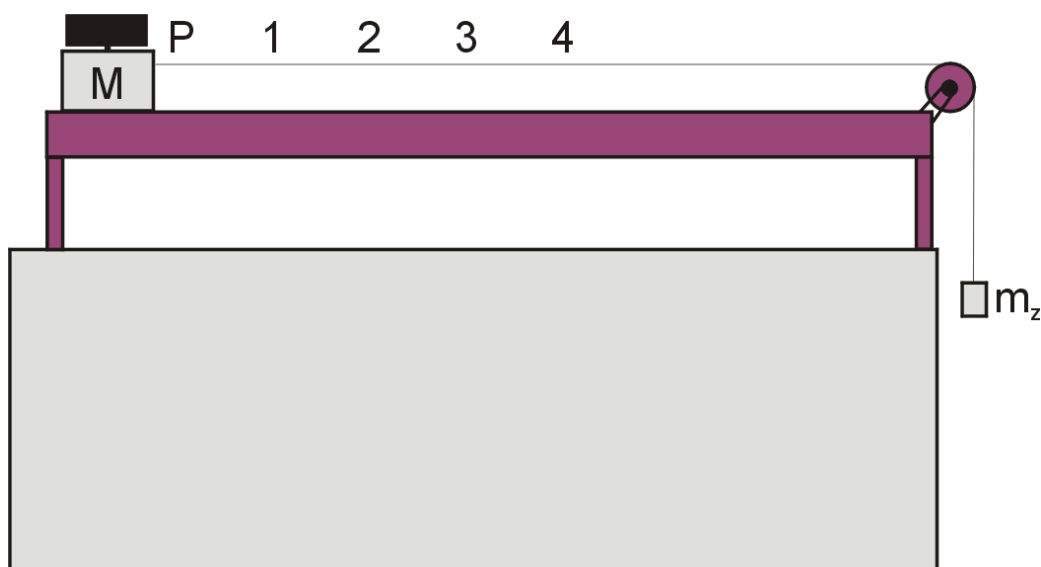
$$s = \frac{1}{2} \frac{m_z g}{M + m_z} t^2 \quad (6.4)$$

Pomůcky:

vzduchová dráha (příp. vozíčková dráha) s příslušenstvím, optické závory, měřicí rozhraní, počítač

Postup:

1. Vzduchovou dráhu umístíme na stůl tak, aby byla kladka této dráhy vysunuta mimo stůl (viz obr. 6.1).



Obr. 6.1 Schéma sestavení experimentu

2. Na dráhu umístíme vozíček (s černou destičkou o délce d) o celkové hmotnosti M a pomocí provázku (nebo silné nitě) jej přes kladku spojíme se závažím o hmotnosti m_z . Jednu optickou závoru umístíme těsně za vozíček do pozice P (viz obr. 6.1). V této pozici bude tato optická závora po celou dobu měření. Druhou optickou závoru umístíme nejprve na pozici 1 (druhou optickou závoru budeme postupně umisťovat na pozice 1, ..., 4, tyto pozice volíme tak, aby vzdálenost mezi nimi byla konstantní, a současně vozíček projede pozici 4 těsně před dopadem závaží m_z na podlahu).
3. K počítači připojíme obě optické závory a spustíme vhodný program (v tomto případě se jedná o program Logger Pro). Zapneme vzduchovou dráhu a necháme vozíček samovolně pohybovat.
4. Z naměřených hodnot určíme čas, za který urazí vozíček dráhu mezi jednotlivými závorami a ze známé délky černé destičky d_1 stanovíme rychlost vozíčku v místě 1. Toto měření několikrát opakujeme. Pak optickou závoru přemístíme do pozic 2, 3 a 4 a analogicky měření opakujeme. Pokud máme k dispozici více, než 2 optické závory lze samozřejmě měřit více pozic vozíčku současně.

5. Nyní upevníme na voziček symetricky dvě dodatečná závaží. Na digitálních vahách zvážíme hmotnost vozičku a celé měření opakujeme pro voziček o jiné hmotnosti.
6. Změníme velikost závaží, které urychluje voziček, a celé měření znovu opakujeme.
7. Ze všech naměřených hodnot vytvoříme následující grafy:
 - a. závislost dráhy vozičku na čase;
 - b. závislost dráhy vozičku na druhé mocnině času;
 - c. závislost rychlosti vozičku na čase;
 - d. závislost zrychlení vozičku na vztahu $\left(\frac{1}{M + m_z} \right)$.
8. Srovnáme výsledky získané z vytvořených grafů s výsledky, které vyplývají z teorie.

Závěr:

Experimentem jsme ověřili platnost druhého Newtonova zákona a vztahy, které z něj vyplývají.

Poznámky:

1. Videoanalýzu k tomuto experimentu lze nalézt na webové stránce: pokusy.upol.cz

6.3 Zákon akce a reakce

Pomůcky:

dva stejné siloměry do 10 N, provázek, dřevěný kvádr s háčkem

Postup:

1. Jeden siloměr uchytneme za hák ve zdi (můžeme upevnit ke stolu, klíče od okna či dveří) a provázkem k němu připojíme druhý siloměr.
2. Když za siloměr s volným koncem zatáhneme, ukážou výchylku oba dva. Tyto výchylky jsou stejné.

Závěr:

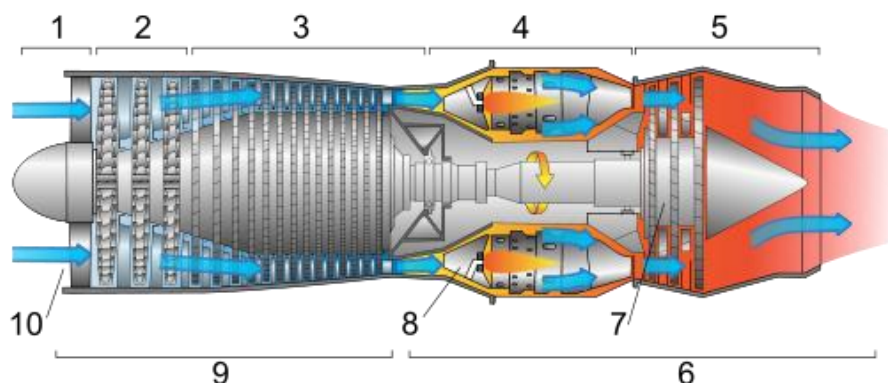
Síly akce a reakce mají stejnou velikost, ale opačný směr. Tyto síly vznikají a zanikají současně.

Poznámky:

1. Do demonstrace lze také zapojit žáky. Dva žáci drží dva siloměry, spojené provázkem, ve vodorovné poloze. Jeden žák zatáhne za siloměr směrem k sobě, druhý netáhne.

7 Reaktivní motory

Reaktivní motory se využívají v moderním letectví a v kosmonautice (viz obr. 7.1). Tryskami motoru unikají velkou rychlostí plyny vznikající při spalování pohonných látek. Podle zákona zachování hybnosti je raketa uvedena do pohybu opačným směrem.



Obr. 7.1 Schéma proudového motoru, což je jeden z příkladů reaktivního motoru. Vysvětlivky: 1, 10 – přívod vzduchu, 2, 3 – stlačení, 4 – spalování, 5 – výfuk, 6 – horká část, 7- turbíny, 8 – spalovací komory, 9 – studená část (převzato z http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/Jet_engine_numbered.svg)

7.1 Heronova parní baňka

Matematik, fyzik a vynálezce Heron Alexandrijský žil v 1. století n. l. Je považován mj. za vynálezce reaktivního pohonu. Zkonstruoval parní kouli (viz obr. 7.2), do níž byla přiváděna horká pára a ta vycházela vhodně směřovanými tryskami z koule ven. Na základě zákona zachování hybnosti se koule roztočila.



Obr. 7.2 Heronova parní baňka (převzato z http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Aeolipile_illustration.JPG)

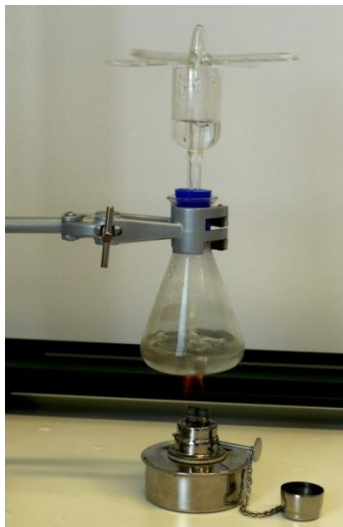
Pomůcky:

Heronova parní baňka, plynový nebo lihový kahan

Postup:

1. Baňku (viz obr. 7.3) ve spodní části naplníme cca do 1/3 vodou. Baňku v horní části naplníme také částečně vodou, aby pára mohla unikat pouze 4 horními otvory.

2. Heronovu baňku dostatečně upevníme do držáku a zkontrolujeme, zdali se horní část může volně otáčet.
3. Spodní nádobu Heronovy baňky zahříváme plynovým (nebo lihovým) kahanem až do varu vody.
4. Tryskami začne unikat pára a trysky se začnou otáčet v opačném směru.



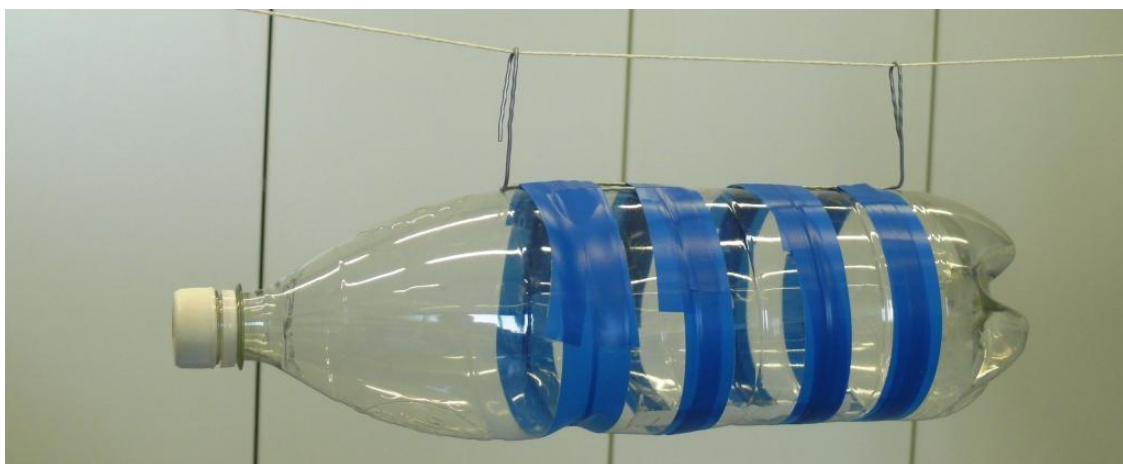
Obr. 7.3 Heronova parní baňka

Závěr:

Tímto experimentem demonstrujeme princip reaktivního parního motoru a také přeměnu tepelné energie na práci.

Poznámky:

1. Heronovu parní baňku si lze jednoduše vyrobit např. z plechovky od nápoje, do které uděláme dva otvory proti sobě a připevníme vhodné trysky (např. brčka).
2. Princip reaktivního motoru je možno také demonstrovat pomocí lihové rakety, kterou lze vyrobit z PET lahve (viz obr. 7.4). Na PET lahev upevníme dvě kancelářské sponky a do víčka vyvrtáme malý otvor, kterým budou unikat páry lihu. Do lahve nalijeme trochu lihu a důkladně lahev protřepeme. Přebytný líh vylijeme, uzavřeme raketu víčkem a pověsíme ji na nataženou šňůru. Zapálenou sirkou se přiblížíme k víčku lahve. Výpary se vznítí a raketa vyletí po vytyčené dráze.



Obr. 7.4 Lihová raketa

3. Mezi zajímavé experimenty patří také tzv. vodní rakety, které si lze jednoduše vytvořit z PET lahve, kterou cca do 1/3 naplníme vodou a pomocí hustilky zvýšíme přes odvrtnou zátku lahve tlak v raketě. Zajímavé a velmi propracované materiály k výrobě takovýchto raket lze nalézt na následujících webových stránkách.
<http://www.hvezdarna-vsetin.cz/view.php?cisloclanku=2011040003>
<http://www.astro.zcu.cz/cs/clanky/clanek/121/>

7.2 Segnerovo kolo

V elektrárnách se stále používají reaktivní turbíny. Podstatu činnosti reaktivní turbíny lze ukázat pokusem se Segnerovým kolem. Tvůrcem tohoto kola je slovenský fyzik, lékař a vynálezce Ján Andrej Segner, který se narodil 9. října 1704 v Bratislavě. Segnerovo kolo je založeno na účinku proudu vody vytékající z válcovité nádoby, která má v dolní části několik vodorovných ramen zahnutých v jednom směru. Tlak vytékající vody vyvolává reakci a nádobu roztáčí opačným směrem. Jeho objev se stal základem pozdějších konstrukcí a principů reaktivních turbín a raket.

Pomůcky:

Segnerovo kolo, miska na odtok vody

Postup:

1. Segnerovo kolo umístíme tak, aby do horní části bylo možné jednoduše nalévat vodu a aby ve spodní části mohla voda volně vytékat. Do horní části nalijeme dostatek vody. Pozorujeme, že spodními tryskami začne vytékat voda a kolo se začne otáčet v opačném směru.



Obr. 7.5 Segnerovo kolo

Závěr:

Experimentem demonstrujeme podstatu činnosti reaktivní turbíny.

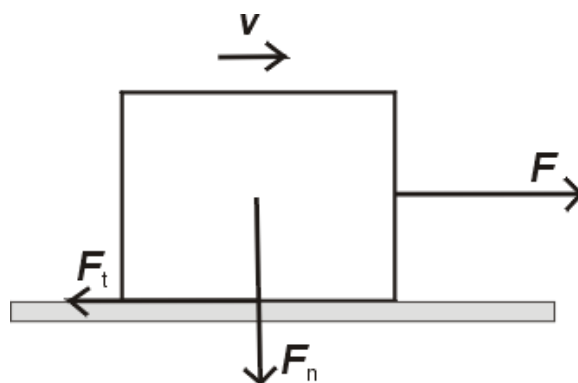
8 Smykové tření

Jestliže je těleso v přímém styku s podložkou a pohybuje se tak, že se posouvá či smýká po povrchu této podložky, vzniká na styčné ploše mezi tělesem a podložkou třecí síla F_t , která směřuje vždy proti směru rychlosti tělesa (viz obr. 8.1). Velikost třecí síly je přímo úměrná velikosti tíhové síly F_n kolmé k podložce, po níž se těleso pohybuje. Pro velikost třecí síly platí vztah (8.1), kde f je součinitel smykového tření.

$$F_t = f F_n \quad (8.1)$$

Součinitel smykového tření f nemá jednotku a závisí na jakosti stykových ploch tělesa a podložky.

Síla potřebná k uvedení tělesa do pohybu je větší než síla, která udržuje těleso v rovnoměrném přímočarém pohybu. Mezi tělesem a podložkou působí za klidu klidové tření. Součinitel klidového tření f_0 je za jinak stejných podmínek vždy větší než součinitel smykového tření f .



Obr. 8.1 Smykové tření

8.1 Měření třecí síly siloměrem

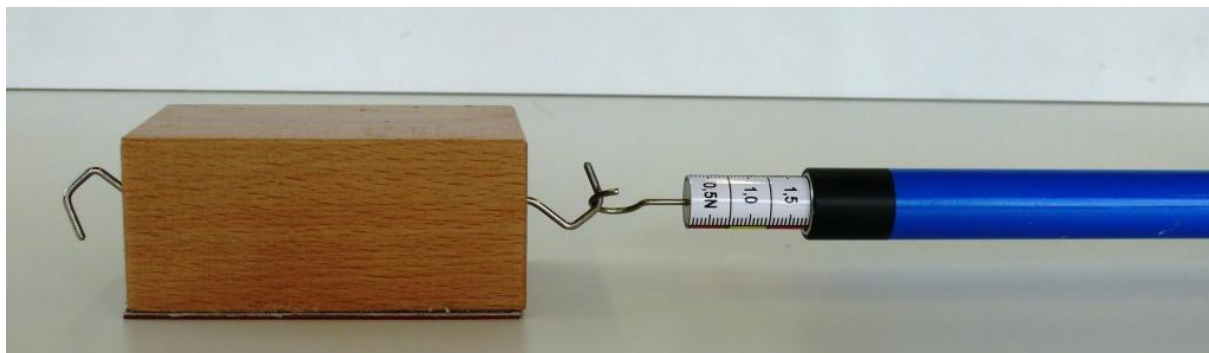
Pomůcky:

siloměr, (dřevěný) hranol s háčkem

Postup:

1. Hranol položíme na vodorovný stůl a připojíme k němu siloměr. Tahem siloměru uvedeme hranol do rovnoměrného pohybu (při uvádění hranolu z klidu do pohybu ukazuje siloměr větší sílu než při dalším pohybu). Při rovnoměrném pohybu ukazuje siloměr konstantní velikost síly, která se rovná velikosti třecí síly při smykovém tření.
2. Hodnotu síly $F = F_t$, při rovnoměrném pohybu, si zapíšeme. Pro přesnější měření je vhodné měření několikrát analogicky zopakovat.
3. Zavěšíme hranol na siloměr a určíme jeho tíhu $F_G = F_n$. Hodnotu si opět zapíšeme a pomocí vzorce 8.1 dopočítáme součinitel smykového tření f .
4. Nyní zvětšíme tíhu tělesa (např. tím, že na hranol položíme závaží) a body 1-3 z postupu opakuje.

5. Nezávislost velikosti třecí síly na velikosti styčné plochy demonstrujeme tak, že nejprve zjistíme velikost třecí síly při pohybu kvádru po největší stěně a podruhé položíme kvádr na podložku menší stěnou a změříme velikost třecí síly v tomto druhém případě.
6. Pro demonstraci závislosti velikosti třecí síly na jakosti styčných ploch použijeme podložky z různých materiálů (dřevo, kov, sklo, plast, apod.) po kterých smykáme dřevěný kvádr. Další možností je nalepit na stěny kvádru různé materiály (např. brusný papír, běžnou látku, PVC apod.).



Obr. 8.2 Stanovení velikosti třecí síly

Závěr:

Ověřili jsme si, že síla potřebná k uvedení hranolu z klidu do pohybu je větší než síla, která hranol udržuje v rovnoměrném přímočarém pohybu. Také jsme si ověřili, že velikost třecí síly F_t je přímo úměrná velikosti tlakové síly F_n , kterou těleso působí na podložku. Velikost třecí síly nezávisí na plošném obsahu styčných ploch mezi tělesem a podložkou, ale závisí na tom, z jakých látek jsou tyto plochy a jak je opracován jejich povrch, tedy na jakosti povrchů.

Poznámky:

1. Pro zvýšení zájmu žáků o tento experiment lze místo dřevěného hranolu použít např. starou botu, učebnici fyziky, telefonní seznam apod.
2. Místo klasického školního siloměru lze využít i digitální siloměr, který umožňuje komfortnější a přesnější záznam a analýzu naměřených dat.

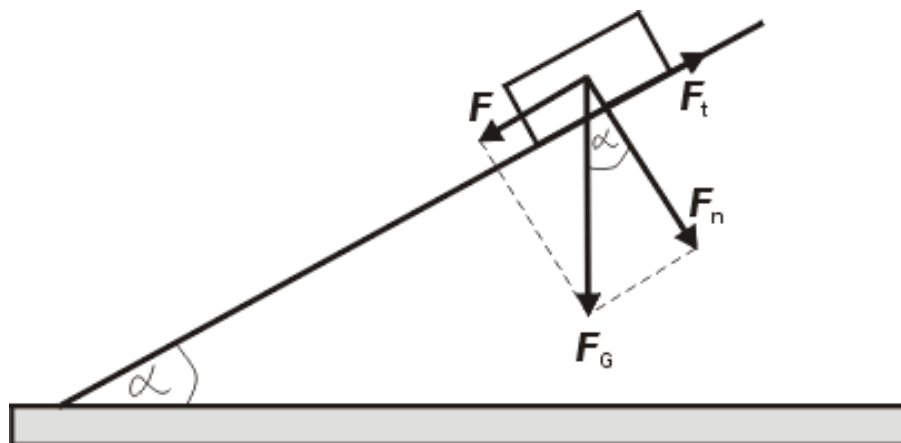
8.2 Stanovení součinitele smykového tření na nakloněné rovině

Pomůcky:

(dřevěný) hranol, úhloměr, podložka, u které lze měnit sklon (nakloněná rovina)

Postup:

1. Na nakloněnou rovinu, jejíž sklon je nulový, postavíme hranol. Buď máme k dispozici nakloněnou rovinu s úhloměrem, nebo si nakloněnou rovinu jednoduše vytvoříme pomocí desky z libovolného materiálu.
2. Zvětšujeme sklon nakloněné roviny do okamžiku, než se po mírném strčení do hranolu dá hranol do rovnoměrného pohybu.
3. Příslušný úhel sklonu si zapíšeme a vypočítáme součinitele smykového tření f . Pro přesnější měření je vhodné měření několikrát analogicky zopakovat.



Obr. 8.3 Rozklad sil na nakloněné rovině

Závěr:

Velikost třecí síly lze určit ze vztahu 8.1. Z obrázku 8.3 je patrné, že $F_t = F_G \sin \alpha$ a $F_n = F_G \cos \alpha$. Dosazením do rovnice 8.1 tedy platí

$$f = \operatorname{tg} \alpha. \quad (8.2)$$

Poznámky:

1. Mírné postrčení do hranolu je nutné proto, že klidová třecí síla je větší než smyková třecí síla.

9 Demonstrace odstředivým strojem

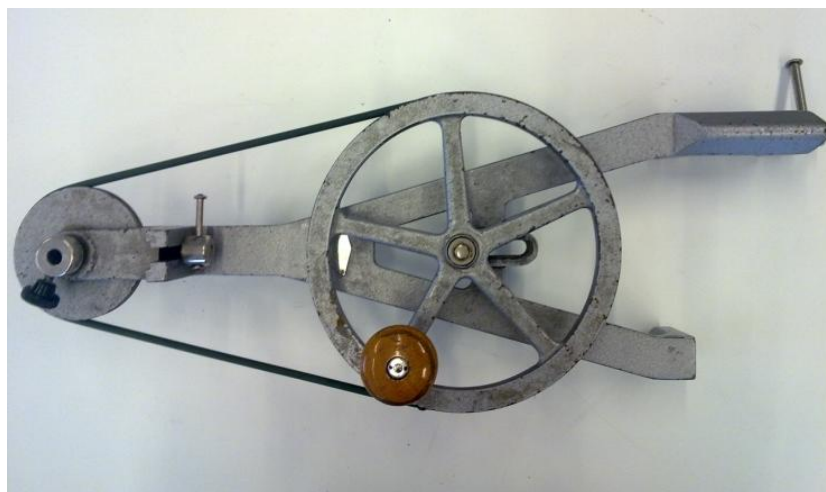
Podle druhého Newtonova pohybového zákona je příčinou zrychlení hmotného bodu vždy síla, která má stejný směr jako zrychlení. Na hmotný bod, který koná rovnoměrný pohyb po kružnici, působí tedy dostředivá síla F_d , která směřuje stále do středu kružnice. Působí-li na těleso, které koná rovnoměrný pohyb po kružnici, více sil, je dostředivá síla výslednicí všech těchto sil. Např. na sedačku řetízkového kolotoče působí tíhová síla F_G a tahová síla lana. Výslednicí těchto dvou sil je dostředivá síla, která způsobuje pohyb sedačky po kružnici.

Při demonstraci vztahu pro velikost dostředivé síly F_d , platí:

$$F_d = ma_d, \quad (9.1)$$

$$F_d = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m4\pi^2 f^2 r, \quad (9.2)$$

kde m je hmotnost tělesa, a_d dostředivé zrychlení, r je poloměr kružnice, v velikost rychlosti, ω úhlová rychlost a f frekvence otáček. Jsme odkázáni na předvádění účinků odstředivé síly. Podle zákona akce a reakce jsou velikosti obou těchto sil stejné.



Obr. 9.1 Odstředivý stroj

9.1 Besselovy kruhy

Besselovy kruhy jsou pružné ocelové obruče, přichycené k rotační ose a stlačené (ve směru osy) do tvaru kruhu (viz obr. 9.2).

Pomůcky:

odstředivý stroj, Besselovy kruhy

Postup:

1. Upevníme Besselovy kruhy do rotačního stroje. Při rotaci na odstředivém stroji se obruče deformují do eliptického tvaru.

Závěr:

Pomocí Besselových kruhů demonstrujeme vznik zploštění Země a jiných nebeských těles. Pokus ukazuje závislost odstředivé síly na úhlové rychlosti a frekvenci otáčení.

Poznámky:

1. Během experimentu dbáme na to, aby se žáci nepřibližovali k rotujícím Besselovým kruhům, z důvodu možného prasknutí namáhaných obručí.



Obr. 9.2 Besselovy kruhy



Obr. 9.3 Model Wattova odstředivého regulátoru

9.2 Wattův odstředivý regulátor

Tvůrcem prvních parních strojů byl anglický vynálezce Thomas Newcomen (1664–1729), který sestrojil parní stroj pro čerpání vody z dolů. Hlavní nevýhodou jeho stroje byla nízká účinnost, která byla způsobena zejména střídáním teplot v pracovním válci. Několika násobného zvýšení účinnosti tohoto parního stroje dosáhl skotský fyzik James Watt (1736–1819), sestrojením odděleného kondenzátoru páry.

Velkým problémem parního stroje bylo kolísání rychlosti otáčení při proměnlivé zátěži či tlaku páry. James Watt v roce 1782 sestrojil první průmyslově vyráběný proporcionální regulátor na čistě mechanickém principu, který využívá odstředivou sílu k omezování přívodu páry do stroje (Wattův odstředivý regulátor otáček).

Pomůcky:

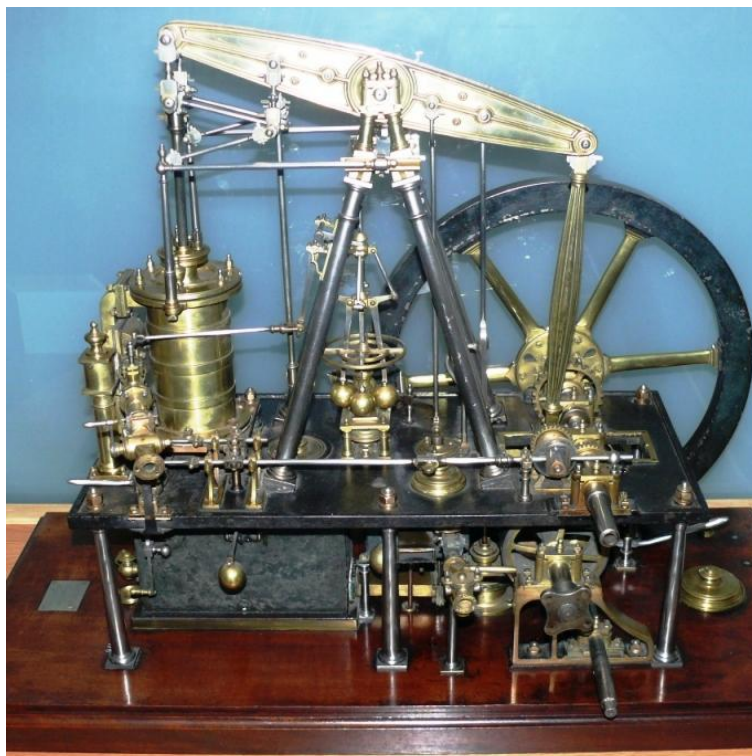
odstředivý stroj, model Wattova odstředivého regulátoru

Postup:

1. Wattův odstředivý regulátor upevníme do odstředivého stroje. Při roztáčení odstředivého stroje pozorujeme, že se kuličky odstředivého regulátoru zdvihají.

Závěr:

Na modelu Wattova odstředivého regulátoru demonstrujeme závislost odchylky koulí od osy na frekvenci otáček.

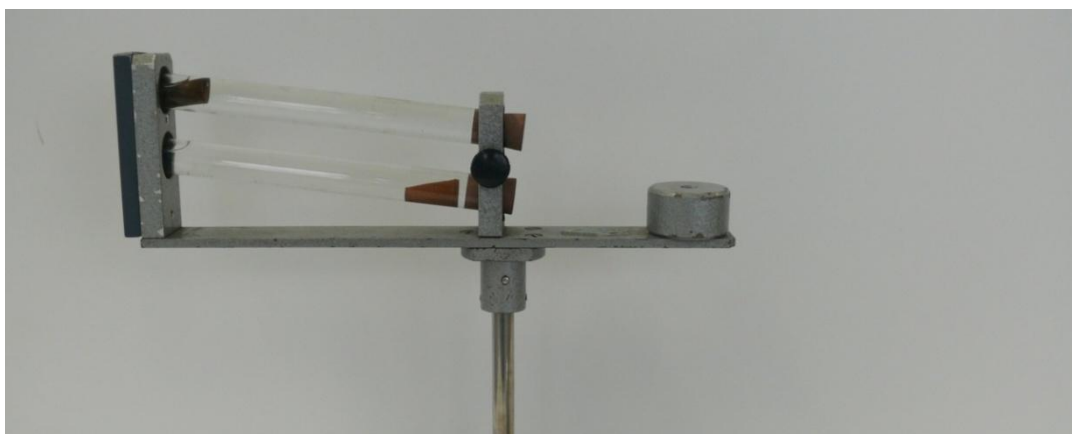


Obr. 9.4 Model parního stoje (fotografie ze Science Museum, Londýn)

9.3 Odstředivky

Pomůcky:

odstředivý stroj, modely odstředivek



Obr. 9.5 Demonstrační model odstředivky

Postup:

1. Do dvou zkumavek, které jsou upevněny v třmenu (viz obr. 9.5), nalijeme vodu. Dovnitř jedné zkumavky vložíme malou korkovou zátku, dovnitř druhé zkumavky vložíme malou PVC zátku a obě zkumavky pevně uzavřeme.
2. Roztočíme-li třmen se zkumavkami na odstředivém stroji, přibližuje se korková zátka k ose otáčení, PVC zátka se oddaluje od osy.

3. Po zastavení odstředivého stroje se zátky přemístí do původních poloh, tj. korková zátká vyplave nahoru, PVC zátká padá k ose otáčení.

Závěr:

Experimentem demonstrujeme princip odstředivky. Hustota korku $\rho = (200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$ je menší než hustota vody, hustota PVC $\rho = (1200 - 1300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$ je větší než hustota vody.

Poznámky:

1. Místo zátek lze zvolit libovolné předměty (např. kuličky), kde jeden předmět má hustotu větší než voda a druhý naopak menší.
2. K demonstraci principu odstředivky lze použít např. model lékařské odstředivky k urychlení sedimentace. Zkumavky, které jsou upevněny na ramenu sedimentační odstředivky, naplníme vodou, v níž jsme rozmíchali prášek např. z rozdrčené křídý. Stejnou směs nalijeme do zkumavky postavené na stole. Po roztočení odstředivého stroje částice rychle usedají. Ve zkumavce, která je v klidu na stole, jsou částice rozptýlené. Odstředivkou jsme urychlili sedimentaci látky s větší hustotou.

9.4 Demonstrace s rotující kapalinou

Pomůcky:

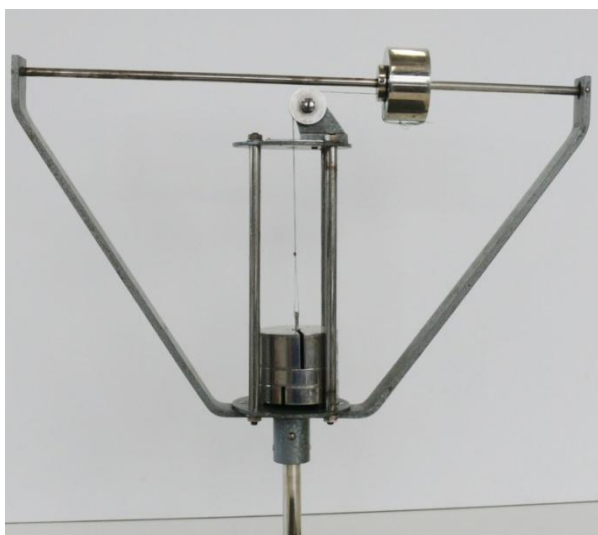
odstředivý stroj, skleněná válcovitá nádoba

Postup:

1. Skleněnou válcovitou nádobu naplníme asi do poloviny vodou.
2. Otáčením nádoby kolem její svislé osy se původně vodorovný povrch mění a zaujímá tvar rotačního paraboloidu.



Obr. 9.6 Demonstrace s rotující kapalinou



9.7 Kompenzace odstředivé síly závažím

Závěr:

Experimentem demonstrujeme tvar povrchu rotující kapaliny. Voda se na vnitřní straně plochy válcovité nádoby zvedá přibližně tak vysoko nad původní hladinu, jako ve vrcholu

paraboloidu pod ni klesne. Čím větší je frekvence otáčení, tím hlouběji klesá vrchol paraboloidu.

9.5 Kompenzace odstředivé síly

Pomůcky:

odstředivý stroj, doplňky pro kompenzaci odstředivé síly závažím a silou napnuté pružiny

Postup:

1. Do odstředivého stroje upevníme třmen s vodící tyčí pro kovový váleček (viz obr. 9.7). Váleček je přes kladku spojen vláknem se závažím. Zvyšujeme-li otáčky odstředivého stroje, posouvá se závaží po tyči směrem od osy otáčení a současně s tím se zvedá kovový váleček.
2. Do odstředivého stroje lze také upevnit doplněk, kde je odstředivá síla kompenzována silou napnuté pružiny. V tomto případě jsou vlákna (vedenými přes kladku) dva kovové válečky připojeny k pružině.

Závěr:

Experimentem demonstrujeme kompenzaci odstředivé síly závažím nebo silou napnuté pružiny. Při demonstraci lze nalézt takovou frekvenci otáčení, při níž odstředivá síla zvedne závaží, resp. napne pružinu.

9.6 Závislost odstředivé síly na hmotnosti tělesa a na vzdálenosti od osy otáčení

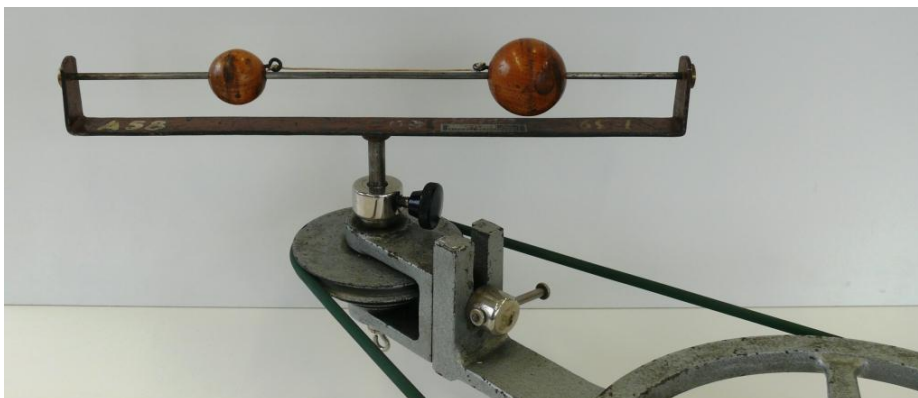
Pomůcky:

odstředivý stroj, dvě koule stejné hmotnosti upevněné na třmenu, které jsou spojeny provázkem, dvě koule různé hmotnosti upevněné na třmenu, které jsou spojeny provázkem

Postup:

1. Nejprve demonstrujeme závislost odstředivé síly na hmotnosti tělesa. Do odstředivého stroje upevníme třmen s koulemi různých hmotností. Koule umístíme do stejné vzdálenosti od osy otáčení.
2. Jestliže odstředivý stroj roztočíme, přetáhne kulička s větší hmotností kuličku s menší hmotností. Na kouli s větší hmotností působila větší odstředivá síla.
3. Dále budeme demonstrovat závislost odstředivé síly na vzdálenosti od osy otáčení. Do odstředivého stroje nyní upevníme třmen s koulemi stejných hmotností. Koule umístíme do stejné vzdálenosti od osy otáčení.
4. Jestliže odstředivý stroj roztočíme, pozorujeme, že obě kuličky zůstávají na stejném místě. Na obě kuličky působí stejně velká odstředivá síla. Nyní umístíme kuličky stejných hmotností do různých vzdáleností od osy otáčení.

5. Jestliže odstředivý stroj roztočíme, přetáhne kulička, která byla dále od osy, kuličku druhou na důkaz, že při stejné hmotnosti a stejné periodě otáček působí na těleso, které je vzdálenější od osy otáčení, větší odstředivá síla.
6. Na závěr demonstrujeme závislost odstředivé síly na frekvenci otáček. Opakujeme předchozí pokus, buď pro stejně, nebo pro rozdílně těžké koule. Z počátku otáčíme velmi pomalu a poté otáčky zvyšujeme. Přetažení těles nastane teprve tehdy, dosáhnou-li otáčky určité rychlosti, při níž odstředivá síla překoná tření kuliček na třmenu. Tím jsme si potvrdili, že odstředivá síla roste s frekvencí otáček.



Obr. 9.8 Demonstrace odstředivé síly na hmotnosti tělesa a vzdálenosti tělesa od osy otáčení

Závěr:

Experimentem jsme si ověřili závislost odstředivé síly na hmotnosti tělesa, vzdálenosti tělesa od osy otáčení a na frekvenci otáček. Pro velikost odstředivé síly platí: $F_d = m4\pi^2 f^2 r$.

9.7 Volná osa

Při postupném narůstání rotace tělesa kolem volné osy způsobí odstředivá síla změnu orientace tělesa tak, aby těleso zaujalo nakonec polohu s největším momentem setrvačnosti.

Pomůcky:

odstředivý stroj, lanko s řetízkem, kruhovým táckem nebo dřevěným válečkem

Postup:

1. Na spodní háček odstředivého stroje zavěsíme lanko, na jehož druhém konci je řetízek, kruhový tácek nebo dřevěný váleček.
2. Začneme-li odstředivý stroj roztáčet, pozorujeme, že předmět zavěšený na lanku zaujme vodorovnou polohu. Předmět se otáčí kolem své volné osy, která prochází těžištěm rotujícího tělesa.

Závěr:

Demonstrujeme, že pokud budeme roztáčet těleso zavěšené v jediném bodě, vznikající odstředivá síla způsobí, že těleso spontánně zaujme polohu odpovídající rotaci s největším momentem setrvačnosti. Např. tyč nebo prstenec zaujmou polohu horizontální.

10 Tlak v tekutině vyvolaný vnější silou

Pascalův zákon říká, že tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalně těleso v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný. Tento zákon platí také pro plyny. Nafukujeme-li balón, pneumatiku nebo vzduchové lehátko, napínají se jejich stěny ve všech místech stejně. Tlaková síla působí kolmo na stěny těchto předmětů.

10.1 Tlak v kapalině vyvolaný vnější tlakovou silou (demonstrace „ježek“)

Pomůcky:

přístroj pro demonstraci Pascalova zákona („ježek“), větší nádoba s vodou

Postup:

1. Celý přístroj plníme pod vodou v kádince (pohybujeme pístem, až je malá skleněná baňka s otvory zcela vyplněna vodou).
2. Přiměřenou silou tlačíme na píst a pozorujeme, že tlaková síla, kterou působí píst na kapalinu, se v ní přenáší ve všech směrech stejně a působí kolmo na stěny nádoby. Žáky upozorníme na okolnost, že voda stříká stejně prudce i ve směru, který je opačný než směr tlakové síly pístu na vodu.

Závěr:

Experiment demonstruje platnost Pascalova zákona.

10.2 Tlak v kapalině vyvolaný vnější tlakovou silou

Pomůcky:

přístroj pro demonstraci Pascalova zákona (obr. 10.1)

Postup:

1. Skleněnou nádobu částečně naplníme slabě obarvenou vodou a vzduchotěsně uzavřeme zátkou, kterou prochází několik skleněných trubic (viz obr. 10.1).
2. Skleněné trubice zasahují do různých hloubek v kapalině a mají otvory ohnuty do různých směrů. Na horní konec jedné trubice je připevněna injekční stříkačka (nebo pryžový balónek).
3. Stlačením injekční stříkačky se zvětší tlak vzduchu nad hladinou vody i tlaková síla, kterou působí vzduch na hladinu vody v nádobě. Pozorujeme výšku vody v jednotlivých trubicích.

Závěr:

Voda ve všech trubicích vystoupila do stejné výšky, což dokazuje, že se tlak ve vodě zvětšil v různých hloubkách o stejnou hodnotu. Ověřili jsme tedy Pascalův zákon. Tlak vyvolaný v kapalině vnější tlakovou silou, je ve všech místech kapaliny stejný.



Obr. 10.1 Přístroj pro demonstraci Pascalova zákona

Poznámky:

1. Přístroj pro demonstraci Pascalova zákona si lze vytvořit např. z PET lahve, do které přes vršek umístíme několik trubiček a vše vzduchotěsně utěsníme např. pomocí tavné pistole.
2. K tomuto experimentu lze na internetu nalézt několik videí, např.:
<http://fyzikalni-experimenty.cz>
<http://pokusy.upol.cz>

10.3 Hydraulický lis

Hlavní součástí hydraulického zařízení jsou dvě válcové nádoby různých průřezů, u dna spojené trubicí.

Působíme-li na menší píst o obsahu průřezu S_1 tlakovou silou F_1 , vyvolá tato síla v kapalině tlak $p = \frac{F_1}{S_1}$, který je ve všech místech kapaliny stejný, tedy i ve válci se širším pístem.

Pomůcky:

model hydraulického lisu (obr. 10.2), voda, předměty pro stlačení

Postup:

1. Naplníme dolní nádobu hydraulického lisu vodou. Předmět určený na lisování vložíme do mezery nad širším pístem. Menší píst stlačíme, současně se část kapaliny vytlačí do zásobníku.
2. Pohybem menšího pístu přečerpáme kapalinu ze zásobníku do prostoru pod větším pístem. Větší píst se působením tlakové síly vysouvá směrem nahoru a lisuje vložený předmět.



Obr. 10.2 Model hydraulického lisu

Závěr:

Experimentem demonstrujeme princip hydraulických zařízení.

Poznámky:

1. Hydraulický lis lze vytvořit např. ze dvou injekčních stříkaček rozdílného průřezu, které spojíme hadičkou a naplníme přiměřeným množstvím vody.

11 Tlak v kapalinách vyvolaný tíhovou silou

V tíhovém poli Země působí na každou částici kapaliny tíhová síla. Výsledkem tohoto působení na kapalinu je hydrostatická tlaková síla F_h . Velikost hydrostatické tlakové síly F_h , kterou působí kapalina v hloubce h na dno nádoby o plošném obsahu S je dána vztahem

$$F_h = \rho Shg, \quad (11.1)$$

kde ρ je hustota kapaliny a g velikost tíhové zrychlení v daném místě.

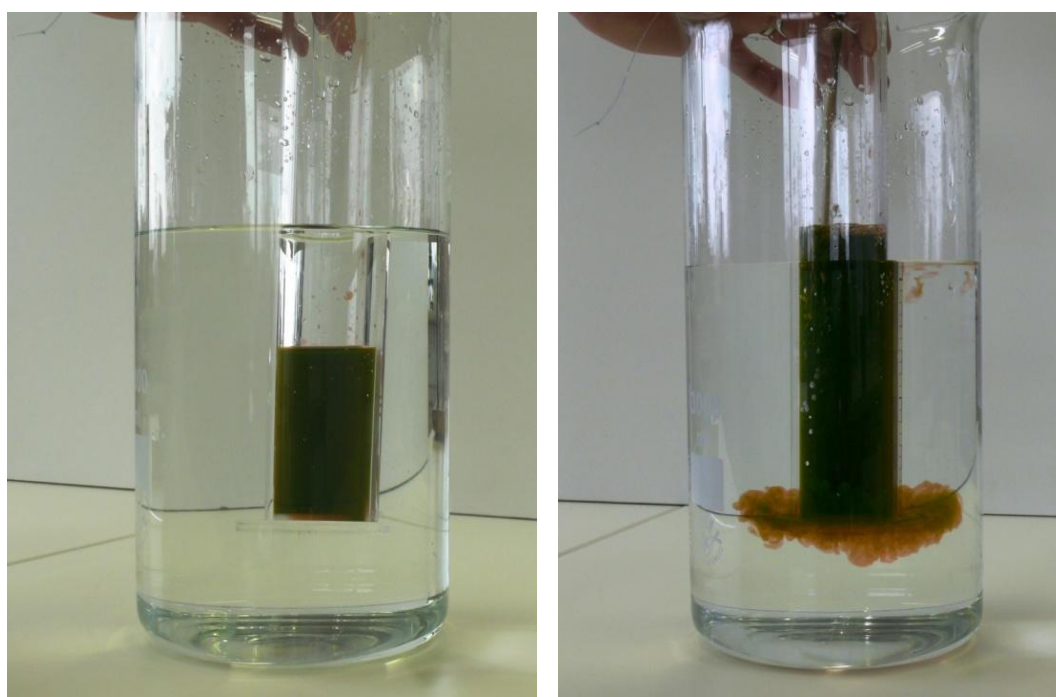
Tlak v kapalině vyvolaný hydrostatickou tlakovou silou se nazývá hydrostatický tlak p_h . Hydrostatický tlak v hloubce h pod volným povrchem kapaliny je dán vztahem

$$p_h = \frac{F_h}{S} = h\rho g. \quad (11.2)$$

11.1 Hydrostatická tlaková síla a hydrostatický tlak

Pomůcky:

vyšší kádinka s vodou, tenký válec s volným dnem



Obr. 11.1 Demonstrace hydrostatické tlakové síly

Postup:

1. Tenký válec uzavřeme kruhovou destičkou, kterou udržuje v těsném kontaktu se dnem válce tahem za nit, která je k destičce přivázána.
2. Uzavřený válec s kruhovou destičkou u dna ponoříme ve svislé poloze do skleněné nádoby s vodou. Přibližně 10 cm pod povrch kapaliny.

3. Žákům ukážeme, že kruhová destička od válce neodpadne, i když nit uvolníme. Destička od válce neodpadne, protože je udržována ve své poloze vztlakovou silou směrem vzhůru.
4. Do tenkého válce začneme pomalu nalévat obarvenou vodu. Pozorujeme, že v okamžiku, kdy hladina obarvené vody v tenkém válci dosáhne výšky hladiny vody v okolí tenkého válce, destička od válce odpadne. Tíha obarvené vody má stejnou velikost jako hydrostatická tlaková síla působící na kruhovou destičku u dna válce.

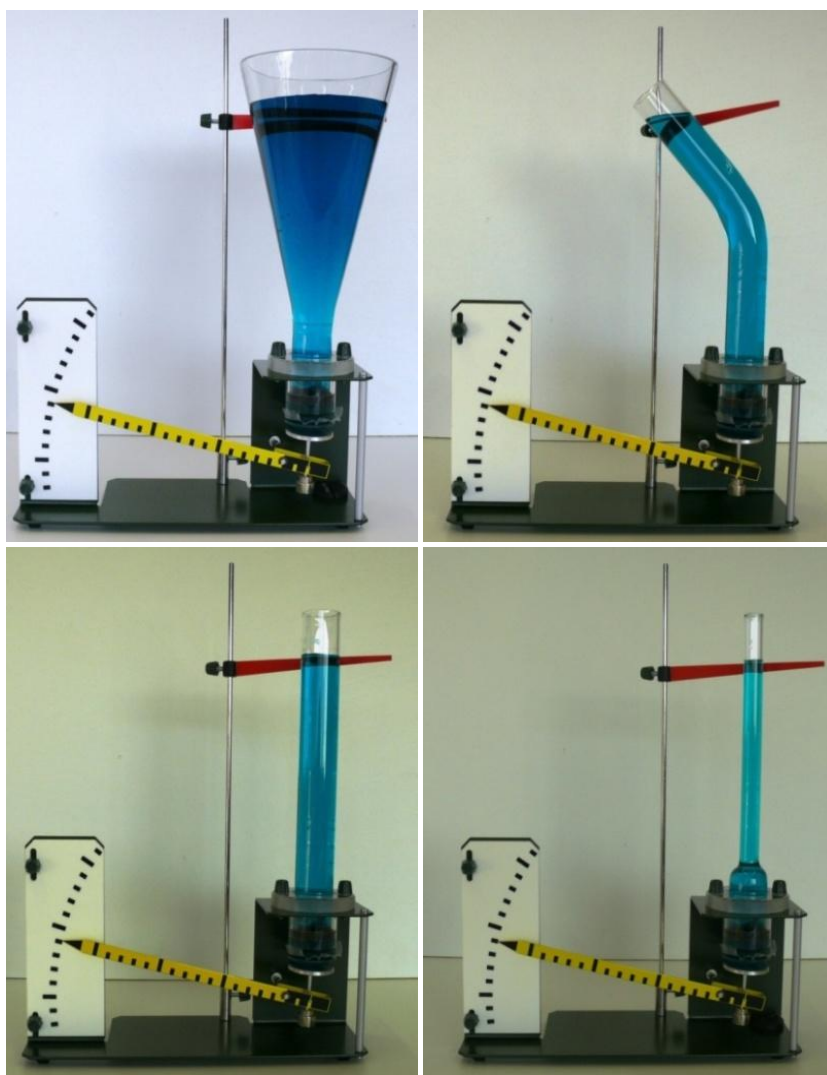
Závěr:

Experimentem demonstrujeme skutečnost, že tlak vzhůru je stejný jako hydrostatický tlak v příslušné hloubce.

11.2 Hydrostatické paradoxon

Pomůcky:

přístroj pro měření hydrostatického tlaku



Obr. 11.2 Hydrostatické paradoxon

Postup:

1. Do přístroje pro demonstraci hydrostatického paradoxonu upevníme jednu z nádob (viz obr. 11.2) a nalijeme do ní do určité výšky vodu. Ukazovatelem si označíme výšku vody v nádobě a odečteme (příp. si označíme) údaj na stupnici.
2. Opatrně vylijeme vodu a nádobu vyjmeme z přístroje. Při nezměněné poloze ukazovatele postupně do objímky zasuneme zbývající tři skleněné nástavce různých tvarů (které mají stejný obsah dna) a každý naplníme do výšky vyznačené ukazovatelem. Na základě odečtených údajů na stupnici zjistíme, že ve všech čtyřech případech byla hydrostatická tlaková síla působící na dno stejná.

Závěr:

Velikost hydrostatické tlakové síly závisí na hustotě kapaliny, na obsahu dna a na hloubce pod volným povrchem kapaliny. Přitom však nezávisí na tvaru a celkovém objemu kapaliny. Tento jev se nazývá hydrostatické paradoxon.

11.3 Tlak na stěny nádoby

Pomůcky:

vysoká nádoba s jedním nebo několika postranními otvory, voda, velká miska

Postup:

1. Demonstraci můžeme rozdělit do tří dílčích experimentů.
2. V prvním experimentu nádobu s otvory postavíme vedle misky, do které bude vytékat voda. Uvolníme pouze 1 zátku a postupně zvyšujeme hladinu vody v nádobě, čímž zvyšujeme výtokovou rychlost vody (a tedy i vzdálenost dopadu). Větší výtoková rychlost je způsobena větším tlakem.
3. V druhém experimentu nalijeme do nádoby vodu, tak aby hladina byla asi 10 cm nad jediným výtokovým otvorem. V misce, do které voda vytéká, označíme místo dopadu. Nádobu podložíme hranolem, dolijeme do nádoby vodu do stejné výšky (tj. 10 cm nad výtokový otvor) a opět si poznačíme místo dopadu do misky. Nádobu s otvory podložíme dvěma hranoly a postup analogicky opakuje. Z tohoto experimentu vyplývá, že délka vodorovného vrhu při stejné počáteční rychlosti je tím větší, čím větší je výška, z níž bylo těleso vrženo.
4. V třetím experimentu uvolníme tři zátky v nádobě (viz obr. 11.3) a naplníme nádobu tak, aby její hladina nad horním výtokovým otvorem byla od něho vzdálena tak jako dno od dolního otvoru. Hadičkou připojenou k vodovodnímu kohoutku zajistíme takový přítok vody, aby se výška hladiny při pokusu neměnila. Pozorujeme-li délky jednotlivých vodorovných vrhů v rovině dna nádoby, zjistíme, že největší délka přísluší vrhu z prostředního otvoru. Délky vrhů ze zbývajících dvou otvorů jsou menší a pro ideální kapalinu by měly být stejné.

Závěr:

Z prvního experimentu vyplývá, že délka vodorovného vrhu je tím větší, čím větší je počáteční rychlost, kterou bylo těleso vrženo. Druhým experimentem demonstrujeme, že délka vodorovného vrhu závisí na výšce, z níž bylo těleso vrženo. Platnost výsledku třetího experimentu si můžeme ověřit následujícím výpočtem (dle obr. 11.3).

Pro výpočet výtokové rychlosti platí vztah

$$v_0 = \sqrt{2(H-h)g}, \quad (11.3)$$

kde $(H-h)$ označuje výšku vody nad výtokovým otvorem (viz obr. 11.3). Pro délku vodorovného vrhu d platí vztah

$$d = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (11.4)$$

Dosazením výtokové rychlosti v_0 ze vztahu 11.3 do vztahu 11.4 dostáváme:

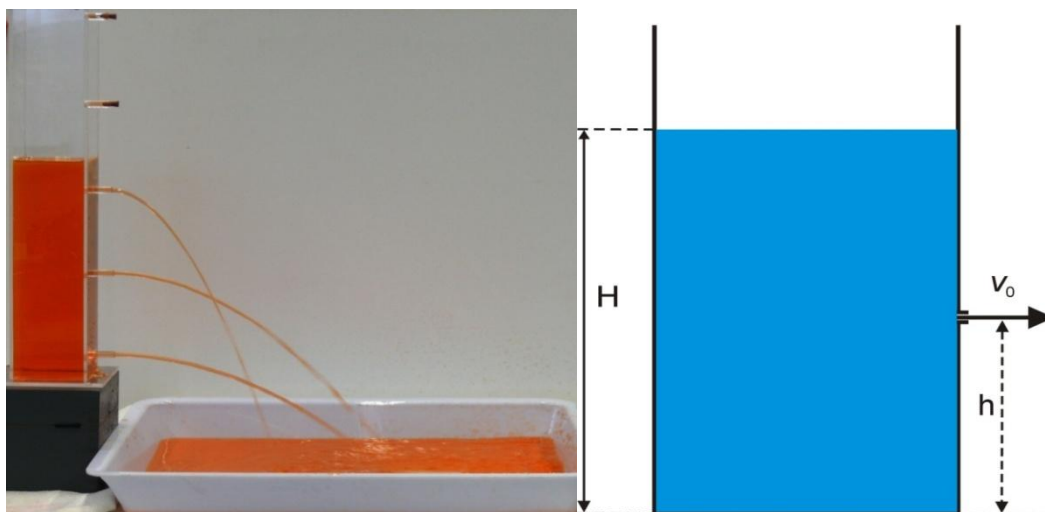
$$\begin{aligned} d &= \sqrt{2(H-h)g} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} \\ d &= 2\sqrt{(H-h)h} \\ d^2 &= 4(Hh - h^2) \end{aligned} \quad (11.5)$$

Maximum vzdálenosti vodorovného vrhu získáme pomocí první derivace rovnice 11.5 podle proměnné h . Tuto první derivaci položíme rovnu nule ($f'(d^2) = 0$).

$$\begin{aligned} f'(d^2) &= (H - 2h) = 0 \\ h &= \frac{H}{2} \end{aligned}$$

Z druhé derivace rovnice 11.5 podle proměnné h si ověříme, zdali $h = \frac{H}{2}$ je opravdu výška, pro kterou nastává maximální délka vrhu ($f''(d^2) > 0$ minimum, $f''(d^2) < 0$ maximum).

$$f''(d^2) = 4(0 - 2) = -8 < 0$$



Obr. 11.3 Nádobu s postranními otvory (vlevo fotografie, vpravo nákres pro výpočet)

Poznámky:

1. Pokud nemáme nádobu s postranními otvory lze si ji jednoduše vytvořit např. z 2 l plastové lahve, do které uděláme jehlou jeden či více otvorů.
2. Tyto experimenty lze samozřejmě zařadit také do kapitoly vodorovný vrh.

11.4 Spojené nádoby

Pomůcky:

spojené nádoby o ramenech s různým průřezem, mírně obarvená voda

Postup:

1. Do spojených nádob (viz obr. 11.4) nalijeme slabě obarvenou vodu. Pozorujeme, že výška hladin je v jednotlivých ramenech ve stejné výšce.



Obr. 11.4 Spojené nádoby

Závěr:

Výška hladin ve spojených nádobách nezávisí na průřezu a tvaru ramen.

Poznámky:

1. Spojené nádoby si lze jednoduše vyrobit, kdy dvě skleněné trubičky spojíme hadicí jako u hadicové vodováhy. Do těchto spojených nádob vlijeme mírně obarvenou vodu, aby sahala asi do poloviny výšky obou skleněných ramen.

12 Vztlková síla v kapalinách a plynech

Ve 3. století př. n. l. dospěl řecký učenec Archimedes k poznatku, že těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny o objemu, který je stejný jako objem ponořeného tělesa (Archimédův zákon).

Na každé těleso ponořené do kapaliny působí Země tíhovou silou F_G ve směru svislém dolů a také kapalina vztlakovou silou F_{vz} ve směru svislém vzhůru. Pro velikost těchto sil platí

$$F_G = mg = \rho_t Vg, \quad (12.1)$$

$$F_{vz} = \rho Vg, \quad (12.2)$$

kde ρ_t je hustota ponořeného tělesa, ρ hustota kapaliny a V objem ponořené části tělesa.

Vztlakovou silou působí na tělesa nejen kapaliny, ale také plyny. Jelikož hustota plynů je velmi malá v porovnání s hustotou kapalin, je vztlková síla působící na tělesa v plynech mnohem menší než v kapalinách. Existenci vztlkové síly ve vzduchu si ověříme pokusem 14.3.

12.1 Demontrace Archimedova zákona

Pomůcky:

siloměr, závaží s háčkem, nit, kalibrovaný odměrný válec

Postup:

1. Odměrný válec naplníme vodou tak, aby se hladina kryla s některou ryskou.
2. Pomocí nitě zavěšíme závaží na siloměr a zjistíme velikost jeho tíhy G na vzduchu.
3. Závaží zavěšené na siloměru ponoříme celé do vody ve válci (viz obr. 12.1) a na siloměru odečteme velikost síly F .
4. Objem závaží V zjistíme z rozdílu hladin vody ve válci před a po ponoření závaží.
5. Vypočítáme tíhu vody G_1 o objemu V a porovnáme ji s rozdílem údajů na siloměru $(G - F)$.

Závěr:

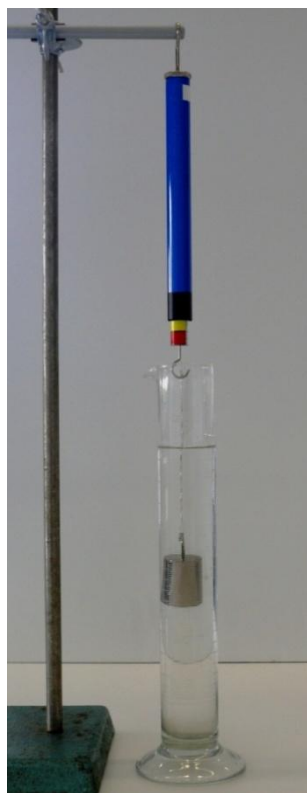
Závaží ponořené do vody je nadlehčováno vztlakovou silou $(G - F)$, která má stejnou velikost jako tíha vody $G_1 = V\rho g$, kde ρ je hustota vody, g tíhové zrychlení a V objem vody, který je stejný jako objem ponořeného závaží.

Poznámky:

1. Pokus opakujte s lihem, jehož hustotu najdete v MFCH tabulkách.
2. Místo klasického siloměru lze k měření použít digitální siloměr.

3. Pokud na siloměr zavěsíte dlouhý válec, lze demonstrovat závislost velikosti vztlakové síly na objemu ponořené části tělesa. Video k tomuto experimentu lze nalézt např. na webové stránce:

<http://fyzikalni-experimenty.cz/>



Obr. 12.1 Demonstrace Archimedova zákona

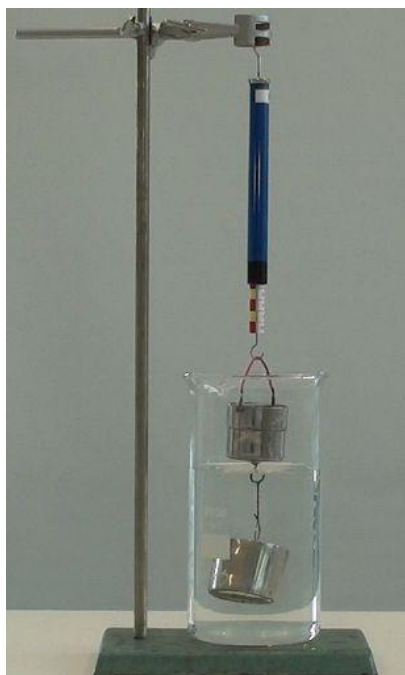
12.2 Demonstrace s plným a dutým válcem

Pomůcky:

siloměr, dutý a plný válec, nit, stativ, kádinka

Postup:

1. Nejprve žákům důkladně ukážeme, že plný válec lze zasunout do dutého, tzn., že objem plného válce je stejný jako objem dutiny druhého válce.
2. Plný válec zavěsíme pomocí pevné nitě na háček, který je ve spodní části dutého válce (viz obr. 12.2). Tyto dva spojené válce zavěsíme na siloměr a ještě před ponořením do vody odečteme údaj (G) na siloměru.
3. Nyní ponoříme plný válec do vody tak, aby hladinou vody procházela nit spojující oba válce. Na siloměr nyní působí menší síla F ($F < G$).
4. Dutinu horního válce naplníme vodou až po okraj a vidíme, že nyní působí na siloměr stejně velká síla (G) jako před ponořením plného válce do vody. Ponořený válec je tedy nadlehčován vztlakovou silou, která má stejnou velikost jako tíha vody v dutém válci, jejíž objem je stejný jako objem ponořené části tělesa.



Obr. 12.2 Demonstrace s plným a dutým válcem

Závěr:

Experimentem jsme si ověřili platnost Archimedova zákona. Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, která má stejnou velikost jako tíha kapaliny, jejíž objem je roven objemu ponořeného tělesa.

13 Proudění kapalin a plynů

Proudění kapalin a plynů znázorňujeme proudnicemi. Pro ustálené proudění ideální kapaliny (tj. kapaliny dokonale tekuté a nestlačitelné) platí rovnice kontinuity

$$Sv = \text{konst.}, \quad (13.1)$$

kde S je obsah průřezu trubice a v je rychlost proudu v tomto průřezu. Důsledkem rovnice kontinuity je, že v užším průřezu trubice proudí kapalina větší rychlostí než v širším průřezu.

Zákon zachování mechanické energie při proudění ideální kapaliny ve vodorovné trubici vyjadřuje Bernoulliho rovnice

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p = \text{konst.}, \quad (13.2)$$

kde první člen představuje kinetickou energii kapaliny o jednotkovém objemu a druhý člen tlakovou potenciální energii kapaliny o jednotkovém objemu. Důsledkem Bernoulliho rovnice je, že v zúženém místě trubice, kde se zvětšuje rychlost proudění, se zmenšuje tlak.

13.1 Demonstrace proudění kapaliny a obtékání těles Pohlovým přístrojem

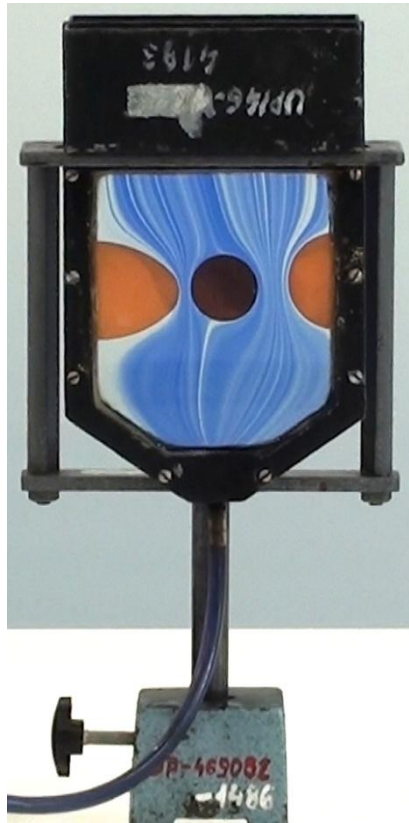
Pohlův přístroj (viz obr. 13.1) tvoří dvě skleněné desky upevněné v kovovém rámu, který v horní části nese dvě nádoby s malými střídavě rozloženými otvory u dna.

Pomůcky:

Pohlův přístroj, tělíška různého tvaru, kádinky, voda, potravinářské barvivo nebo inkoust

Postup:

1. Na trubici ve spodní (výtokové) části přístroje umístíme gumičku (resp. zátku), která uzavře výtokovou trubici.
2. Do přístroje nejprve nalijeme čistou vodu, tak aby její hladina sahala až ke dnu nádobek.
3. Poté do jedné z horních nádobek nalijeme čistou vodu a současně s tím naléváme do druhé nádoby sytě obarvenou vodu, přičemž dbáme na to, aby hladina obarvené vody nebyla výš než hladina čisté vody.
4. Uvolníme sevření odtokové hadičky a pozorujeme, že vrstva vody protékající mezi skleněnými deskami se skládá z pravidelně se střídajících čirých a zbarvených proudových vláken, které se nikde neprotínají (jde o laminární proudění).
5. Po vyprázdnění Pohlova přístroje vložíme háčkem mezi skleněné desky různá tělíška vystřižená např. z plechu a opět uzavřeme odtokovou trubici.
6. Nyní postup opakujeme, nejprve naplníme přístroj čistou vodou až po dna nádobek a poté do horních nádobek současně naléváme barevnou a čistou vodu.
7. Uvolníme sevření odtokové hadičky a pozorujeme změněný průběh proudových vláken, které se nikde neprotínají. V prostoru, kde se nachází vložené předměty (v prostoru zúžení) jsou proudová vlákna užší a hustěji rozložena. Vidíme také, že rychlost částic barviva je tím větší, čím užší a hustěji rozložena jsou proudová vlákna.



Obr. 13.1 Pohlův přístroj

Závěr:

Tento experiment demonstruje proudění kapalin a obtékání těles a umožňuje nám vytvořit si představu o rozložení rychlosti částic v proudící kapalině a ověřit si platnost rovnice kontinuity.

13.2 Venturiho trubice

K měření rychlosti proudění kapalin v potrubí se používá Venturiho trubice. Jedná se o vodorovnou trubici kuželovitě se zužující z původního průřezu S_1 do průřezu S_2 . Poté se průřez pozvolna rozšiřuje do původní velikosti S_1 .

Z Benoulliho rovnice vyplývá, že v zúžené části potrubí má tekutina větší rychlost (tedy větší kinetickou energii), ale menší tlak. V zúženém místě trubice vzniká podtlak a do manometrické trubice se nasává vzduch.

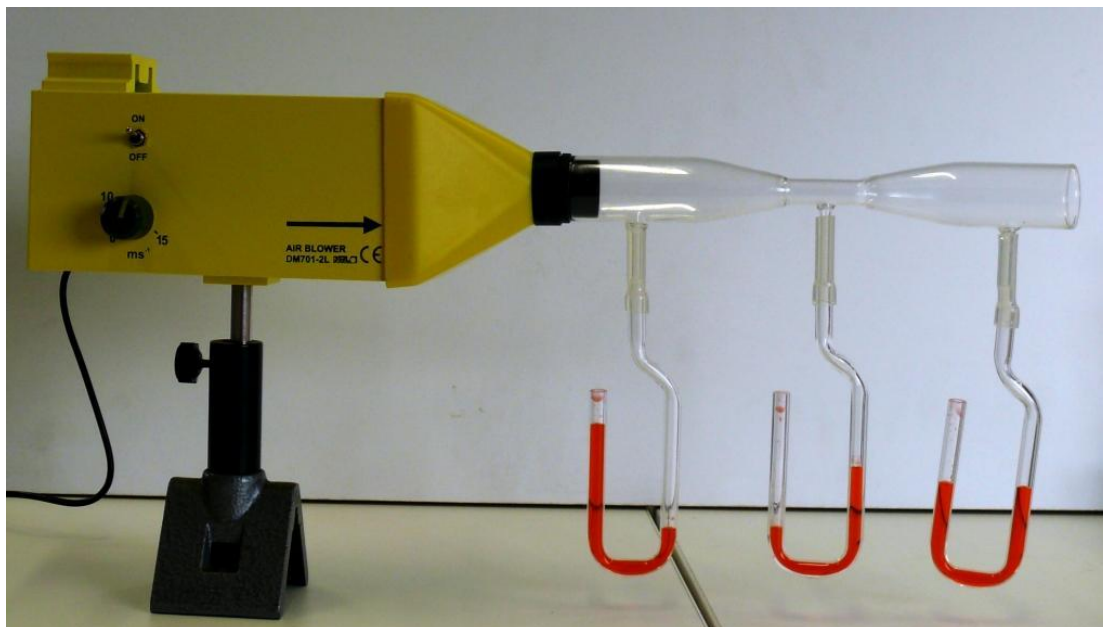
Pomůcky:

vzduchové dmychadlo, Venturiho trubice, tři malé U-trubice

Postup:

1. Do stojanu upevníme vzduchové dmychadlo, ke kterému připojíme Venturiho trubici s třemi malými U-trubicemi. Do těchto U-trubic nalijeme trochu obarvené vody, která je ve všech trubicích ve stejné výšce.

2. Zapneme vzduchové dmychadlo a pozorujeme, že tlak v různých průřezech Venturiho trubice se mění. V užší části trubice tlak klesá a vniká zde podtlak.



Obr. 13.2 Venturiho trubice

Závěr:

Experimentem demonstrujeme platnost Bernoulliho rovnice, kdy v zúžené části potrubí dochází k rychlejšímu proudění vzduchu a k zmenšení tlaku v této části trubice. Působením atmosférického tlaku na volný konec U-trubice pozorujeme změnu hladin v U-trubici.

Poznámky:

1. Foukáme-li mezi dva listy papíru, vzniká mezi nimi podtlak a působením atmosférického tlaku se listy přitahují. V tomto případě jde o aerodynamické paradoxon.

13.3 Demonstrace závislosti aerodynamické síly na profilu obtékaného tělesa

Aerodynamika je věda, která se zabývá obtékáním vzduchu kolem těles. Při pohybu tělesa vznikají v důsledku vnitřního tření odporové síly, které působí proti směru relativního pohybu tělesa ve vzduchu. Měřením bylo zjištěno, že při větších rychlostech velikost odporové síly F roste s druhou mocninou relativní rychlosti tělesa. Pro velikost aerodynamické odporové síly působící na tělesa libovolného tvaru odvodil Newton vztah:

$$F = \frac{1}{2} C S \rho v^2, \quad (13.3)$$

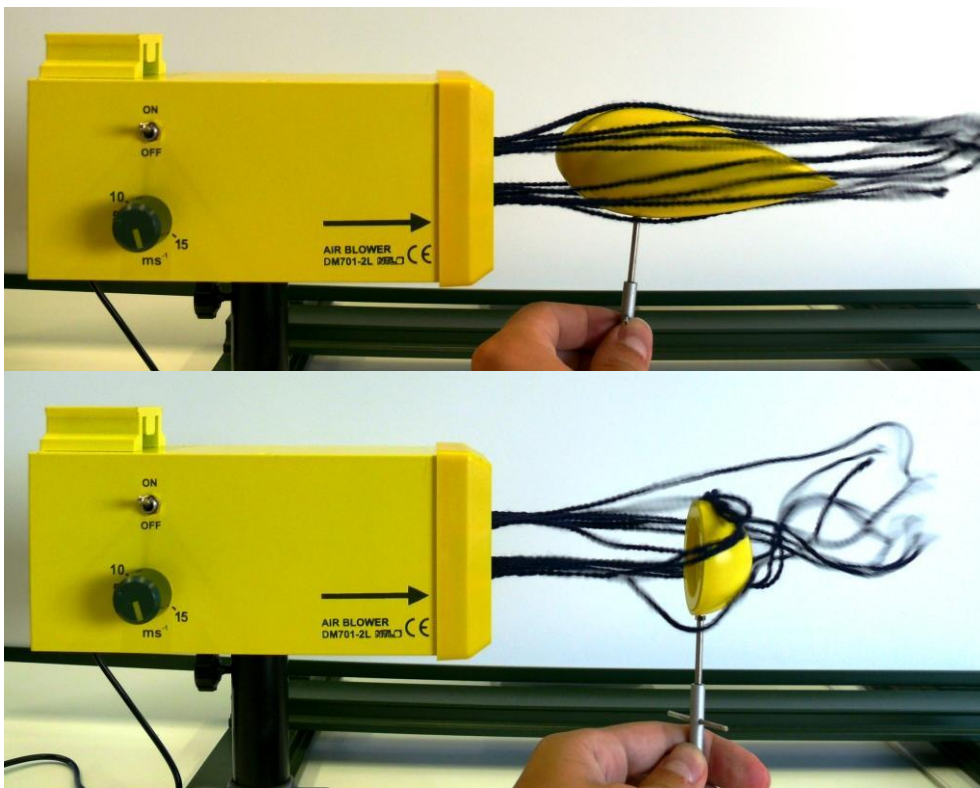
kde C je součinitel odporu (závisí na tvaru tělesa), ρ hustota vzduchu, S obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu a v velikost relativní rychlosti.

Pomůcky:

vzduchové dmychadlo s příslušenstvím (různé modely obtékaných těles)

Postup:

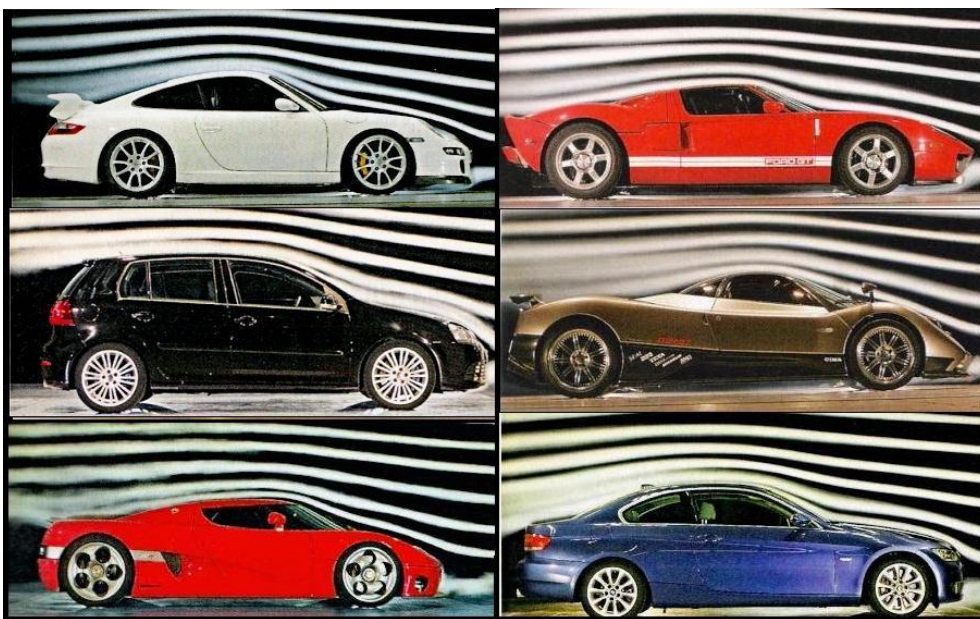
1. Zapneme vzduchové dmyhadlo. Ve vzdálenosti cca 10 cm od jeho ústí vkládáme předměty různých tvarů a pozorujeme obtékání vzduchu kolem předmětů (viz obr. 13.3).



Obr. 13.3 Demonstrace obtékání vzduchu různých těles

Závěr:

Z experimentu pozorujeme, že velikost aerodynamické odporové síly výrazně závisí na profilu obtékaného tělesa. Znalost velikosti aerodynamické odporové síly je důležitá např. při výrobě automobilů (viz obr. 13.4).



Obr. 13.4 Obtékání vzduchu různých automobilů (převzato z <http://imageshack.us/f/71/drago2eq6.jpg>)

14 Experimenty s vývěvou

Vývěva slouží k odčerpávání vzduchu z uzavřeného prostoru. Nejčastěji je ve školních fyzikálních kabinetech k dispozici rotační olejová vývěva (např. viz obr. 14.1). Prostor, z něhož je vyčerpáván vzduch, je vymezen tzv. recipientem. Jde o speciální zvonovitou skleněnou nádobu, která se postaví na stojan s talířem, který je hadicí připojen k vývěvě. S využitím školní vývěvy lze snížit tlak až o 10^5 Pa .

14.1 Pokus s magdeburskými polokoulemi

Pokus s magdeburskými polokoulemi uskutečnil v roce 1654 Otto von Guericke (1602-1686) v německém městě Magdeburg. Tento německý fyzik a purkmistr města Magdeburg spojil dvě duté měděné polokoule o průměru cca 51 cm a ze vzniklé dutiny vyhnal pumpami vzduch. Pak nechal zapřáhnout ke každé polokouli 4 páry koní a ukazoval, že ani 16 koní není schopno od sebe polokoule oddělit (podle 3. Newtonova zákona však ve skutečnosti síla tahu odpovídala pouze 4 párům koní). Tímto pokusem Guericke vyvrátil hypotézu zvanou horror vacui, kdy se lidé domnívali, že příroda má „hrůzu z prázdnoty“ (čímž např. vysvětlovali, proč voda v trubici pod pístem pumpy stoupá).

Velikost potřebné síly k odtržení polokoulí od sebe lze určit ze vztahu:

$$F = \Delta p S, \quad (14.1)$$

kde Δp je rozdíl atmosférického tlaku a tlaku vzduchu uvnitř polokoulí a

$$S = \pi r^2 \quad (14.2)$$

je obsah příčného řezu polokoulí o poloměru r .

Pomůcky:

vývěva, magdeburské polokoule, silikonový mazací tuk (příp. gumové těsnění)

Postup:

1. Nejprve přiložíme polokoule k sobě a ukážeme, že je lze jednoduše oddělit od sebe.
2. Magdeburské polokoule postavíme na vývěvu (viz obr. 14.1) a vyčerpáme z nich vzduch. Ventil ve spodní části polokoulí musí být ve vertikální poloze (aby bylo možné odčerpávat vzduch z polokoulí). Zabroušené okraje polokoulí předem potřeme silikonovým tukem.
3. Spodní ventil uzavřeme, vypneme vývěvu a polokoule sundáme z vývěvy.
4. Žáci mohou vyzkoušet, že vyčerpané polokoule nelze od sebe odtrhnout (při tahání za polokoule je třeba dát pozor na bezpečnost žáků a dbát na to, aby některý z žáků neuvolnil ventil ve spodní části).

5. Po praktické ukázce uvolníme ventil a polokoule od sebe jednoduše oddělíme.



Obr. 14.1 Rotační olejová vývěva



Obr. 14.2 Přísavka

Závěr:

Obě polokoule nejsou k sobě pevně připoutány vzduchoprázdňem, ale jsou přitlačovány atmosférickým tlakem okolního vzduchu. Stejný princip lze pozorovat u běžné přísavky (na sklo nebo na kachličky), která se používá např. v koupelně jako věšák na ručníky (viz obr. 14.2). Pro modely magdeburských polokoulí lze použít např. 2 stejně velké gumové zvony na čištění odpadu. Stejně velký tlak, který působí na magdeburské polokoule, působí i na všechny ostatní objekty, včetně lidí. Běžně tento atmosférický tlak neregistrujeme, protože uvnitř lidských těl je stejně velký tlak, který působí opačným směrem. Tento tlak můžeme někdy pocítit při rychlé jízdě ve výtahu nebo při stoupání a klesání letadla.

Poznámky:

1. Model magdeburských polokoulí lze vytvořit také ze dvou přísavek z obr. 14.2. Pro tyto konkrétní přísavky, jejichž průměr je $4,5 \text{ cm} = 0,045 \text{ m}$ za atmosférického tlaku 10^5 Pa platí:

$$F = \Delta p S = \Delta p \pi \frac{d^2}{4},$$

$$F = 10^5 \pi \frac{0,045^2}{4} \text{ N},$$

$$F = 159 \text{ N}.$$

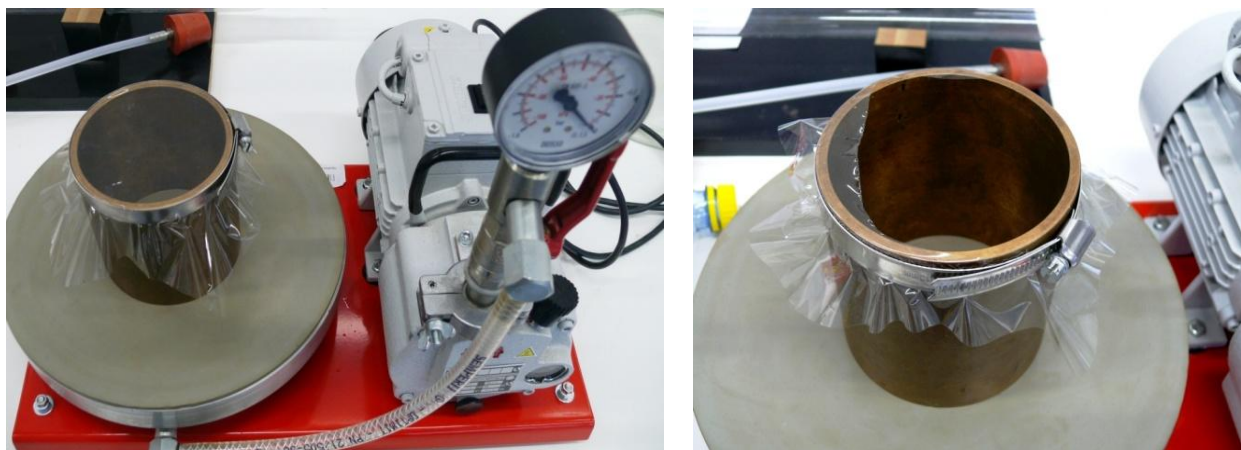
Velikost tahové síly, kterou musíme působit na tyto přísavky, abychom je od sebe odtrhly, je 159 N. Tyto přísavky by měly tedy udržet zátěž 15 kg.

2. Na internetu lze nalézt několik videí a námětů k tomuto experimentu:
<http://fyzmatik.pise.cz/67020-magdeburske-polokoule-v-koupelne.html>
<http://www.youtube.com/watch?v=k1-XLjACzss>
<http://www.youtube.com/watch?v=4uS6Obj5My0>
<http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/fyzika/prisavky.pdf>

14.2 Proražení fólie atmosférickou tlakovou silou

Pomůcky:

vývěva, celofánová blána (fólie), tlustostěnný kovový válec bez horní a dolní podstavy, kovová spona, šroubovák



Obr. 14.3 Proražení fólie atmosférickou tlakovou silou

Postup:

1. Pomocí spony upevníme celofánovou blánu na horní konec kovového válce.
2. Kovový válec umístíme na talíř vývěvy (viz obr. 14.3) a zapneme vývěvu.
3. Vzduch pod blánou je odčerpáván, blána se prohýbá, až s třeskotem praskne (jelikož se jedná o silný zvukový efekt, není z důvodu bezpečnosti o sluchový orgán učitele vhodné tento experiment opakovaně předvádět v rámci jedné vyučovací hodiny).

Závěr:

Před zapnutím vývěvy byly tlakové síly působící na fólii shora a zdola stejně velké. Po zapnutí vývěvy dochází k odčerpávání vzduchu a snižování tlaku vzduchu pod fólií, což má za následek zmenšení tlakové síly vzduchu, která působí na vnitřní stranu blány směrem vzhůru. Tlaková síla okolního vzduchu působící směrem dolů se nemění. Výslednice těchto sil způsobuje prohnutí blány. V určitém okamžiku dojde k implozi celofánové blány s velmi silným akustickým efektem.

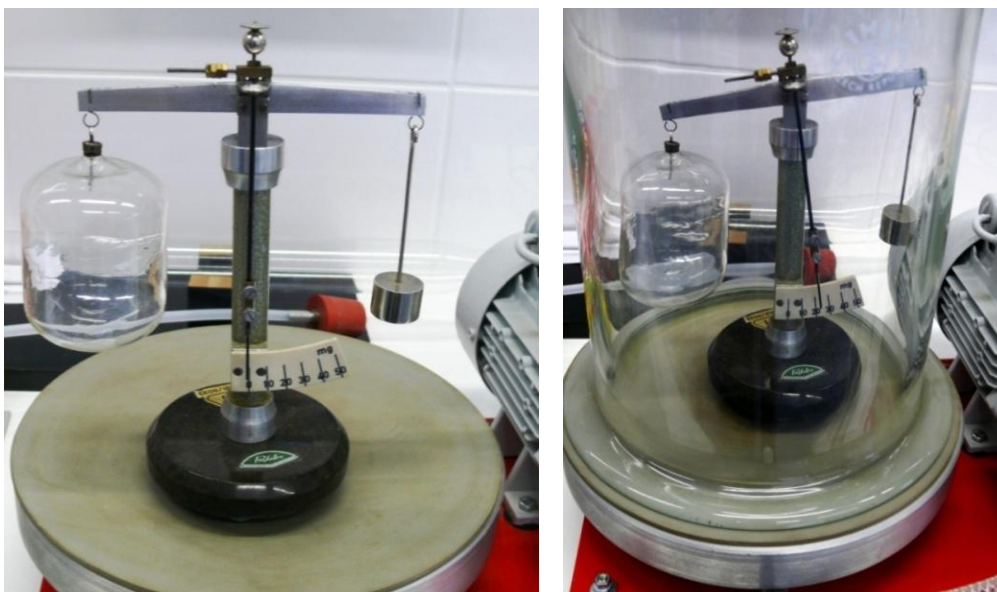
14.3 Demonstrace Archimedova zákona pro plyny

Pomůcky:

vývěva s recipientem, dasymetr

Postup:

1. Na talíř vývěvy položíme dasymetr (viz obr. 14.4) a nastavíme jeho rovnováhu na vzduchu (dasymetr jsou malé váčky, které mají na konci jednoho ramena uzavřenou skleněnou baňku a na druhém ramenu vyrovnávací závaží).
2. Na talíř postavíme recipient a zapneme vývěvu.
3. Tlak vzduchu pod recipientem klesá a ramena dasymetru se vychylují z rovnovážné polohy tak, že skleněná baňka klesá. V okamžiku, kdy je jev patrný, vypneme vývěvu a napustíme pomocí ventilu vzduch pod recipient. Rovnováha dasymetru se obnoví.



Obr. 14.4 Demonstrace Archimedova zákona pro plyny

Závěr:

Na vzduchu působí na skleněnou baňku dasymetru větší vztlaková síla než na mnohem menší závaží na druhém ramenu. Po vyčerpání vzduchu pod recipientem začne skleněná baňka klesat, protože vztlaková síla nadlehčující skleněnou baňku se zmenší o podstatně větší hodnotu, než vztlaková síla nadlehčující závaží na druhém ramenu.

14.4 Přelévání vody z jedné nádoby do druhé

Pomůcky:

vývěva s recipientem, laboratorní baňka, zátka s jedním otvorem, ohnutá skleněná trubice, kádinka



Obr. 14.5 Přelévání vody z jedné nádoby do druhé

Postup:

1. Na talíř vývěvy položíme laboratorní baňku s kapalinou a kádinku. Baňku předem uzavřeme zátkou, kterou prochází trubička sahající až ke dnu (viz obr. 14.5).
2. Na talíř vývěvy položíme recipient a vývěvu zapneme. Pozorujeme, že kapalina přetéká z uzavřené baňky skleněnou trubicí do kádinky.
3. Jakmile se baňka vyprázdní, vypneme vývěvu. Ventilem pod talířem pomalu napouštíme vzduch pod recipient a pozorujeme, že voda teče zpět do zazátkované baňky.

Závěr:

Před zapnutím vývěvy byl tlak vzduchu nad hladinou kapaliny v baňce stejný jako vně baňky. Po zapnutí vývěvy se tlak pod recipientem zmenšil a vzduch nad kapalinou v baňce vytlačil vodu z baňky do kádinky.

Poznámky:

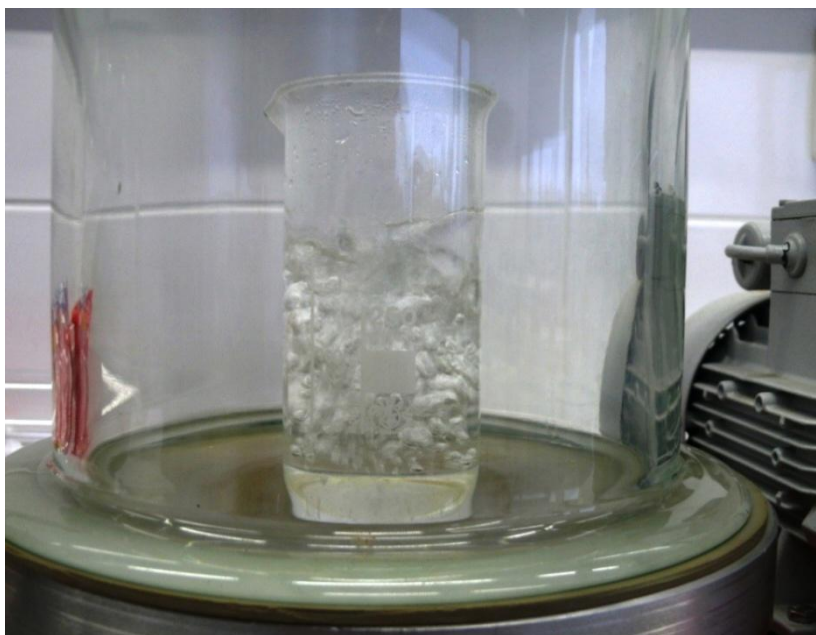
1. Video k tomuto experimentu lze na internetu nalézt např. na stránce:
<http://fyzweb.cz/materialy/videopokusy/POKUSY/PRECERPAVANIPODVYVEVOU/INDEX.HTM>

14.5 Snížení bodu varu vody snížením tlaku

Teplota varu kapaliny je závislá na vnějším tlaku. S rostoucím tlakem se teplota varu zvyšuje, s klesajícím tlakem se snižuje. Zvýšení teploty varu vody při vyšším tlaku, než je normální tlak, lze v běžném životě pozorovat např. při vaření v Papinově tlakovém hrnci, kde dochází k varu vody při teplotě 120 °C.

Pomůcky:

vývěva s recipientem, kádinka, rychlovarná konvice, digitální teploměr



Obr. 14.6 Snížení bodu varu vody snížením tlaku

Postup:

1. Asi do poloviny kádinky nalijeme teplou vodu a položíme ji na talíř vývěvy. Pomocí digitálního teploměru stanovíme teplotu vody.
2. Kádinku přiklopíme recipientem a zapneme vývěvu (je vhodné nechat teploměr v kádince v průběhu experimentu, aby si žáci mohli ověřit, že teplota vody neroste).
3. Při dostatečném snížení tlaku pod recipientem začne voda v kádince vřít.
4. Vypneme vývěvu, vpustíme vzduch a suchým hadříkem otřeme vnitřní stranu recipientu i talíř vývěvy.

Závěr:

Var vody nastane při teplotě, při níž je tlak syté páry roven atmosférickému tlaku vzduchu nad kapalinou. V tabulce 14.1 je uvedena závislost teploty varu vody na atmosférickém tlaku.

t [°C]	p [kPa]	t [°C]	p [kPa]
0	0,61	70	31,18
10	1,23	80	47,4
20	2,34	90	70,1
30	4,25	100	101,3
40	7,38	110	143
50	12,34	120	198
60	19,93	130	270

Tab. 14.1 Tlak syté vodní páry v závislosti na teplotě

Při demonstraci na školní vývěvě je vhodné nalít do kádinky vodu o minimální teplotě cca 40 °C. Při nižší teplotě vody by se mohlo stát, že se vám nepodaří snížit tlak pod recipientem dostatečně a tudíž by k varu vody vůbec nedošlo.

Poznámky:

1. Tlak vzduchu s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Např. v 8000 m nad mořem je průměrný tlak cca 35,5 kPa a voda tedy vře již při teplotě cca 73 °C.
2. Video k tomuto experimentu lze na internetu nalézt např. na stránce:
<http://fyzweb.cz/materialy/videopokusy/POKUSY/VYVEVASHORKOUVODOU/INDEX.HTM>

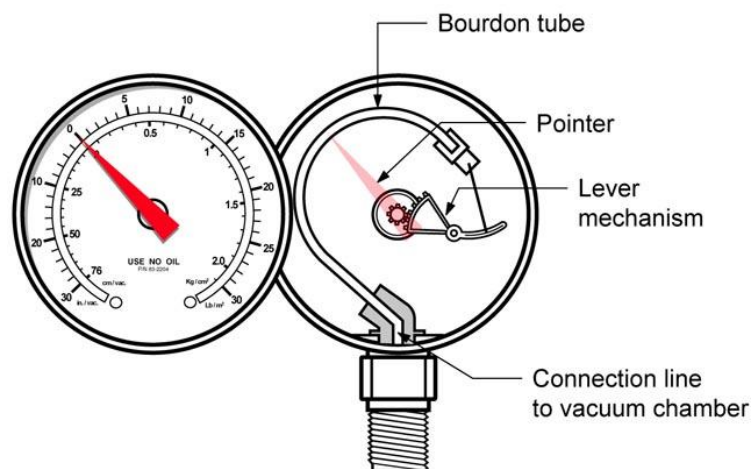
14.6 Bourdonova trubice

Bourdonova trubice je dodnes používané zařízení pro měření tlaku, které v roce 1849 sestrojil francouzský fyzik a hodinář Eugene Bourdon. Bourdonova trubice je součástí deformačních tlakoměrů, jejichž princip je založen na pružné deformaci, a tím i na změně geometrického tvaru vhodného tlakoměrného prvku vlivem působení měřeného tlaku.

Bourdonova trubice je nejčastěji trubice oválného nebo eliptického průřezu stočená do kruhového oblouku ve tvaru písmene C. Trubice je jedním koncem pevně spojena s tělesem opatřeným závitem pro připojení přívodu tlaku (viz obr. 14.7). Volný konec trubice je uzavřen a spojen přes převodové ústrojí s ukazovatelem na stupnici. Při působení tlaku se snaží eliptický průřez změnit v kruhový a zakřivení oblouku, do kterého je trubice stočena, se přitom mění.

Pomůcky:

vývěva, Bourdonova trubice



Obr. 14.7 Deformační tlakoměr s Bourdonovou trubicí. Vysvětlivky: Bourdon tube – Bourdonova trubice, Pointer – ukazatel, Lever mechanism – pákový mechanismus, Connection line to vacuum chamber – přípojka k vývěvě (převzato z <http://matec.org/ps/library3/secure/modules/101/LA3/M101LA3.html>)



Obr. 14.8 Demonstrační Bourdonovy trubice

Postup:

1. Bourdonovu trubicí (viz obr. 14.8) umístíme doprostřed talíře vývěvy a zapneme vývěvu.
2. Působení tlaku se snaží eliptický průřez Bourdonovy trubice změnit v kruhový a pozorujeme, že zakřivení oblouku, do kterého je trubice stočena, se mění.

Závěr:

Experiment demonstruje základní princip deformačních tlakoměrů.

Poznámky:

1. Zajímavá animace k popisu principu Bourdonovy trubice lze nalézt na webové stránce: <http://matec.org/ps/library3/secure/modules/101/LA3/M101BourdonTube.swf>
2. Na analogickém principu jako Bourdonova trubice funguje např. narozeninová foukačka, která je na začátku stočená a při fouknutí dovnitř se roztáhne.

14.7 Budík ve vývěvě

Pomůcky:

vývěva, budík



Obr. 14.9 Budík ve vývěvě

Postup:

1. Budík postavíme na talíř vývěvy a nastavíme ho tak, aby začal zvonit.
2. Na vývěvu položíme recipient a zapneme vývěvu. Po snížení tlaku ve vývěvě pozorujeme, že zvuk budíku se výrazně snížil a je téměř neslyšitelný.

Závěr:

Experimentem demonstrujeme, že ve vakuu se zvuk nešíří.

Poznámky:

1. Jelikož ve vývěvě nedosáhneme vakua, ale pouze velmi výrazně snížíme tlak, je velmi slabě zvuk budíku slyšitelný.
2. U tohoto experimentu dochází k výraznému snížení hlasitosti zvuku zvonění již při položení skleněného recipientu na budík.

14.8 Balónek a další netradiční předměty ve vývěvě

Pomůcky:

vývěva, nafukovací balónek, tuba od vitamínů nebo smačkaná PET lahev, indiánek (cukrovinka), pěna na holení, pěnové bonbony (marshmallow) nebo seschlé jablko

Postup:

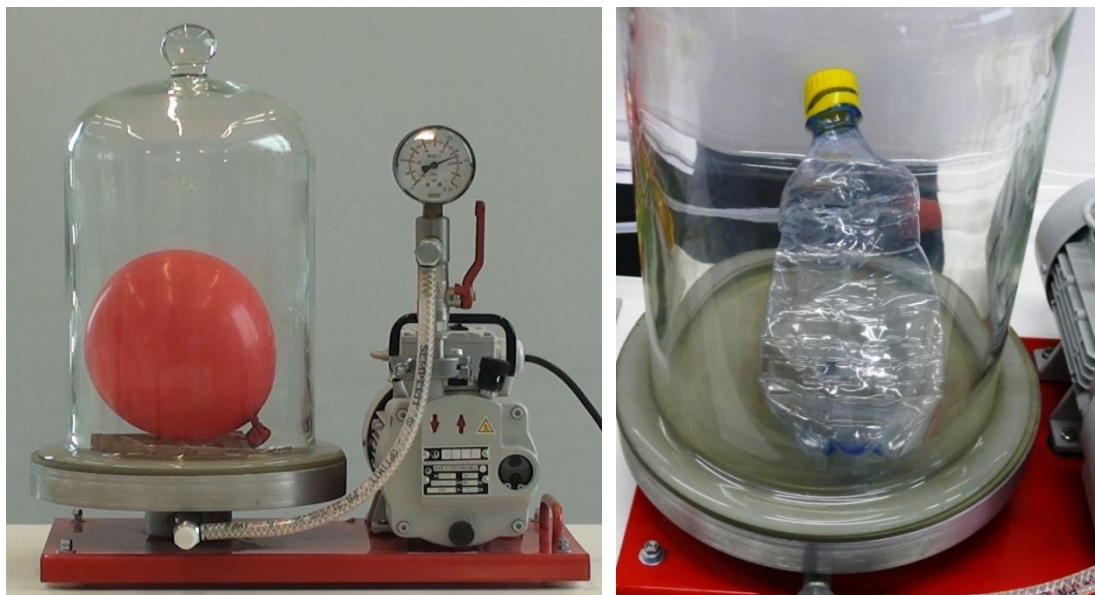
1. Na talíř vývěvy položíme částečně nafouknutý balónek. Na vývěvu položíme recipient a vývěvu zapneme. Při snižování tlaku pozorujeme, že balónek zvětšuje svůj objem.
2. Místo nafukovacího balónku můžeme analogicky vkládat pod recipient vývěvy např. plastovou tubu od vitamínů, uzavřenou zmačkanou PET lahev, cukrovinku indiánka, pěnu na holení, bonbony marschmallow či seschlé jablko a pozorovat změny tvaru těchto předmětů při snížení tlaku pod recipientem.

Závěr:

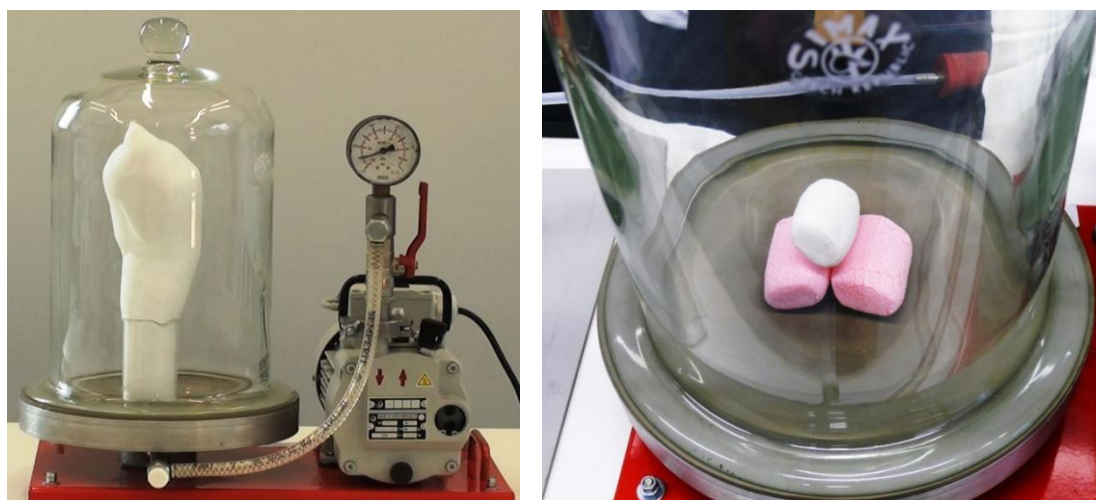
Princip těchto demonstrací je stejný. Vzduch uzavřený v balónku, tubě od vitamínů, zmačkané PET lahvi, cukrovince, pěně na holení, či bonbonech marshmallow má větší tlak než je tlak, který vzniká pod recipientem vývěvy. Všechny tyto předměty se tedy při snižování tlaku pod recipientem vývěvy začnou rozpínat do prostoru. Po ukončení experimentu a vpuštění vzduchu do vývěvy, dojde k vyrovnání tlaků a tyto předměty (pokud je to možné a nejsou příliš zdeformovány) se vrátí do původní podoby.

Poznámky:

1. Po provedení experimentu vybídíme žáky, aby cukrovinky či bonbony snědli. Tyto předměty jsou použitelné pouze pro jedno předvedení pod vývěvou.
2. Experiment s pěnou na holení vždy výrazně zašpiní recipient vývěvy, a proto je vhodné zařadit ho až na závěr experimentování s vývěvou.
3. Pokud máte známého řezníka, můžete pod recipient vývěvy vložit např. prasečí plíce.
4. Zajímavé videa k těmto experimentům lze nalézt např. na webové stránce:
<http://pokusy.upol.cz>



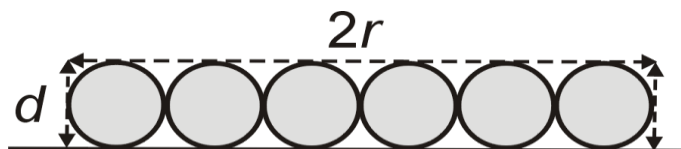
Obr. 14.10 Balónek a PET lahev ve vývěvě



Obr. 14.11 Pěna na holení a bonbony marshmallow ve vývěvě

15 Přibližné stanovení průměru molekuly kyseliny olejové

Jestliže kápneme na povrch vody kapku kyseliny olejové, kapka se po povrchu okamžitě rozteče a vytvoří tenkou vrstvu. Je-li povrch vody dostatečně veliký, vznikne na něm tzv. monomolekulární vrstva o výšce rovné průměru molekuly kyseliny olejové. Ze známého objemu kapky a obsahu plochy monomolekulární vrstvy lze vypočítat výška tenké vrstvy, a tím přibližně stanovit průměr molekuly kyseliny olejové.



Obr. 15.1 K vysvětlení pojmu monomolekulární vrstva, S – obsah povrchu vrstvy, $2r$ – průměr kruhu, který přibližně vytvoří tenká vrstva kyseliny olejové

Pomůcky:

větší (kruhová) miska, odměrný válec, lékařské kapátko, posuvné nebo délkové měřidlo, kyselina olejová $C_{17}H_{33}COOH$, lékařský benzin, jemný korkový prášek nebo dětský zázp, voda

Postup:

1. Nejprve připravíme roztok kyseliny olejové $C_{17}H_{33}COOH$ v lékařském benzínu v poměru $V_k : V_r = 1 : 2000$, kde V_k je objem kyseliny olejové a V_r celkový objem roztoku.
2. Pomocí lékařského kapátka a odměrného válce zjistíme počet kapek N v roztoku kyseliny olejové v benzínu o objemu 1 cm^3 (1 ml). Měření několikrát opakujeme a za výsledný počet kapek volíme aritmetický průměr výsledků.
3. Vyjádříme objem V_{k1} kyseliny olejové v jedné kapce roztoku ($V_{k1} = \frac{1}{2000 N}$).
4. Kapátkem kápneme do středu misky na poprášený povrch vody jednu kapku roztoku. Pozorujeme, že se kapka roztéká po vodní hladině, až se vytvoří velmi tenká skvrna přibližně kruhového tvaru, kterou ohraničují zrnka zázpu (či korku).
5. Pomocí posuvného měřidla změříme 10krát v různých směrech průměr kruhu, který přibližně vytvoří tenká vrstva kyseliny olejové. Vypočítáme aritmetický průměr naměřených hodnot.
6. Vypočítáme obsah kruhu S , který vytvoří tenká vrstva kyseliny olejové na povrchu vody.
7. Vypočítáme průměr molekuly $d = \frac{V}{S}$ na základě experimentu.

Závěr:

Protože z jedné kapky čisté kyseliny olejové by se utvořila monomolekulární vrstva s plochou o obsahu 10^2 m^2 až 10^4 m^2 , používáme roztok kyseliny olejové v benzínu. Benzin se po přenesení kapky velmi rychle odpaří, takže na povrchu vody zůstane monomolekulární vrstva čisté kyseliny olejové. Výška monomolekulární vrstvy odpovídá průměru molekuly kyseliny olejové (řádově bychom měli dostat hodnotu 1 nm).

Poznámky:

1. Jako další úkol lze určit počet molekul, které vytvořily v daném pokusu monomolekulární vrstvu kyseliny olejové.

16 Přilnavost

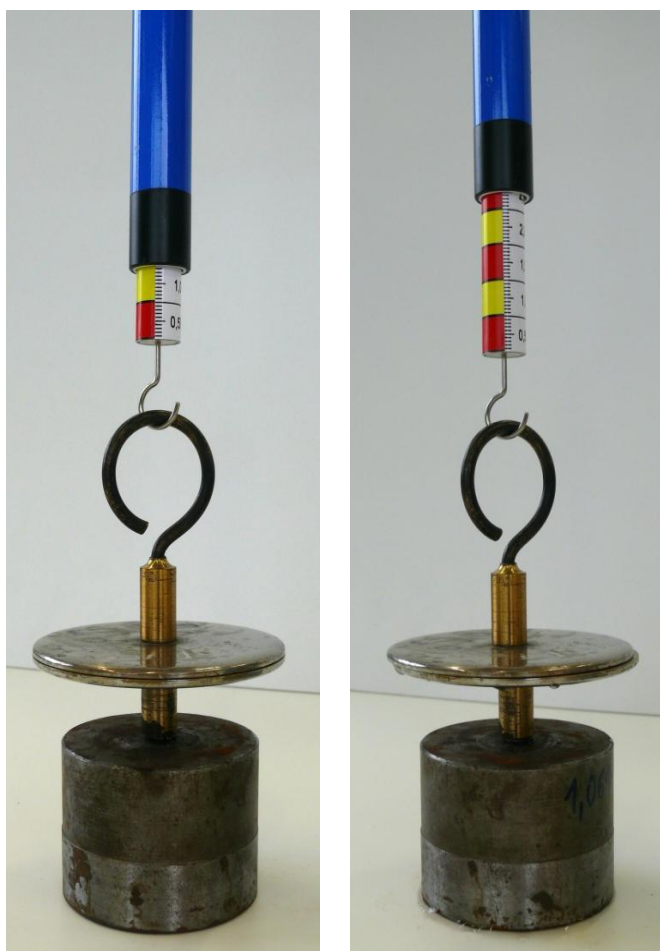
Mezi základní předpoklady kinetické teorie látek patří experimentálně ověřený poznatek, že částice na sebe navzájem působí silami. Tyto síly jsou při malých vzdálenostech odpuzivé, při větších vzdálenostech přitažlivé.

Přilnavost neboli adheze je jev vznikající působením přitažlivých sil mezi částicemi povrchových vrstev dvou stýkajících se různých látek, např. adheze kapaliny, která smáčí danou pevnou látku.

Soudržnost neboli koheze je jev vznikající působením přitažlivých sil mezi částicemi dané látky. Koheze se projevuje u pevných a kapalných látek, zatímco u plynů se projevuje v daleko menší míře.

Pomůcky:

siloměr, dvě kruhové destičky (jedna s háčkem), voda



Obr. 16.1 Demonstrace přilnavosti

Postup:

1. Na siloměr zavěsíme kruhovou destičku s háčkem. Tuto destičku položíme na druhou kruhovou destičku a sledujeme, jakou silou musíme působit, abychom tyto destičky od sebe oddělili.

2. Nyní mezi kruhové destičky kápneme trochu vody a experiment opakujeme. Pozorujeme, že musíme působit několika násobně větší silou, abychom destičky od sebe oddělily.

Závěr:

Fyzikální jevy, jako je přilnavost (adheze) a soudržnost (koheze), dokazují působení přitažlivých sil mezi částicemi povrchových vrstev dvou dotýkajících se různorodých těles nebo mezi částicemi daného chemicky stejnorodého tělesa.

Po oddělení destiček (mezi nimiž bylo malé množství vody) od sebe pozorujeme, že obě plochy jsou mokré. Odtrhla se tedy voda od vody. Tento jev vysvětlujeme tak, že přitažlivé síly, kterými na sebe působí navzájem molekuly vody a kovu (přilnavost), jsou větší než síly, kterými na sebe navzájem působí molekuly vody (soudržnost).

Poznámky:

1. Existenci odpudivých sil mezi částicemi potvrzují jevy jako malá stlačitelnost kapalin a pevných těles.
2. K přesnému určení síly potřebné k odtržení dvou kruhových destiček je vhodné využít digitální siloměr, který průběžně zaznamenává působící sílu.

17 Změna vnitřní energie soustavy

Vnitřní energií U tělesa (soustavy) rozumíme součet celkové kinetické energie neuspořádaně se pohybujících částic tělesa (molekul, atomů a iontů) a celkové potenciální energie vzájemné polohy těchto částic. Vnitřní energie tělesa není obecně konstantní veličinou. Vnitřní energii zkoumané soustavy lze měnit konáním práce, tepelnou výměnou nebo oběma ději současně.

17.1 Změna vnitřní energie tepelnou výměnou

Pomůcky:

skleněná baňka, zátku s jedním otvorem, skleněná trubička délky cca 30 cm, větší nádoba (akvárium nebo hrnec) s teplou vodou, fix

Postup:

1. Skleněnou baňku naplníme obarvenou vodou a uzavřeme ji zátkou, kterou prochází trubička. Naplnění a uzavření baňky provedeme tak, aby voda vystoupila nad zátku a pod zátkou nebyly bubliny. Výšku sloupce vody v trubičce si označíme fixem.
2. Baňku vložíme do nádoby s teplou vodou. Mezi tělesy probíhá tepelná výměna a po určité době bude baňka s vodou v rovnovážném stavu s lázní. Dojde ke zvýšení hladiny sloupce vody v trubičce.

Závěr:

Ze zvýšení hladiny sloupce vody v trubičce usuzujeme na změnu vnitřní energie soustavy tepelnou výměnou.

Poznámky:

1. Pokus je současně demonstrací teplotní objemové roztažnosti kapaliny a umožňuje také vysvětlit princip cejchování kapalinového teploměru v Celsiově teplotní stupnici.

17.2 Změna vnitřní energie konáním práce

Pomůcky:

elektromotorek a zdroj SS napětí, skleněná nebo plastová míchačka, plastová lahev nebo kelímek (např. od jogurtu), digitální teploměr, ricinový olej nebo glycerin, stativ, polystyren

Postup:

1. Kelímek naplníme asi do poloviny ricinovým olejem nebo glycerínem a položíme ho do nádoby z polystyrenu, abychom zajistili dobrou tepelnou izolaci bočních stěn a dna kelímku od okolí.
2. Do oleje vložíme teploměr a míchačku, kterou roztáčíme pomocí elektromotorku.
3. Změříme počáteční teplotu t_1 soustavy a zapnutím motorku roztočíme míchačku.
4. Průběžně sledujeme změnu teploty při míchání oleje a asi po 15 minutách motorek vypneme a změříme konečnou teplotu t_2 .

Závěr:

Zvýšením teploty $t_2 - t_1$ demonstrujeme změnu vnitřní energie soustavy, která nastala konáním práce motorku na soustavě.

Poznámky:

1. Lahev plníme takovou kapalinou, která má malou tepelnou kapacitu, např. přibližně poloviční, než má voda. Kromě ricinového oleje je vhodný glycerin, lze také použít např. sirup.
2. K míchání lze použít i ruční šlehač, ale kovová metla se musí nahradit míchačkou, která je z materiálu o malé tepelné vodivosti (např. z plastu nebo dřeva).
3. Demonstrovat, že konáním práce se změní vnitřní energie těles, lze také pomocí experimentu, kde zatlučeme hřebík do kusu dřeva. Po vytažení hřebíku kleštěmi ze dřeva můžeme např. pomocí termočlánku ukázat, že se jeho teplota zvýšila. Hřebík se při vytahování zahřeje díky tření mezi ním a dřevem.

18 Sdílení tepla

Přenos nebo také sdílení tepla můžeme rozdělit do tří základních kategorií: tepelná výměna vedením (kondukcí), tepelná výměna prouděním (konvekci) a tepelná výměna sáláním (zářením). Přenos tepla v reálných situacích v různých zařízeních je obvykle kombinací dvou nebo i všech tří uvedených způsobů.

18.1 Sdílení tepla vedením

Při sdílení tepla vedením si tepelnou energii vyměňují jen spolu sousedící částice látky. Podle součinitele tepelné vodivosti λ dělíme látky na dobré a špatné vodiče tepla. Největší tepelnou vodivost mají kovy, čehož se využívá v technice (elektrický vaříč, pájka, kovová chladicí tělesa u chladničky). Naopak velmi malou tepelnou vodivost má voda, nejnižší tepelnou vodivost mají plyny. Proto sytké a pórovité látky, uvnitř kterých je vzduch, jsou špatnými tepelnými vodiči (textilie, peří, suché dřevo, cihly, písek) a používají se jako tepelná izolace (vrstva vzduchu mezi dvojitými okny).

Budeme-li uvažovat rovinnou desku o tloušťce d , jejíž konce jsou udržovány na konstantních teplotách t_1, t_2 ($t_2 > t_1$) a teplo proudí pouze kolmo k povrchovým plochám desky, pak teplo Q , které projde plochou S povrchu desky za čas τ lze určit ze vztahu

$$Q = \lambda S \frac{t_2 - t_1}{d} \tau, \quad (18.1)$$

kde λ je součinitele tepelné vodivosti. Jednotkou λ je $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Pomůcky:

přístroj pro demonstraci sdílení tepla v pevných látkách tzv. Ingenhouszův přístroj, vaříč, voda, vosk

Postup:

1. Přístroj pro demonstraci sdílení tepla v pevných látkách je složen z pěti tyčinek stejné délky a stejného průměru, které jsou ovšem vyrobeny z různých materiálů (viz obr. 18.1). V našem konkrétním případě se jedná o tyčinky vyrobené z mědi, hliníku, mosazi, železa a umělé hmoty. Do důlků v těchto tyčinkách upevníme kousky vosku a celý přístroj položíme na plechovou nádobu, která obsahuje vodu a leží na elektrickém vaříči.
2. Zapneme vaříč a pozorujeme postupné odpadávání vosku z jednotlivých tyčinek. Jakmile se určité místo na tyčce ohřeje na bod tání vosku, kulička z vosku spadne dolů.

Závěr:

Experimentem demonstrujeme, že různé látky mají různou tepelnou vodivost a různě vedou teplo. Nejlépe vedou teplo látky s nejvyšší hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ . Tedy v souladu s tab. 18.1 jsme ukázali, že nejlépe z těchto pěti materiálů vede teplo měď, poté hliník, mosaz a železo. Nejhůře umělá hmota.



Obr. 18.1 Ingenhouszův přístroj

Látka	$\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Měď	386
Hliník	237
Mosaz	120
Železo	80
Umělá hmota	0,1

Tab. 18.1 Součinitelé tepelné vodivosti pro materiály použité v tomto experimentu

Poznámky:

1. K demonstraci sdílení tepla vedením lze použít i jiné přístroje než je zde zmíněný Ingenhouszův přístroj.

18.2 Crookesův radiometr

Crookesův radiometr je tvořen malým lehce otáčivým větrníčkem, který je uzavřen ve skleněné baňce (viz obr. 18.2). Větrníček má čtyři křídélka, která tvoří lehké lístky ze slídy. Jedna strana lístků je černá, druhá stříbrolesklá.

Pomůcky:

Crookesův radiometr, tepelný zdroj, skleněné desky různé tloušťky a barvy

Postup:

1. Radiometr postavíme na stůl, pokud možno na místo, které není osvětleno slunečními paprsky. Větrníček se neotáčí.
2. Přiblížíme-li k radiometru tepelný zdroj, roztočí se větrníček tak, že lesklé plošky se pohybují dopředu, černé jako by byly odtlačovány.

3. Vkládáme-li mezi tepelný zdroj a radiometr skleněné destičky různé tloušťky a různé barvy, můžeme podle rychlosti otáčení větrníčku usuzovat na tepelnou propustnost příslušného materiálu.



Obr. 18.2 Crookesův radiometr

Závěr:

Černé plošky se dopadem tepelného záření ohřívají na vyšší teplotu než plošky lesklé. Molekuly plynů okolního vzduchu, který zůstal po vyčerpání v baňce radiometru, narážejí na všechny plošky, ale při odrazu na černých ploškách získávají větší hybnost, než měly původně. Od lesklých plošek se odrážejí s hybností o stejné velikosti. Tato nestejná změna hybnosti se projeví výslednou tlakovou silou na černé plošky.

19 Povrchové jevy

Volný povrch kapaliny se chová tak, jako by byl pokryt pružnou blánou. Vrstva molekul, jejichž vzdálenost od volného povrchu kapaliny je menší než poloměr sféry molekulového působení, se nazývá povrchová vrstva. Na každou molekulu ležící v povrchové vrstvě kapaliny působí sousední molekuly výslednou přitažlivou silou směřující do kapaliny.

Síly směřující dovnitř kapaliny způsobují, že kapalina daného objemu nabývá takového tvaru, aby obsah jejího povrchu byl co nejmenší.

19.1 Existence povrchové vrstvy kapaliny

Pomůcky:

miska s vodou, tenká ocelová jehla, špendlík, žiletka nebo lehčí mince

Postup:

1. Na volný povrch vody v misce položíme opatrně např. ocelovou jehlu. Pozorujeme, že povrch vody v okolí předmětu se prohne. Ačkoliv je hustota předmětu větší než hustota vody, předmět se nepotopí.
2. Ocelovou jehlu nebo minci položíme kolmo k hladině. Předmět klesá ke dnu.

Závěr:

Volný povrch kapaliny se chová jako tenká pružná blána, která má snahu stáhnout se na plochu s nejmenším obsahem. Položíme-li na volnou hladinu kapaliny např. jehlu, dojde k prohnutí kapaliny kolem předmětu. Tímto prohnutím zvětší kapalina svůj povrch. Kapalina se snaží tento povrch opět zmenšit a prohlubeň zarovnat. Pokud pokládáme předměty protrhnou povrchovou vrstvu kapaliny, tak se potopí.

Poznámky:

1. O kulovém tvaru kapek se můžeme přesvědčit také pokusem, kdy do vody ve zkumavce kápneme (olivový) olej a pomalu doléváme líh. Je-li hustota roztoku lihu s vodou rovna hustotě oleje, vytvoří olej dokonalou kuličku, která se vznáší v kapalině.
2. Proč může vodoměrka kráčet po vodě? Vodorovné konce nohou vodoměrky spočívají na hladině podobně jako například tenká jehla a povrchová síla, která na ně působí, je dostatečně velká, aby unesla lehkou vodoměrku.
3. Zajímavé pokusy lze nalézt i na internetových stránkách:
<http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=104>
<http://www.youtube.com/watch?v=Oz36sApgMMo>
<http://www.youtube.com/watch?v=6KKNnjFpGto>

19.2 Plateauovy síťky

Pomůcky:

Plateauovy síťky (drátěné modely těles), mýdlový nebo saponátový roztok, glycerín, kádinka

Postup:

1. Do saponátového roztoku ponořujeme drátěné modely geometrických těles (tzv. Plateauovy síťky). Roztok musí být bez bublin. Vytahujeme-li model pomalu z roztoku, spojují se hrany blánou tak, že vždy vznikne tvar o nejmenším povrchu. Zajímavé obrazce dostaneme, když některou rovinnou plochu mezi hranami přetrhneme.
2. Pokud nemáme k dispozici Plateauova tělesa, můžeme si je jednoduše vyrobit z drátu.



Obr. 19.1 Plateauovy síťky

Závěr:

Působením povrchové blány má kapalina daného objemu snahu nabývat takového tvaru, aby obsah jejího povrchu byl co nejmenší, a tím byla minimální povrchová energie.

19.3 Povrchová síla – Maxwellův pokus

Pomůcky:

nádoba s mýdlovým nebo saponátovým roztokem, drátěný obdélníkový rámeček s jedním pohyblivým ramenem, drátěná závažička, stativ

Postup:

1. Ze saponátového roztoku vytvoříme kapalinovou blánu na drátěném rámečku s jedním pohyblivým ramenem (viz obr. 19.2).
2. Rámeček dáme do svislé polohy a posuvnou příčku zatěžujeme malými závažičky. Pokud závaží sundáme, pozorujeme, že se blána stahuje.

Závěr:

Z experimentu vyplývá, že v rovině rámečku působí povrchová síla kolmá na příčku.

Poznámky:

1. Přesné určení síly působící na rámeček je velmi nesnadné, neboť se silně uplatňuje tření mezi očky pohyblivé strany a rameny rámečku. Celkovou velikost síly, kterou (vlivem povrchového napětí σ) na příčku délky d působí oba povrchy blány, je dána vztahem $F = 2\sigma d$.

2. Povrch kapaliny představuje rozhraní mezi kapalinou a jiným prostředím. Proto vlastnosti povrchové vrstvy závisí nejen na kapalině, ale také na prostředí, s nímž kapalina sousedí.



Obr. 19.2 Povrchová síla – Maxwellův pokus

19.4 Povrchová síla – Van der Mensbruggheův pokus

Pomůcky:

nádoba s mýdlovým nebo saponátovým roztokem, drátěný rámeček, nit

Postup:

1. K drátěnému rámečku připevníme smyčku z niti (např. viz obr. 19.3).



Obr. 19.3 Povrchová síla – Van der Mensbruggheův pokus

2. Rámeček ponoříme do saponátového roztoku.
3. Vytáhneme-li drát z roztoku, vytvoří se na něm blána (tenká vrstva s dvěma povrchy).
4. Na jedné straně niti blánu propícháme. Nit se napne do kruhového oblouku.
5. Nyní položíme na mýdlovou blánu navlhčenou smyčku z nitě. Smyčka má obecný tvar podle toho, jak se nám ji podařilo na blánu umístit, protože povrchové síly působící na každou část nitě z obou stran jsou stejně velké a navzájem se ruší.
6. Blánu uvnitř smyčky propícháme. Smyčka se roztáhne do kružnice.

Závěr:

Propícháme-li blánu uvnitř smyčky, zaniknou povrchové síly uvnitř smyčky a povrchové síly vně smyčky jsou v každém místě kolmé k niti a směřují do kapaliny. Nit se napne.

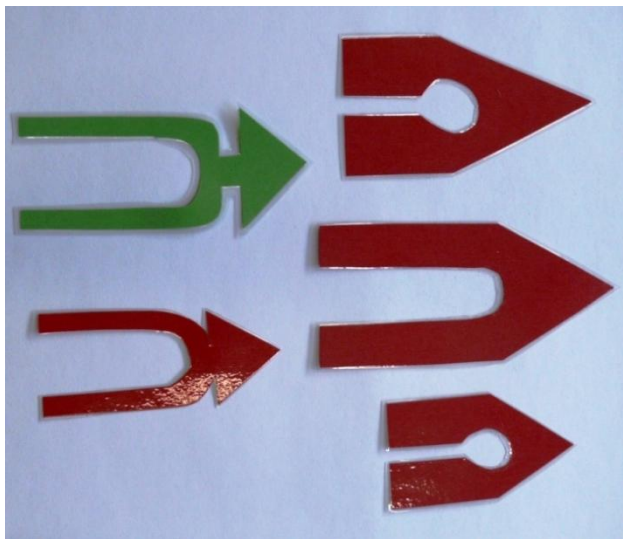
19.5 Závislost povrchového napětí na druhu kapaliny

Pomůcky:

tenká lepenka nebo pohlednice, případně tenká PVC podložka, větší miska, saponát

Postup:

1. Z tenké lepenky vystříháme obrazce podobné lodičkám (viz obr. 19.4).
2. Obrazce položíme na hladinu vody v misce.
3. Za lodičku kápneme saponát. Pozorujeme, že lodička prudce vystartuje směrem vpřed.



Obr. 19.4 Obrazce z tvrdého papíru

Závěr:

V místě, kde jsme kápli saponát, se zmenšila povrchová síla působící na obrazce. Přidáním saponátu do vody se sníží povrchové napětí vody.

Poznámky:

1. Po každém pokusu je třeba vyměnit vodu v misce, protože se saponátový roztok rychle rozšíří po vodní hladině a obrazce se přestanou pohybovat.
2. Můžeme vystříhnout libovolné obrazce, které umožní řídit lodičku doprava nebo doleva nebo při kápnutí saponátu dojde k otáčení obrazce.

19.6 Závislost povrchového napětí na teplotě

Pomůcky:

dvě stejné sklenice, proužek tkaniny, studená a horká voda

Postup:

1. Dvě stejně velké sklenice postavíme vedle sebe a jednu naplníme studenou vodou a druhou do stejné výšky horkou vodou.
2. Přes sousední okraje sklenic položíme proužek tkaniny tak, aby oba konce ležely na vodě stejně velkými plochami. Pozorujeme, že část tkaniny, která leží na horké hladině, se potopí značně rychleji než druhá část.

Závěr:

Horká voda má menší povrchové napětí než studená voda.

Poznámky:

1. Poznatek, že povrchové napětí závisí rovněž na teplotě (s rostoucí teplotou klesá) si lze ověřit také následovně. Jestliže vodu, na jejímž povrchu plave jehla nebo mince, zahříváme, pak v určitém okamžiku povrchová vrstva předměty neudrží.

19.7 Závislost kapilární elevace na poloměru trubice

Pomůcky:

kapiláry o různém vnitřním průměru, nádoba s obarvenou vodou, stojan s držákem

Postup:

1. Do nádoby s vodou svisle postavíme několik kapilár o různém vnitřním průměru. Pozorujeme zvýšení volné vodní hladiny v jednotlivých kapilárách vzhledem k volné hladině vody v nádobě.

Závěr:

Výška při kapilární elevaci je největší u kapiláry s nejmenším vnitřním průměrem.

20 Demonstrace teplotní roztažnosti

Z praxe známe mnoho případů teplotní roztažnosti pevných těles. V průběhu roku se mění délka drátů elektrického vedení, ocelové konstrukce se zahříváním roztahují, délková měřidla udávají správnou hodnotu délky jen při teplotě, pro kterou byla kalibrována, písty automobilových motorů mají za studena menší průměr, do kovových potrubí, kterými prochází horká pára, se vkládají pružná kolena apod.

20.1 Teplotní délková roztažnost pevného tělesa

Pomůcky:

demonstrační délkový dilatometr, tyče různých materiálů, rychlovarná konvice, hadičky

Postup:

1. Ocelovou tyč vložíme do ohřívací trubice dilatometru, ke kterému připojíme hadičku. Druhý konec hadičky umístíme do rychlovarné konvice.
2. Zapneme rychlovarnou konvici. Pára z ní vede do ohřívací trubice dilatometru, která se začne zahřívat. Po chvíli pozorujeme zvětšování výchylky na dilatometru, což potvrzuje prodlužování tyče.
3. Nyní můžeme do dilatometru vložit hliníkovou nebo skleněnou tyč a demonstrujeme teplotní roztažnost těchto látek. Necháme-li tyče chladnout, pozorujeme jejich zkracování.
4. Po demonstraci veškeré části dilatometru necháme vyschnout.

Závěr:

S rostoucí teplotou se zvětšuje délka kovové tyče. Její prodloužení je přímo úměrné počáteční délce trubky, přírůstku teploty a závisí také na materiálu trubky. Za stejných podmínek se hliníková trubka prodlouží více než trubka ocelová.

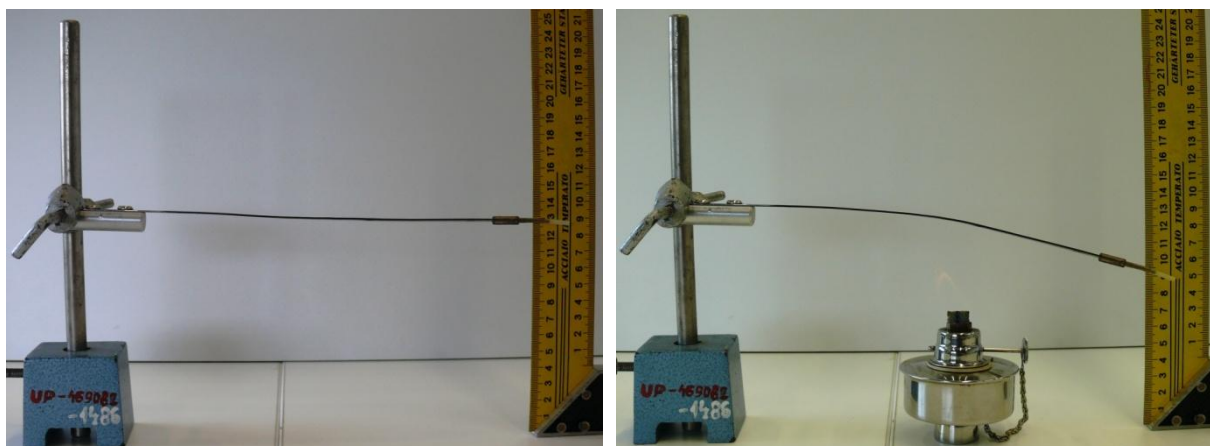
20.2 Bimetalový pásek

Pomůcky:

bimetalový pásek, stativ s držákem, kahan, vertikální měřítko

Postup:

1. Bimetalový pásek na jednom konci k držáku stojanu tak, aby byl pásek ve vodorovné poloze. Na druhý konec pásku umístíme vertikální měřítko a zapíšeme si, v jaké výšce je tento konec pásku.
2. Pásek zahříváme kahanem a pozorujeme jeho deformaci a změnu pozice volného konce pásku vzhledem k vertikálnímu měřidlu.



Obr. 20.1 Bimetalový pásek

Závěr:

Z experimentu vyplývá, že různé kovy mají různý teplotní součinitel délkové roztažnosti.

20.3 Teplotní délková roztažnost pryžového vlákna

Pomůcky:

pryžové vlákno, stativ s držákem, závaží, tepelný zářič nebo např. fén

Postup:

1. Pryžové vlákno (např. čtyřhranná guma) upevníme jedním koncem do držáku v horní části stojanu. Druhý konec vlákna zatížíme vhodným závažím.
2. Vláknem začneme zahřívat opatrným přiblížením tepelného zářiče nebo např. fénem. Pozorujeme, že s rostoucí teplotou se vlákno zkracuje. Tedy nastává opačný jev, než jsme pozorovali při zahřívání drátu nebo kovové tyče.

Závěr:

Při deformaci tahem dochází ve struktuře pryžového vlákna (polymeru) k tomu, že původně nahodilé svinuté řetězce makromolekul se narovnávají. Zvětší-li se teplota namáhaného pryžového vlákna, musí se velikost síly potřebné k jeho deformaci zvětšit, aby se dosáhlo stejného prodloužení. Je-li deformující síla stejná, vlákno se zkracuje, protože polymerní řetězce se zkracují.

20.4 Teplotní objemová roztažnost pevného tělesa

Pomůcky:

stojánek s kuličkou a kroužkem, hořák

Postup:

1. Nejprve ukážeme, že kulička, která není zahřátá, projde kroužkem.
2. Zahřejeme-li kuličku nad plamenem hořáku, kroužkem neprojde.

3. Necháme kuličku chvíli vychladnout a opět ukážeme, že ji lze protáhnout kroužkem zpět.



Obr. 20.2 Demonstrace teplotní objemové roztažnosti

Závěr:

S rostoucí teplotou se zvětšuje i objem kuličky.

21 Regelace ledu

Pomůcky:

plastová láhev 1,5 l, dvě závaží (např. dvě plastové láhve 2 l), ocelový drát délky cca 1 m a průměru 0,3 mm, větší miska, hadr

Postup:

1. Tento experiment je nutné připravit 1 den před jeho předvedením žákům. Plastovou lahev o objemu 1,5 l naplníme téměř pod hrdlo vodou, uzavřeme zátkou a vložíme do mrazničky.
2. Lahev se zmrzlou vodou vytáhneme z mrazničky a uprostřed láhve vyřízneme z obalu proužek, abychom odkryli led.
3. Láhev položíme přes opěradla dvou židlí. Přes led vedeme tenký ocelový drát, který na každém konci zatížíme minimálně 2 l uzavřenou lahví naplněnou vodou (lze zvolit i větší zatížení, doba trvání pokusu je pak kratší). Pod láhev se zatížením dáme na podlahu velkou misku a hadr.
4. Pozorujeme, že drát pomalu proniká ledem, úplně jím projde, ale led zůstane v celku.

Závěr:

Při zvětšení okolního tlaku se u ledu snižuje teplota tání. Tohoto výrazného zvětšení tlaku jsme dosáhli pod zatíženým drátem. Proto pod drátem led taje při teplotě nižší než 0°C . Vzniklá voda vniká nad drát, kde je nižší tlak, a proto nad drátem voda opět zmrzne. Drát postupně pronikne ledem, aniž ho rozdělí na dvě samostatné části.

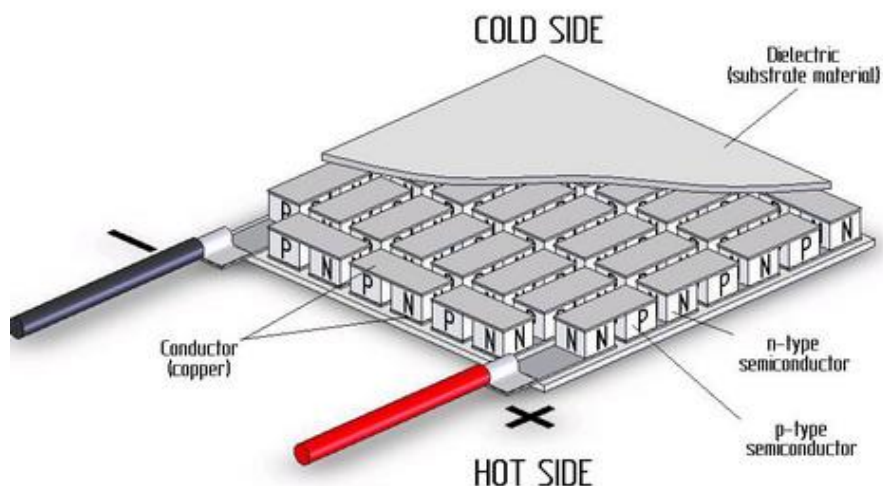
Poznámky:

1. Láhev s ledem necháme chvíli stát v teplé místnosti, aby se teplota ledu přiblížila 0°C .
2. Experiment je časově náročný podle zvoleného drátu, proto je vhodné začít s předvedením na začátku vyučovací hodiny, aby drát prošel celým ledem do konce vyučovací hodiny. Je vhodné vyzkoušet více různých drátů, a poté využívat ten, který ledem projde do 45 min.

22 Peltierův článek

Peltierův článek funguje na základě Peltierova jevu, který objevil v roce 1834 francouzský fyzik Jean Peltier. Tento jev popisuje situaci, kdy proud prochází obvodem s dvěma rozdílnými vodiči zapojenými v sérii (většinou se jedná o tellur a bismut). Jedna ze styčných ploch článku se ochlazuje a druhá se ohřívá. Takto pracují některé bateriové chladničky nebo aktivní chlazení polovodičových prvků. Jestliže naopak budeme jednu stranu ohřívat a druhou ochlazovat, stane se článek zdrojem napětí. K němu připojený spotřebič bude konat práci. Vhodný spotřebič je např. malý motorek.

Peltierův článek se vyrábí v mnoha variantách. Vhodný se dá koupit jako elektronická součástka za cenu od cca 200 Kč. V reálném provedení jde o baterii 72 článků spojených v sérii. Jsou propojeny měděnými můstky a sevřeny mezi dvě keramické destičky tvořící povrch.



Obr. 22.1 Peltierův článek (převzato z http://www.mathf.comlu.com/?page=pr_peltier&lang=en)

Pomůcky:

Peltierův článek, chladiče z PC, motorek, vrtulka, skleněná miska, rychlovarná konvice, voda

Postup:

1. Pokud nemáme experiment složen, je třeba před demonstrací věnovat několik minut jeho sestavení. Peltierův článek vložíme mezi dva chladiče (např. ze starého PC), vodiče vedoucí z článku připevníme (případně připájíme) k vhodnému motorku, na jehož osu upevníme vrtulku z malého letadélka (viz obr. 22.2).
2. Sestavený Peltierův článek položíme do skleněné misky, do které nalijeme vroucí vodu. Pozorujeme, že vrtulka na motorku se začne otáčet.

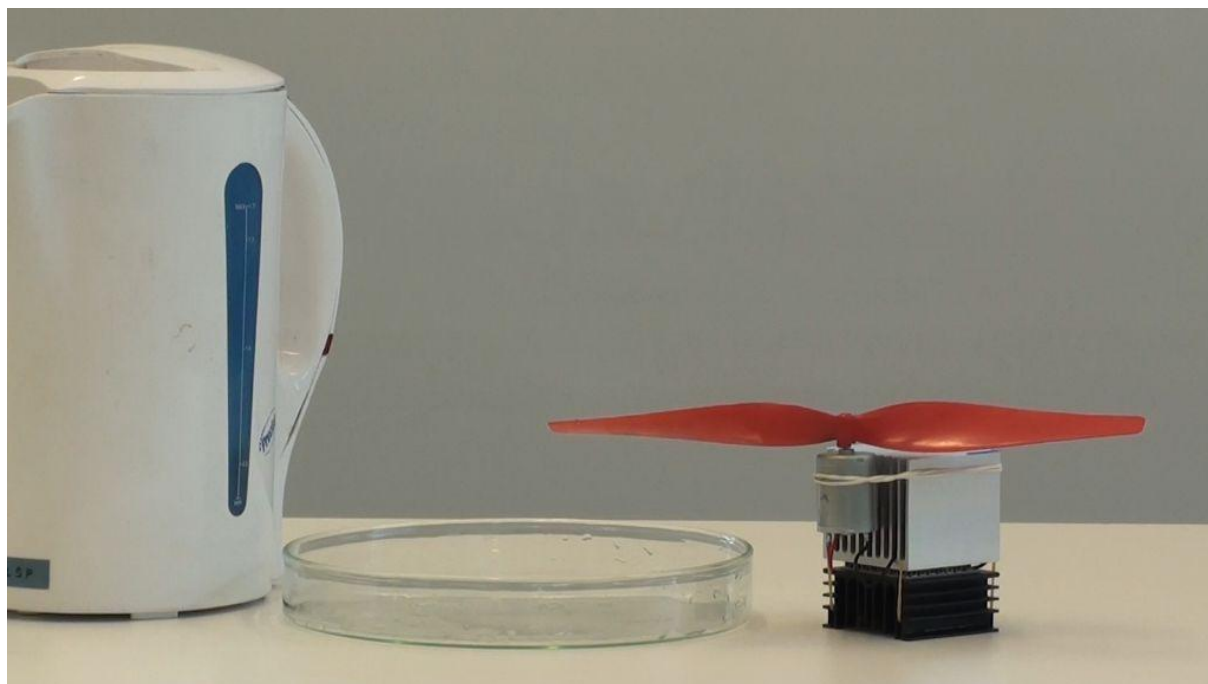
Závěr:

Experimentem vyrábíme elektřinu s využitím Peltierova článku, jedna strana článku se zahřívá, druhá má pokojovou teplotu.

Poznámky:

1. Peltierův článek lze koupit v mnoha internetových obchodech s elektronickými součástkami.

2. Při průchodu proudu i při zahřívání nesmíme překročit hodnoty dané výrobcem. Jde o polovodičovou součástku.



Obr. 22.2 Sestavený experiment s využitím Peltierova článku

23 Mechanické kmitání

Pro mechanické kmitání neboli kmitavý pohyb je charakteristické, že kmitající těleso při pohybu zůstává stále v okolí určitého bodu, označovaného jako rovnovážná poloha.

Zařízení, které volně, tzn. bez vnějšího působení, kmitá, je mechanický oscilátor. Jednoduchým mechanickým oscilátorem může být těleso zavěšené na pružině. Kmitavý pohyb koná rovněž těleso zavěšené na pevném vlákně, které rozkmitáme vychýlením z rovnovážné polohy. Takový oscilátor nazýváme kyvadlo.

23.1 Harmonické kmitání ladičky

Pomůcky:

ladička s hrotem, svíčka, pryžové kladivo, zápalky, skleněná deska

Postup:

1. Nejprve zapálíme svíčku a skleněnou desku začadíme po jedné straně plamenem svíčky tak, aby vznikla neprůhledná skvrna délky asi 20 cm.
2. Ladičku s hrotem rozkmitáme úderem pryžového kladívka a pak jí v mírně skloněné poloze přímočaře a rovnoměrně pohybujeme nad deskou tak, aby se hrot ladičky dotýkal desky. Kmitající hrot vytvoří při pohybu ladičky na začazené desce časový rozvoj kmitání.

Závěr:

Průběh stopy vytvořené hrotem kmitající ladičky svědčí o tom, že kmitání ladičky je harmonické.

23.2 Matematické kyvadlo

Jako kyvadlo se obvykle označuje jakékoliv těleso zavěšené nad těžištěm, které se může volně otáčet kolem vodorovné osy procházející bodem závěsu kolmo k rovině kmitání. Ve fyzice zavádíme abstraktní model, tzv. matematické kyvadlo, což je hmotné těleso zavěšené na pevném vlákně zanedbatelné hmotnosti a konstantní délky.

Perioda matematického kyvadla T závisí na amplitudě úhlové výchylky α . Při malých hodnotách α (do 5°) lze použít pro periodu matematického kyvadla vztah

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (23.1)$$

kde l je délka kyvadla a g velikost tíhového zrychlení.

Lze jednoduše ukázat, že pro žáky středních škol je vztah (23.1) naprosto dostačující i pro výchylky větší než 5° . Odvození vzorce pro periodu kmitů T pro výchylky větší než 5° lze nalézt v mnoha vysokoškolských učebnicích fyziky:

$$T \approx T_0 \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \dots \right), \quad (23.2)$$

kde T_0 je perioda malých kmitů matematického kyvadla. Pro výkmit např. $\alpha \approx 10^\circ$ je podle rovnice (23.2) $T \approx 1,002 T_0$, tedy změna periody a chyba, které se dopouštíme (použitím vzorce 23.1) je v tomto případě pouze 0,2 %.

Pomůcky:

kuličky (válečky) z různých látek, pevná nit, stativ, stopky, metr, úhloměr

Postup:

1. Nejprve budeme demonstrovat nezávislost periody na amplitudě úhlové výchylky kyvadla při malých hodnotách α .
2. Na vodorovnou tyč, která je upevněna v horní části stativu, nasuneme objímku s háčkem. Na háček přivážeme horní konec nitě, na jejímž dolním konci je zavěšena kovová kulička nebo váleček. Délku kyvadla volíme přibližně 1 m.
3. Zvolíme tři různé počáteční výchylky α (do 10°). Stopkami změříme dobu vždy deseti period kyvadla a vypočteme průměrné hodnoty period a porovnáme je. Za začátek i konec měřeného časového intervalu volíme vždy okamžik průchodu kyvadla jeho rovnovážnou polohou.
4. Nyní ověříme nezávislost periody na hmotnosti kyvadla.
5. Na vodorovnou tyč stativu zavěsíme ve vzájemné vzdálenosti asi 10 cm tři stejně dlouhá kyvadla o různé hmotnosti. Kyvadla rozkýváme současně. Pozorujeme, že kyvadla kývají se stejnou fází. Perioda kyvadel je stejná.

Závěr:

Při malých hodnotách amplitudy výchylky α nezávisí perioda kyvadla na α . Demonstrujeme, že perioda kyvadla nezávisí na jeho hmotnosti.

23.3 Blackburnovo kyvadlo

Pomůcky:

Blackburnovo kyvadlo, deska, písek

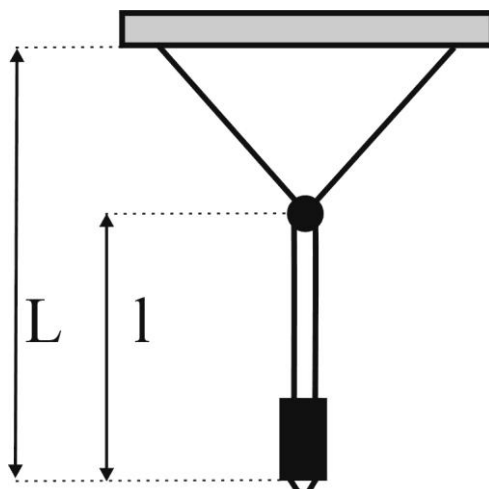
Postup:

1. Blackburnovo kyvadlo postavíme na stůl a vložíme pod něj desku. Délky závěsů kyvadla L a l nastavíme tak, aby poměr jejich odmocnin, který je roven poměru příslušných period, byl poměrem malých celých čísel (např. 2 : 1).
2. Prstem ucpeme spodní otvor kyvadla a do nálevky nasypeme písek.
3. Nálevku mírně vychýlíme, uvolníme prst a pustíme nálevku tak, aby kývala nad deskou. Padající písek kreslí Lissajousovu křivku.
4. Písek uklidíme a pokus opakujeme pro jiný poměr závěsů L a l .

Závěr:

Pomocí Blackburnova kyvadla demonstrujeme skládání dvou kolmých harmonických pohybů. Okamžitá výchylka bodu, který koná současně dva k sobě kolmé harmonické pohyby se společnou počáteční rovnovážnou polohou, je určena vektorovým součtem okamžitých

výchylek obou harmonických pohybů. Je-li poměr period roven poměru malých celých čísel, opisuje uvažovaný bod jednoduchou uzavřenou křivku (Lissajousovu křivku).



Obr. 23.1 Schéma Blackburnova kyvadla

Poznámky:

1. Snažíme se zachytit kyvadlo tak, aby nakreslilo křivku jen jednou, nejvýše dvakrát. Jinak jsou křivky nezřetelné, neboť kyvadlo koná velmi silně tlumený pohyb.

23.4 Spřažená kyvadla

Spřažená kyvadla jsou dvě stejná kyvadla spojená navzájem pružinou (viz obr. 23.2), popřípadě vláknem se závažím. Tím se mezi kyvadly vytváří vazba, která umožňuje přenos energie mezi jedním a druhým kyvadlem.



Obr. 23.2 Spřažená kyvadla

Pomůcky:

spřažená kyvadla, pružina

Postup:

1. Na obě kyvadla upevníme pružinu, která tvoří vazbu mezi kyvadly. Vychýlíme první kyvadlo z rovnovážné polohy a necháme ho volně kývat. Pozorujeme, že zatímco se amplituda výchylky tohoto kyvadla zmenšuje, začíná se druhé kyvadlo kývat se zvětšující se amplitudou výchylky. V okamžiku, kdy se první kyvadlo zastaví, kývá druhé kyvadlo s maximální amplitudou (jen o trochu menší, než mělo první kyvadlo na počátku). Tento děj se periodicky opakuje.

Závěr:

Energie prvního kyvadla periodicky přechází na druhé kyvadlo a z druhého kyvadla opět na první.

Poznámky:

1. Vazba mezi kyvadly nebude působit, rozkýváme-li je obě současně se stejnou počáteční fází i amplitudou úhlové výchylky. Kyvadla kývají jako na sobě nezávislá a energii si vzájemně nevyměňují.
2. Kyvadla si energii nevyměňují ani tehdy, když jsou rozkývána se stejnou amplitudou úhlové výchylky, ale s opačnou počáteční fází.

24 Mechanické vlnění

Mechanické vlnění vzniká v látkách všech skupenství a jeho příčinou je existence vazeb mezi částicemi prostředí, kterým se vlnění šíří. Kmitání jedné částice se vzájemnou vazbou přenáší na další částici. Současně se tak na druhou částici přenáší energie kmitavého pohybu.

24.1 Šíření vlnění na pružině

Pomůcky:

delší pružina

Postup:

1. Dlouhou pružinu mírně zatížíme na dolním konci. Horní konec držíme v ruce. Rychlým pohybem ruky nahoru pružinu natáhneme. Tím rozkmitáme horní závit. Postupně, v důsledku působení sil pružnosti mezi jednotlivými závity, dojde k rozkmitání dalších závitů ve směru šíření vlnění.

Závěr:

Na mírně napnuté pružině se vlnění šíří ve směru podélné osy pružiny. Jde o vlnění postupné podélné.

Poznámky:

1. Video k tomuto experimentu lze nalézt na webové stránce:
<http://courses2.cit.cornell.edu/physicsdemos/secondary.php?pfID=42>

24.2 Šíření vlnění na pružném laně

Pomůcky:

pružné lano

Postup:

1. Několik metrů dlouhé pružné lano upevníme na jednom konci. Druhý konec uchopíme rukou a kmitneme jím na horu a dolů ve směru kolmém ke směru lana. Pak lano mírně napneme. Pozorujeme, že se po laně šíří rozruch ve tvaru vlny.

Závěr:

Kmit vytvořený na začátku lana se v důsledku vazebných sil mezi jednotlivými částicemi lana postupně přenáší na další částice. Částice kmitají kolmo na směr šíření rozruchu. Lanem se šíří postupné vlnění příčné.

Poznámky:

1. Video k tomuto experimentu lze nalézt na webové stránce:
<http://courses2.cit.cornell.edu/physicsdemos/secondary.php?pfID=84>

24.3 Rázostroj

Pomůcky:

rázostroj

Postup:

1. Rázostroj se skládá z několika stejných koulí, které jsou jako kyvadla zavěšena na stejně dlouhých závěsech. Koule se navzájem dotýkají. Vychýlíme jednu krajní kouli do určité výšky a pak ji pustíme. Koule narazí na sousední kouli. Přitom dojde k pružné deformaci této koule. Deformace postupuje řadou koulí až ke kouli poslední, která odskočí.

Závěr:

Rozruch se může šířit i v prostředí, které se skládá z jednotlivých částí. Vazba je zde realizována silami pružnosti při vzájemném dotyku koulí.

24.4 Juliusův vlnostroj

Juliusův vlnostroj je tvořen řadou torzních kyvadel tvořených tyčemi opatřenými na obou koncích kuličkami. Tyče jsou pevněny na dvou pružných závěsech.

Pomůcky:

Juliusův vlnostroj, závaží, stativ

Postup:

1. Juliusův vlnostroj zavěsíme na stativ za horní konec pružných závěsů. Na spodní část vlnostroje připevníme závaží.
2. Vychýlíme horní torzní kyvadlo. Pozorujeme, že v důsledku vazby mezi jednotlivými kyvadly se postupně rozkmitávají další kyvadla.

Závěr:

Protože jednotlivá kyvadla kmitají v rovině kolmé na směr šíření vlnění, jde o vlnění postupné příčné.

Poznámky:

1. Tento vlnostroj si lze jednoduše vyrobit např. s využitím široké izolepy, několika špejlí a závažíček (např. kuličky), které se umístí na konce špejlí.
2. Video k tomuto experimentu lze nalézt na webových stránkách:
<http://www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/resource/2096/wave-machine>
http://www.youtube.com/watch?v=qUohelhrtI8&feature=player_embedded#!

24.5 Stojaté vlnění příčné na pryžové hadici

Pomůcky:

pryžová hadice délky 3 m až 4 m

Postup:

1. Pryžovou hadici upevníme k pevnému předmětu na jednom konci učebny. Hadici mírně napneme a volný konec pravidelně rozkmitáváme rukou. Změnou frekvence kmitů ruky se snažíme dosáhnout toho, aby na hadici vznikla půlvlna, tj. aby uprostřed hadice byla kmitna a na jejích koncích uzly.
2. Zvýšíme-li frekvenci kmitání, objeví se při určité frekvenci dvě kmitny a tři uzly. Při dalším zvyšování frekvence se počty kmiten a uzlů zvětšují.

Závěr:

Na hadici délky l se vytvoří celočíselný počet půlvln, tj. platí

$$l = n \frac{\lambda}{2}, \text{ kde } n = 1, 2, \dots \quad (24.1)$$

A platí

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (24.2)$$

kde λ je vlnová délka, v rychlost a f frekvence vlnění.

Protože velikost rychlosti šíření vlnění se během pokusu nemění, plyne z rovnice 24.2, že s rostoucí frekvencí se zmenšuje vlnová délka. Délka l se nemění a z rovnice 24.1 je vidět, že s klesajícím λ roste počet půlvln n .

24.6 Chvění struny

Pomůcky:

polychord, různé struny, smyčec, různá závaží, papírové jezdce, kobylka



Obr. 24.1 Polychord

Postup:

1. Na strunu, která je na jednom konci vedena přes kladku zavěšíme závaží o hmotnosti 1 kg. Na strunu nasadíme lehké papírové jezdce.
2. Strunu rozechvějeme uprostřed smyčcem. Vlnění se od místa rozruchu šíří na obě strany, od pevných konců se odrazí a interferuje se zdrojovým vlněním. Výsledkem je vznik stojatého vlnění příčného na struně. Uprostřed struny se nachází kmitna a na upevněných koncích uzly. Platí tedy vztah

$$2l = \lambda, \quad (24.3)$$

kde l je délka struny mezi místy uchycení a λ je délka vlny stojatého vlnění. Frekvence f_z , se kterou struna kmitá, se nazývá základní frekvence. Je to nejmenší frekvence tónu, který může struna při daném uspořádání (stejně délce a stejné napínací síle) vydávat.

3. Strunu upevníme ještě uprostřed (nejlépe kobyolkou). Tím na struně vytvoříme další uzel. Strunu rozechvějeme smyčcem v jedné čtvrtině délky struny od jejího levého okraje. Pak platí $l = \lambda$. Struna kmitá s první harmonickou frekvencí.
4. Podobně postupujeme pro vyšší harmonické frekvence. Kobytku umístíme pod strunu např. ve vzdálenosti $\frac{1}{3}l$ od levého okraje struny a strunu rozechvíváme smyčcem

uprostřed mezi jejím levým krajem a kobyolkou (tj. ve vzdálenosti $\frac{1}{6}l$ od levého okraje).

Obecně platí

$$l = k \frac{\lambda}{2}, \quad (24.4)$$

kde k je přirozené číslo.

5. Nyní zvětšíme hmotnost závaží, které napíná strunu. Rozechvějeme-li nyní strunu smyčcem uprostřed (kobytku neumístujeme), je frekvence f'_z , s jakou struna kmitá, vyšší než v pokusu podle druhého budu v postupu.

Závěr:

Struna může vydávat tóny jen určitých frekvencí. Při zvětšení napínací síly se zvýší základní frekvence kmitů struny.

25 Chladního obrazce

Pomůcky:

kovová deska čtvercového nebo kruhového tvaru, smyčec, kalafuna, jemný písek nebo krupice

Postup:

1. Desku jemně posypeme pískem nebo krupicí. Smyčec potřeme kalafunou.
2. Desku rozechvějeme smyčcem tak, že jím táhneme uprostřed strany čtverce přibližně kolmo na rovinu desky. Deska se rozezvučí a písek se shromáždí v místech, která jsou v klidu (v uzlových čarách).
3. Rozezvučíme-li desku v jiném místě než uprostřed strany, deska se opět rozkmitá, ale obraz vytvořený zrnky písku bude jiný než v předchozím případě.



Obr. 25.1 Demonstrace chvění desek

Závěr:

Písek, jímž je deska posypána, se při rozezvučení přemísť do míst, která se nepohybují (do tzv. uzlových čar).

Poznámky:

1. Uplatnění desek a napnutých blan jako zdrojů zvuku je velké. Jsou to např. činely, gong, bubny, kotle, tympány, zvony.

26 Zdroje zvuku

Zdrojem zvuku je chvění pružných těles. To se přenáší do okolního prostředí a vzbuzuje v něm zvukové vlnění. V praxi se nejčastěji setkáváme se zdroji zvuku, kterými jsou chvějící se pružná tělesa (struny, tyče, desky, blány), ale mohou to být i rotující tělesa (sirény).

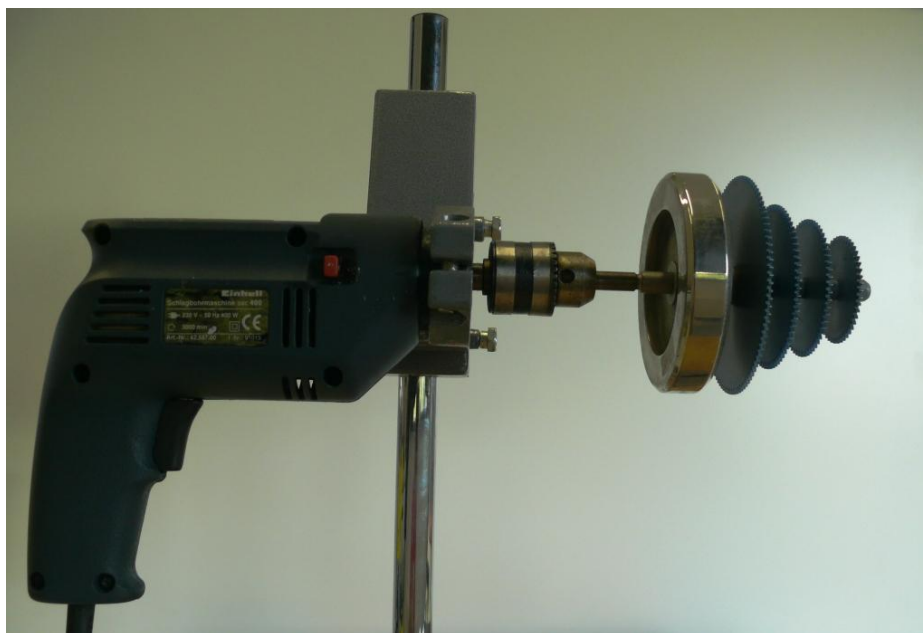
26.1 Savartova siréna

Pomůcky:

siréna, elektrický roztáčecí motorek (vrtačka), regulátor otáček, list tvrdého papíru

Postup:

1. Vrtačku upevníme do připraveného stojanu a pevně k ní připevníme soustavu tvořenou z několika ozubených kotoučů různého průměru (viz obr. 26.1).
2. Vrtačku připojíme k regulátoru otáček.
3. Zapneme vrtačku. Postupně se listem tvrdého papíru dotýkáme jednotlivých kotoučů, které vydávají různě vysoké tóny.
4. Můžeme měnit otáčky sirény. Pozorujeme, že výška tónu klesá s klesajícími otáčkami sirény.



Obr. 26.1 Model Savartovy sirény

Závěr:

Zvuk Savartovy sirény vzniká tak, že ozubené kolo sirény rozkmitá list papíru, a tím vyvolá periodické zhušťování a zředňování vzduchu, které se šíří jako zvukové vlnění. Při konstantních otáčkách je výška tónu největší, dotýkáme-li se listem papíru kotouče s největším počtem zubů (tj. kotouče s největším průměrem).

26.2 Seebeckova siréna

Hlavní částí Seebeckovy sirény je kovový kotouč s malými stejně od sebe vzdálenými otvory, jejichž středy leží na soustředných kružnicích.

Pomůcky:

siréna na stativu, regulovatelný zdroj napětí, hadička s koncovkou, případně kompresor se vzduchem

Postup:

1. Sirénu postavíme na stůl a připojíme ji k regulovatelnému zdroji napětí.
2. Zapneme kompresor se vzduchem a necháme ho zapnutý cca 1 min. Poté kompresor vypneme.
3. Zapneme zdroj a uvedeme sirénu do chodu. Její otáčky nastavíme změnou napětí zdroje.
4. Opět zapneme kompresor a jeho koncovou trysku přiblížíme k rotujícímu kotouči sirény do vzdálenosti asi 5 mm tak, aby docházelo k periodickému přerušování průchodu proudu vzduchu otvory v kotouči.
5. Posouváním trysky od středu kotouče k jeho obvodu demonstrujeme, že výška tónů vzrůstá a tvoří tónovou stupnici.



Obr. 26.2 Seebeckova siréna

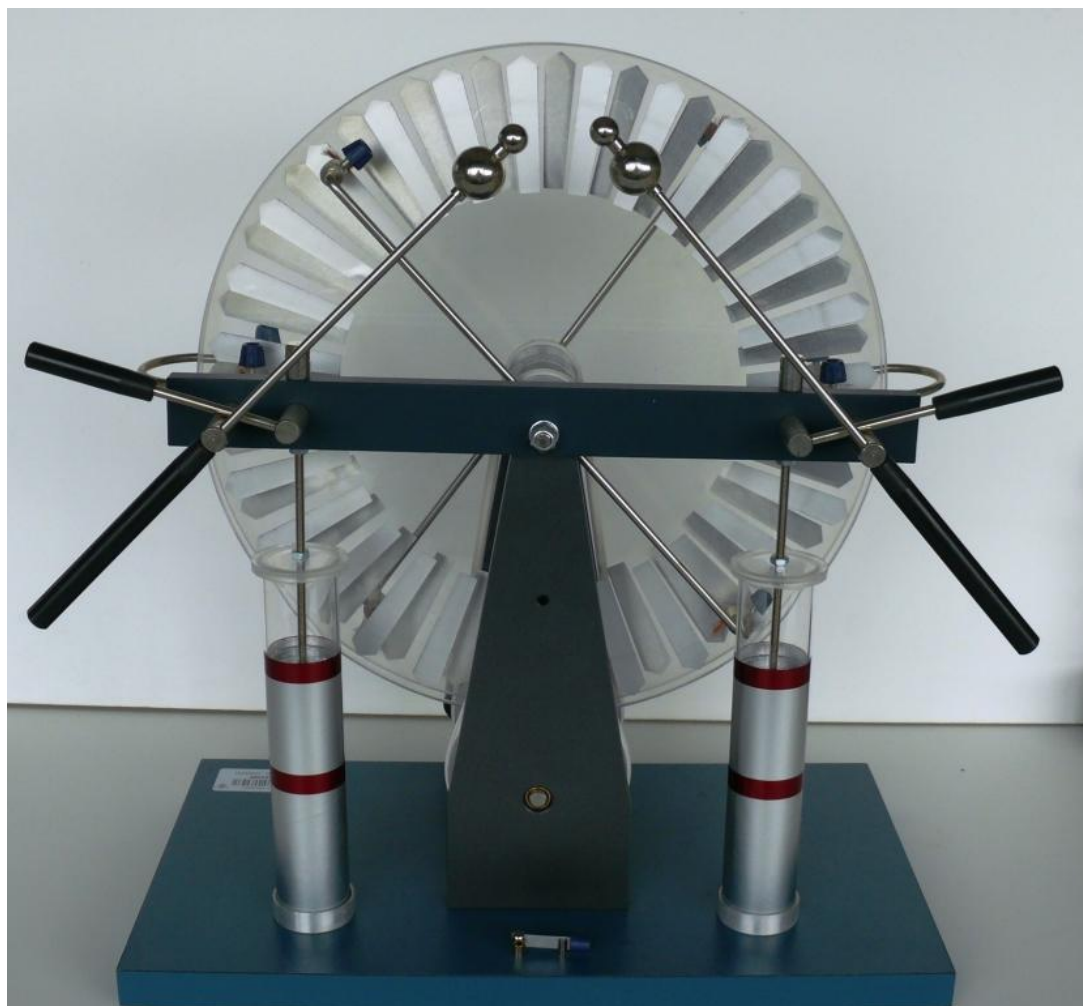
Závěr:

Zvuk Seebeckovy sirény vzniká periodickým přerušováním proudu vzduchu otvory sirény, čímž vznikají v daném místě periodické změny tlaku vzduchu, které se odtud šíří jako zvukové vlnění.

27 Wimshurstova indukční elektrika

Wimshurstova indukční elektrika (viz obr. 27.1) lze použít při pokusech, kdy potřebujeme velkou intenzitu elektrického pole a velmi malý proud, tedy v pokusech z elektrostatiky. Wimshurstova indukční elektrika je sestavena ze dvou stejných skleněných (nebo ebonitových) kotoučů, které jsou umístěny na společné ose a otáčejí se proti sobě. Na vnější straně kotoučů jsou po jejich obvodu paprskovitě rozloženy staniolové (nebo hliníkové) polepy. Na vnějších stranách přiléhají na polepy jemné drátěné kartáčky, upevněné na tyčinkách, které vodivě spojují polepy ležící proti sobě na stejném kotouči. Kartáčky se jemně dotýkají polepů. Kromě tyčinek s kartáčky jsou na nosné konstrukci připevněny dva podkovovité sběrače, jež jsou opatřeny hroty, které odsávají elektrický náboj z polepů.

Polovina polepů mezi drátěnými kartáčky je vždy na každé desce stejné polarity, druhá polovina opačné polarity. Náboje jsou pak odsávány sběrači a odváděny do kulových vodičů indukční elektriky. Při dostatečně vysokém napětí se nesouhlasné náboje na kulových vodičích vybijí jiskrou. Elektrický náboj se hromadí ve dvou leidenských lahvích (válcové kondenzátory), které jsou připojeny ke kulovým vodičům indukční elektriky.



Obr. 27.1 Wimshurstova elektrika

Indukční elektrikou lze dosáhnout napětí až 100 kV. Proudů získané z tohoto zdroje jsou velmi malé 10^{-5} A. Pro pokusy z elektrostatiky jsou nejvhodnější suché a mrazivé dny.

27.1 Elektrické kyvadélko

Pomůcky:

dvě kovové desky na stojáncích, Wimshurstova indukční elektrika, pingpongový míček na nevodivé niti, stojan, spojovací vodiče

Postup:

1. Dvě kovové desky umístíme ve vertikální poloze do stojanů. Stojany postavíme na polystyrenovou desku cca 10 cm od sebe.
2. Mezi desky umístíme míček s vodivým povrchem (potažený alobalem nebo začerněný tuhou).
3. Jeden vybíječ indukční elektriky spojíme s jednou deskou, druhý spojíme s druhou deskou a začneme otáčet klikou elektriky.
4. Míček vychýlíme tak, aby se dotkl jedné z desek. Při dotyku se míček nabije souhlasným nábojem jako příslušná deska a od desky se odpuzuje. Druhá deska naopak míček přitahuje. Jakmile se míček dotkne druhé desky, vybije se a hned se nabije opačným nábojem a začne se od desky odpuzovat. Děj se neustále opakuje. Míček kmitá mezi deskami.

Závěr:

Nesouhlasně nabitá tělesa se přitahují, souhlasně nabitá se odpuzují.



Obr. 27.2 Demonstrace elektrického kyvadélka se zvonky

Poznámky:

1. Místo kovových desek můžeme použít několik zvonků s kovovými kuličkami (viz obr. 27.2), kde nabijeme (např. indukční elektrikou nebo van de Graaffovým generátorem) prostřední zvonek. Na stejném principu, jako s kovovými deskami, začnou kuličky kmitat mezi zvonky.

2. Zajímavou obměnou tohoto experimentu může být demonstrace se starou televizí, alobalem a dvěma plechovkami od nápoje. Televizní obrazovku pokryjeme alobalem a z plechovky odstraníme ouško, pomocí něhož se plechovka otvírá. Ouško navlékneme na nit a druhý konce nitě namotáme na dřívko (např. na tužku). Pak jeden konec vodiče upevníme (např. pomocí izolepy) na alobal a druhý konec připevníme na plechovku. Na druhou plechovku upevníme jeden konec dalšího vodiče, jehož druhý konec se uzemní. Tužku s ouškem položíme na obě plechovky. Zapneme televizi. Mezi televizí a alobalem je statická elektřina (nashromážděný elektrický náboj). Jedna plechovka se nabije nábojem a pozorujeme jiné provedení experimentu s elektrickým kyvadélkem. Video k tomuto námětu naleznete na webové stránce:
<http://www.ceskatelevize.cz/program/port/800-franklinovy-zvonky>

27.2 Hustota náboje na Faradayově poháru

Pomůcky:

Faradayův pohár (válcový konduktor s otvorem), indukční elektrika, elektroskop, zkušební kulička

Postup:

1. Faradayův pohár postavíme na izolační stojánek, spojíme ho s vybíječem indukční elektriky a nabijeme ho.
2. Zkušební kuličkou se dotýkáme vnější části poháru a přenášíme náboj na elektroskop. Výchylka ručky elektroskopu se zvyšuje. Poté elektroskop vybijeme.
3. Faradayův pohár znovu nabijeme. Zkušební kuličkou se nyní dotýkáme vnitřní stěny poháru. Elektroskop nyní neukáže žádnou výchylku.

Závěr:

Na vnitřní stěně Faradayova poháru není žádný měřitelný elektrický náboj.

27.3 Sršení náboje

Pomůcky:

kulový konduktor s hrotem na izolačním stojánku, indukční elektrika, svíčka, elektroskop s deskovým konduktorem

Postup:

1. Jeden vybíječ indukční elektriky uzemníme, druhý spojíme s kulovým konduktorem s hrotem.
2. Před hrot umístíme svíčku tak, aby byl hrot vzdálen asi 10 mm.
3. Otočíme klikou elektriky a pozorujeme, že se plamen svíčky odklání.

Závěr:

Ionizací vzduchu v okolí hrotu vznikají ionty nabitě souhlasně jako hrot. Tyto ionty se od hrotu odpuzují a strhávají okolní vzduch, který odklání plamen svíčky.

27.4 Pokus s chocholem

Pomůcky:

indukční elektrika (případně Van de Graaffův generátor), chochol z papírových nebo staniolových proužků, spojovací vodiče

Postup:

1. Na stůl položíme vedle sebe dvě polystyrenové desky. Na jednu umístíme indukční elektriku, na druhou stojan s chocholem z papírových nebo staniolových proužků.
2. Kovový stojan chocholu spojíme s jedním vybíječem indukční elektriky, druhý vybíječ uземníme.
3. Uvedeme indukční elektriku do chodu a pozorujeme chování proužků chocholu. Protože se všechny proužky nabíjejí stejným nábojem, začnou se od sebe odpuzovat.

Závěr:

Pokusem demonstrujeme, že nabitá tělesa nábojem stejného druhu se vzájemně odpuzují.

Poznámky:

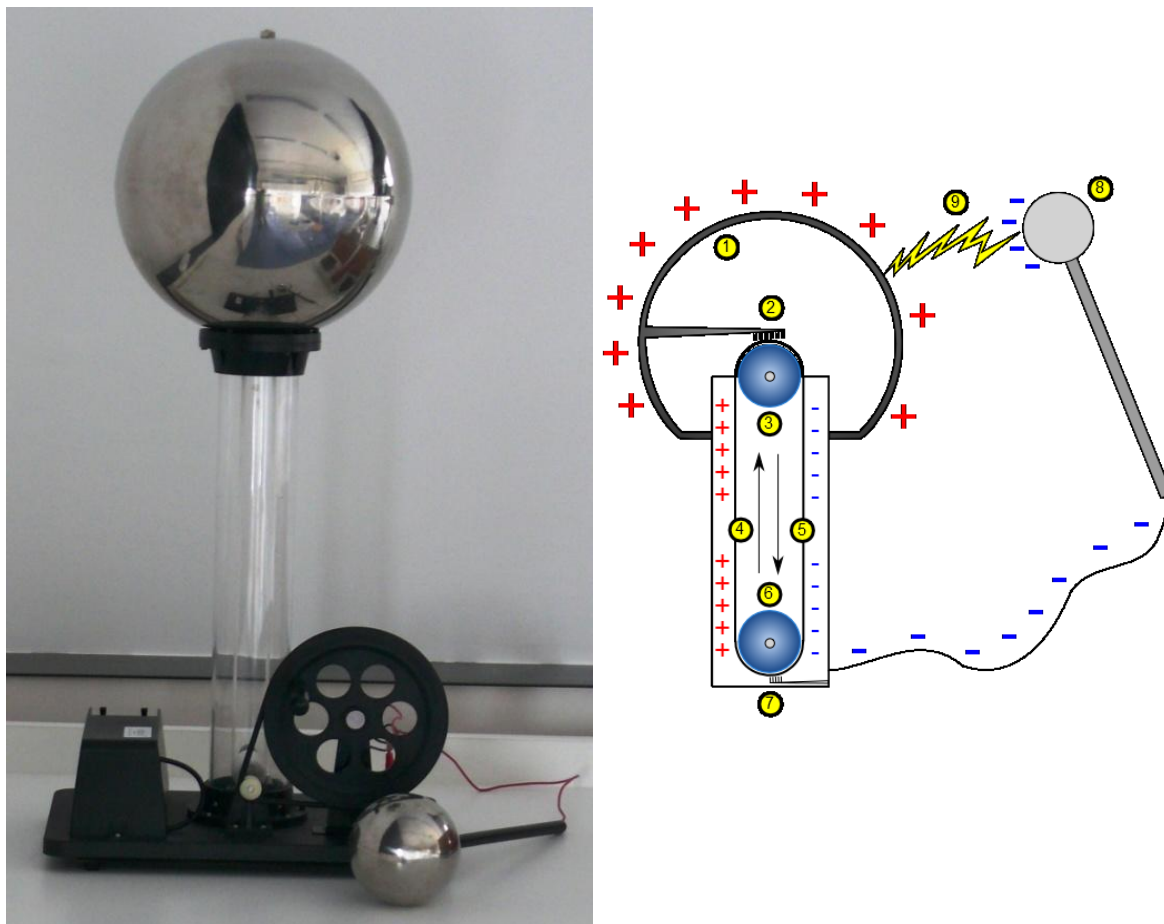
1. K nabitému chocholu přiblížíme třením zeлектроvanou např. skleněnou tyč (nese kladný náboj). Jestliže se proužky od skleněné tyče odklánějí, jsou nabity kladně. Pokud se k tyči přitahují, jsou nabity záporně.
2. Tento experiment lze úspěšně provádět i s využitím Van de Graaffova generátoru.
3. Jestliže si dívka s dlouhými suchými vlasy stoupne na polystyrenovou desku a jednou rukou se dotkne kulové části Van de Graaffova generátoru, pak po nabití se její vlasy chovají stejně jako proužky chocholu (viz obr. 27.3).



Obr. 27.3 Demonstrace, že vlasy nabité stejným nábojem se vzájemně odpuzují

28 Van de Graaffův generátor

Pro pokusy z elektrostatiky je na školách hojně využíván model Van de Graaffova generátoru (viz obr. 28.1). Dosahované napětí je u školních přístrojů asi 100 kV až 150 kV a zkratový proud je $2\text{ }\mu\text{A}$ až $10\text{ }\mu\text{A}$ podle konstrukce generátoru. Není tedy v provozu životu nebezpečný.



Obr. 28.1 Vlevo: školní van de Graaffův generátor, vpravo: schematické znázornění Van de Graaffova generátoru (převzato z http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Van_de_graaf_generator.svg.)

Základní princip Van de Graaffova generátoru je zobrazen na obrázku 28.1. Pás z vhodného dielektrika (speciální pryž, propylen aj.) je mírně napnutý mezi dolní (hnací, novodurový) válec a horní (silonový) válec. U obou válců je řada ostrých hrotů (hřebeny), které odsávají (sbírají) náboj. Dolní válec se uvádí do otáčivého pohybu ručně pomocí kličky nebo malým elektromotorem.

Pro dielektrická tělesa platí, že izolant s větší permitivitou získá při zelectrování dotykem nebo třením kladný náboj, zatímco izolant s menší permitivitou získá záporný náboj. Jelikož propylen má větší permitivitu než novodur, ale menší než silon, stoupající část pásu unáší k hornímu hřebenu kladný náboj, zatímco klesající část pásu unáší k dolnímu hřebenu záporný náboj. Na horním i dolním válci jsou náboje pomocí hřebců odsávány a odváděny na povrch velké resp. malé koule. Při dostatečně vysokém napětí se nesouhlasné náboje na těchto koulích vybijí jiskrou.

28.1 Elektrický vítr

Pomůcky:

Van de Graaffův generátor nebo Wimshurstova indukční elektrika, kovový větrník

Postup:

1. Kovový větrník upevníme do horní koule Van de Graaffova generátoru.
2. Otáčíme klikou generátoru a pozorujeme, že se větrník roztočí.
3. V případě použití indukční elektriky umístíme kovový větrník na stojánku na polystyrenovou desku a připojíme k jednomu vybíječi elektriky. Druhý vybíječ uzemníme. Otáčíme-li klikou indukční elektriky, pozorujeme, že se větrník roztočí.

Závěr:

V blízkosti nabitých hrotů větrníku dochází k ionizaci vzduchu. Vzniklé ionty jsou souhlasně nabitě jako větrník, proto jsou odpuzovány. Na základě principu akce a reakce je větrník uváděn do pohybu.

28.2 Faradayova klec

Princip Faradayovy klece je založen na tom, že elektrický náboj je soustředěn pouze na povrchu vodiče, nikoli v jeho objemu. Uvnitř vodiče žádné náboje nejsou a je zde tedy nulová intenzita elektrického pole. Faradayovy klece se využívá zejména tam, kde je třeba chránit zařízení či osoby před škodlivým elektromagnetickým polem, rádiovými vlnami apod. Pro tyto účely jsou stavěny speciální Faradayovy klece.

Pomůcky:

Van de Graaffův generátor, Faradayova klec, kovový větrník

Postup:

1. Nejprve upevníme kovový větrník do horní koule Van de Graaffova generátoru a začneme točit klikou generátoru. Pozorujeme, že se větrník roztočí.
2. Nyní větrník zastavíme a na Van de Graaffův generátor postavíme Faradayovu klec. Na tuto klec jsou zvenku i zevnitř upevněny kousky hliníkové fólie.
3. Otáčíme-li klikou generátoru, pozorujeme, že se větrník neroztočí a kousky alobalu z vnitřní strany klece jsou nehybné, naproti tomu kousky alobalu na vnější stěně klece se od klece odpuzují.

Závěr:

Dovnitř Faradayovy klece nevniká žádný náboj, přestože je povrch klece nabit.

Poznámky:

1. Faradayovou klecí je např. automobil, protože má kovovou karoserii. Může proto posádku chránit před úderem blesku. Pokud by uhořel do auta blesk, sjede po vnější straně karoserie a lidem v autě se nic nestane. Podobný efekt je pozorovatelný např. i v letadle, které je celé v podstatě kovový válec s velmi malými otvory pro okna. Faradayovou klecí bývají také kovové skříně elektrospotřebičů nebo stínění kabelů.
2. Kromě pásků alobalu lze na klec upevnit provázky s kousky polystyrénu na konci.
3. Faradayovu klec lze vytvořit např. z obyčejné plechovky.

4. Podobným pokusem ve větším provedení, který navíc kopíruje experiment provedený již samotným Faradayem, je pokus s tzv. klecí smrti. Do velké drátěné klece posadíme dobrovolníka a tuto klec připojíme na vysoký potenciál. Opět můžeme pozorovat stejný jev jako při pokusu s hliníkovými proužky. Zajímavé videa k této demonstraci lze nalézt např. na webových stránkách:

<http://www.youtube.com/watch?v=mUWxYesR5Wo>

<http://www.youtube.com/watch?v=Zi4kXgDBFhw>



Obr. 28.2 Faradayova klec

29 Elektrický náboj a elektrické pole

Třením dvou těles dochází k přechodu volných elektronů z povrchových vrstev jednoho tělesa do povrchových vrstev druhého tělesa. Např. při tření skla kůží přecházejí volné elektrony z povrchu skleněné tyče na povrch kůže, a proto je na tyči nedostatek elektronů a skleněná tyč se nabije kladně. Na kůži je naopak přebytek elektronů, a proto se nabije záporně.

29.1 Elektrování těles a indikace náboje

Pomůcky:

skleněná tyč, kůže, PVC (vinidurová) tyč, flanel, měřič náboje nebo elektroskop

Postup:

1. PVC tyč třeme flanelem.
2. Nabitou PVC tyčí se dotkneme elektroskopu, tím se ručka elektroskopu i kovový držák nabijí souhlasně a odpuzují se. Při opětovném dotyku ze elektrovanou PVC tyčí se výchylka ručky elektroskopu zvětší.
3. Nyní třeme kůží skleněnou tyč a elektroskopu se dotkneme touto tyčí. Výchylka ručky elektroskopu se zmenší.
4. Tento experiment lze předvádět i v jiných variantách dle dostupných pomůcek.
5. Je-li k dispozici měřič náboje s kulovým induktorem, pak PVC tyč třeme flanelem. Tyčí se dotkneme kulového konduktoru a indikátor náboje ukáže záporný náboj.
6. Poté tyč vzdálíme a konduktor vybijeme (kladně nebo záporně nabitý konduktor lze vybit spojením konduktoru s uzemněným předmětem nebo dotykem ruky, kde elektrickým vodičem je lidské tělo).
7. Pak se kulového konduktoru dotkneme flanelem, kterým jsme tyč třeli. Indikátor náboje ukáže kladný náboj. Měřič opět vybijeme a analogicky pokus opakujeme se skleněnou tyčí, kterou třeme kůží.

Závěr:

PVC a skleněná tyč jsou nabity náboji opačného znaménka. PVC tyč se při tření flanelem nabijí záporně, flanel kladně. Skleněná tyč se při tření kůží nabijí kladně, kůže záporně.

Poznámky:

1. Další variantou ze elektrování těles a indikace náboje je pokus se sufitovou doutnavkou, kde nabitou PVC tyč přibližujeme k jednomu konci doutnavky, přičemž druhý konec držíme v ruce. Jedna z elektrod doutnavky se na okamžik rozzáří načervenalým světlem.
2. Demonstraci ze elektrování vodiče třením lze ukázat pomocí kovové a polystyrenové desky. Kovovou deskou třeme polystyrenovou desku. Pak se kovovou deskou dotkneme kulového konduktoru, který je spojen s měřičem náboje. Ukazatel měřidla se vychýlí. Měřič náboje vybijeme a kulového konduktoru se dotkneme polystyrenovou deskou, ukazatel měřidla se vychýlí na opačnou stranu. Kovová deska i polystyrenová deska jsou nabity opačnými náboji.
3. Při předvádění těchto pokusů může být demonstrátor nabit na vysoký potenciál a tím ovlivňovat zjištění druhu náboje. Je proto třeba se na okamžik dotknout uzemněného vodiče, např. topení nebo vodovodu.

4. Žákovský elektroskop funguje na principu, že souhlasně nabitá tělesa se odpuzují. Velikosti odpudivých sil jsou tím větší, čím větší náboj tělesa obsahují. Nezáleží na tom, je-li náboj kladný nebo záporný.
5. Uzemnění předmětu znamená, že jeho potenciál bude stejný jako potenciál země, tj. dle definice nulový.
6. Zajímavé videa k těmto pokusům lze nalézt např. na webové stránce <http://kdf.mff.cuni.cz/pokusy/>



Obr. 29.1 Žákovský elektroskop

30 Pokusy z optiky

Optika zkoumá podstatu světla a zákonitosti světelných jevů, které vznikají při šíření světla a při vzájemném působení světla a látky.

Světlo je elektromagnetické záření, na které je citlivý lidský zrakový orgán – oko. Okem můžeme vnímat elektromagnetické vlnění o frekvencích $7,7 \cdot 10^{14}$ Hz až $3,9 \cdot 10^{14}$ Hz.

Důležitou charakteristikou světla jako elektromagnetického vlnění je jeho rychlost c . Rychlost světla ve vakuu je

$$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Rychlost světla ve vakuu je velmi důležitá fyzikální konstanta. Je to největší rychlost, kterou mohou hmotné objekty dosáhnout.

30.1 Druhy optického prostředí

Šíření světla ovlivňují vlastnosti prostředí, kterým světlo prochází.

Pomůcky:

žárovka, dřevěná nebo kovová deska, barevná skla, deska z matového skla, skleněná deska, nádoba s vodou, inkoust

Postup:

1. Mezi svítící žárovku a oko vložíme jakoukoliv neprůhlednou desku (např. dřevěnou nebo kovovou). Zdroj světla nevidíme. Deska je osvětlena, ale světlo nepropouští. Toto prostředí označujeme jako neprůhledné.
2. Mezi svítící žárovku a oko vložíme čirou skleněnou desku. Žárovku vidíme ostře. Toto prostředí označujeme jako průhledné.
3. Mezi svítící žárovku a oko vložíme desku z matového skla. Zjistíme, že světlo deskou sice proniká, ale žárovku nevidíme ostře. Toto prostředí označujeme jako průsvitné.

Závěr:

Prostředí, které se nachází mezi zdrojem světla a okolními předměty, rozdělujeme na neprůhledné, průhledné a průsvitné. V neprůhledném prostředí se světlo silně pohlcuje nebo se na rozhraní s daným prostředím jen odráží. V průhledném prostředí nedochází k žádnému rozptylu světla. V průsvitném optickém prostředí světlo prochází, ale zčásti se v něm rozptyluje.

Poznámky:

1. Necháme-li světlo procházet skleněnou nádobou a postupně do ní přidáváme inkoust, mění se průhledné prostředí v méně průhledné až neprůhledné.
2. List bílého papíru je neprůhledný, popř. jen v malé míře průsvitný. Když na něj kápneme rostlinný olej, změní se vlastnosti papíru tak, že je téměř průhledný.

30.2 Ověření zákona odrazu světla

Vztah mezi úhlem dopadu α a úhlem odrazu α' určuje zákon odrazu světla, který říká, že velikost úhlu odrazu α' se rovná velikosti úhlu dopadu α (neboli $\alpha' = \alpha$). Odražený paprsek leží v rovině dopadu.

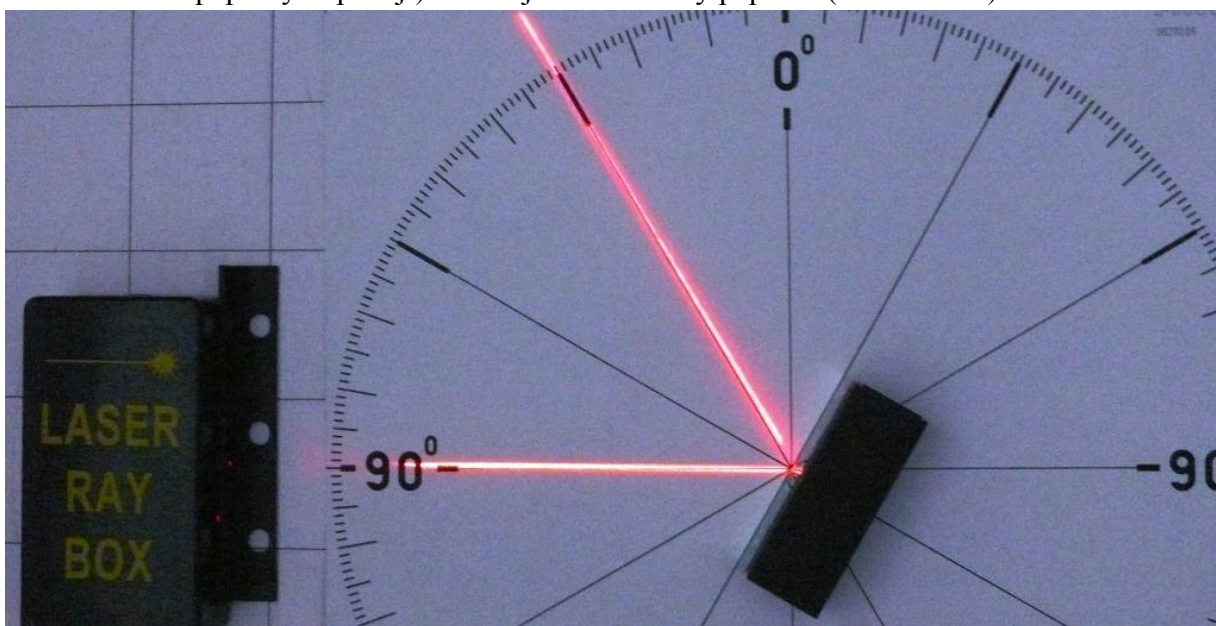
Úhel odrazu nezávisí na frekvenci světla, proto se světelné paprsky různých barev odrážejí stejně.

Pomůcky:

světelný zdroj (laser), skleněné rovinné zrcadlo, úhloměr, clona

Postup:

1. Na magnetickou tabuli upevníme laser. Kolmo na směr světelných paprsků umístíme rovinné zrcadlo a pozorujeme, že paprsky se od zrcadla odrážejí ve stejné polopřímce jako paprsky dopadající.
2. Nyní pootočíme zrcadlo např. o 30° a sledujeme odražený paprsek, který od kolmice svírá také úhel 30° .
3. Dále libovolně měníme úhel dopadu (buď pootočením laseru, nebo pootočením zrcadla, na které paprsky dopadají) a sledujeme odražený paprsek (úhel odrazu).



Obr. 30.1 Demonstrace zákona odrazu světla

Závěr:

Experimentem jsme si ověřili zákon odrazu světla, že úhel dopadu a úhel odrazu jsou stejné. Demonstrovali jsme také, že odražený paprsek leží v rovině dopadu.

Poznámky:

1. V některých starších školních sbírkách je možné k demonstraci odrazu a lomu světla využít Hartlův optický kotouč.
2. Pokusy z optiky je vhodné provádět v polozatemněné místnosti.

30.3 Periskop

Pomůcky:

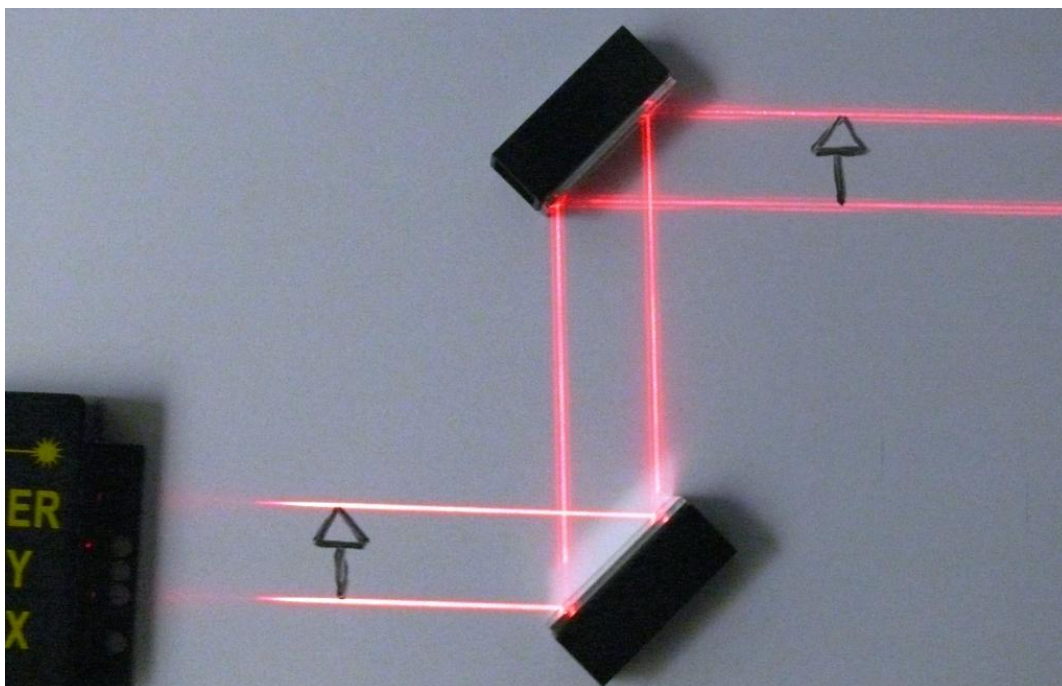
světelný zdroj (laser), dvě zrcátka, clona

Postup:

1. Zrcátka upevníme na magnetickou tabuli nad sebe (viz obr. 30.2) tak, aby byla navzájem rovnoběžná a svírala s vodorovným směrem úhel 45° .
2. Zapneme laser a pomocí clony ho nastavíme tak, aby z něj vycházely právě dva paprsky. Na tabuli pozorujeme základní princip periskopu.

Závěr:

Experimentem demonstrujeme základní princip periskopu. Pořadí paprsků zůstává zachováno.



Obr. 30.2 Základní schéma principu periskopu

30.4 Lom světla

Zákon lomu světla objevil v 17. století holandský astronom a matematik W. Snell a po něm se tento zákon také nazývá Snellův zákon. Tento zákon můžeme vyjádřit ve tvaru

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (30.1)$$

nebo po jednoduché úpravě ve tvaru

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta, \quad (30.2)$$

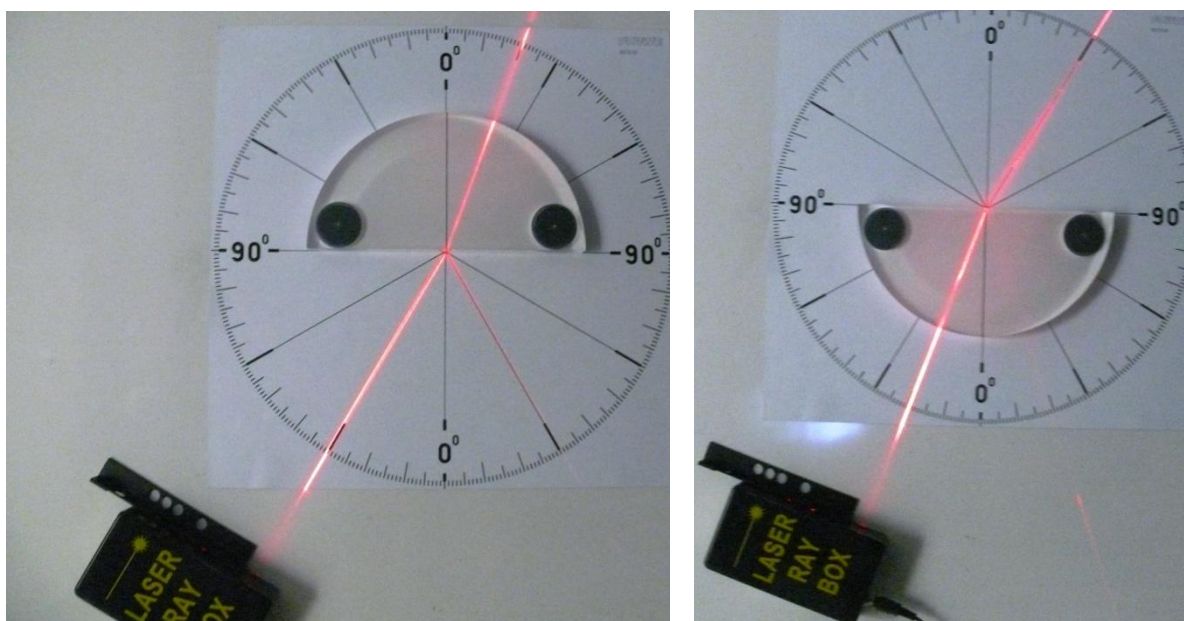
kde α je úhel dopadu a β úhel lomu, n_1 je index lomu prostředí, z kterého paprsek dopadá, n_2 je index lomu prostředí, do kterého se paprsek láme.

Pomůcky:

světelný zdroj (laser), skleněný půlválec, clona

Postup:

1. Na magnetickou tabuli upevníme skleněný půlválec. Nastavíme paprsek z laseru tak, aby kolmo dopadal do středu rovinné podstavy půlválce. Při správném uspořádání proniká paprsek do skla bez odchýlení. V tomto uspořádání vytváří rovinná stěna rozhraní mezi vzduchem a sklem.
2. Nyní nastavíme laser tak, aby paprsek dopadal do středu rovinné podstavy půlválce pod úhlem např. 10° . Zapišeme si úhel dopadu α a úhel lomu β . Jelikož v daném pokusu je $n_1 = 1$ (vzduch), lze ze vztahu 30.2 dopočítat index lomu druhého prostředí n_2 (sklo).
3. Měníme úhel dopadu α a zjišťujeme úhel lomu β . Ze vztahu 30.2 dopočítáme index lomu použitého skla n_2 .
4. Nyní skleněný půlválec otočíme o 180° , tak aby paprsek sice dopadal do středu rovinné podstavy půlválce, ale nejprve procházel půlkruhovou hranou. V tomto uspořádání vytváří rovinná stěna rozhraní mezi sklem a vzduchem.
5. Měníme úhel dopadu α a zjišťujeme úhel lomu β . Ze vztahu 30.2 dopočítáme index lomu použitého skla, v tomto uspořádání n_1 .



Obr. 30.3 Lom světla ke kolmici a od kolmice

Závěr:

Experimentem jsme demonstrovali zákon lomu. Při přechodu světla z prostředí opticky řidšího (např. vzduch) do prostředí opticky hustšího (např. sklo) se světlo láme ke kolmici. Naopak při průchodu světla z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího dochází k lomu od kolmice. Při lomu světla dochází také k jeho odrazu podle zákona odrazu. Tento paprsek má však většinou menší intenzitu než paprsek lomený.

Poznámky:

1. Kromě skleněného půlválce lze pro demonstraci lomu světla použít např. optický hranol, kde k lomu světla dochází na dvou lámavých plochách. Při použití paprsku bílého světla (z lampy či žárovky) lze na stínítku pozorovat rozklad světla hranolem, kdy červená barva se odchyluje od původního směru nejméně, fialová nejvíce.

30.5 Úplný odraz světla

Při přechodu světla z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího (např. ze skla o indexu lomu n_1 do vzduchu o indexu lomu $n_2 = 1 < n_1$) nastává lom od kolmice. Při určitém, tzv. mezním úhlu dopadu α_m dosáhne úhel lomu největší možné hodnoty $\beta = 90^\circ$. Úhel α_m je největší úhel, při kterém ještě nastává lom světla a lomený paprsek splývá s rozhraním.

Při větších úhlech dopadu ($\alpha > \alpha_m$) již světlo do druhého prostředí nepronikne a jen se od rozhraní s opticky řidším prostředím odráží. Nastává úplný odraz světla.

Pro případ dopadu světla na rozhraní pod mezním úhlem, lze zákon lomu 30.2 psát ve tvaru

$$n_1 \sin \alpha_m = n_2 \sin 90^\circ, \quad (30.3)$$

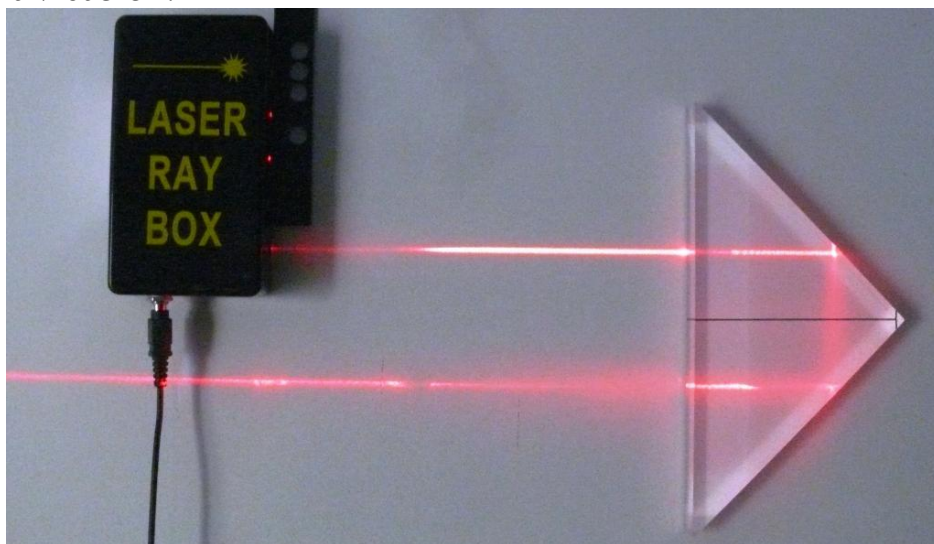
$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}. \quad (30.4)$$

Pomůcky:

světelný zdroj (laser), skleněný pravoúhlý trojboký hranol nebo skleněný půlválec, clona

Postup:

1. Na magnetickou tabuli upevníme zdroj světla a skleněný pravoúhlý hranol v poloze viz obr. 30.4.
2. Zapneme zdroj světla a vidíme, že paprsky odražené na dvou lámavých stěnách hranolu se vrací zpět ve stejném směru. Vidíme, že nedochází k lomu paprsků na rozhraní mezi sklem a vzduchem.



Obr. 30.4 Úplný odraz na pravoúhlém trojbokém hranolu

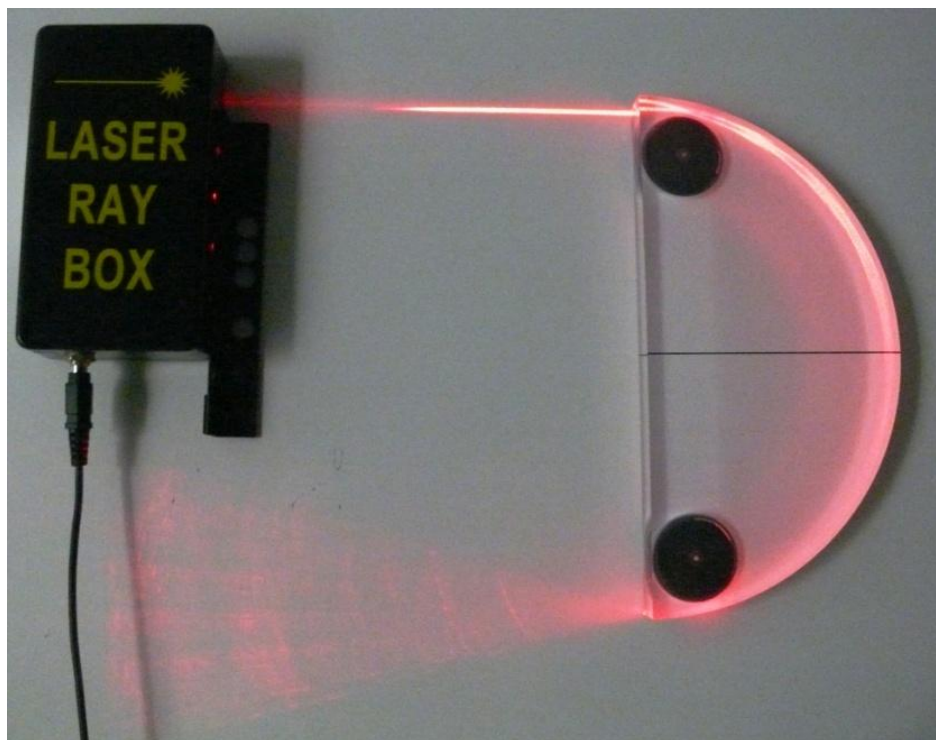
Závěr:

Při osvětlení pravoúhlého trojbokého hranolu (v dané poloze) dochází k úplnému odrazu na rozhraní sklo-vzduch. Úhel dopadu je větší než mezní úhel.

Poznámky:

1. Jelikož index lomu skla je 1,5, je ze vztahu 30.4 mezní úhel mezi sklem a vzduchem $\alpha_m \approx 42^\circ$.

- Úplný odraz lze demonstrovat např. na skleněném půlválci (viz obr. 30.5). Světlo ze zdroje dopadá kolmo na půlválec. Dopad světla ze skla do vzduchu je pod úhlem větším, než je mezní úhel, proto dochází k úplnému odrazu. To se v půlválci několikrát zopakuje a paprsek vyletí opačným směrem, než jak do půlválce vstoupil.
- Úplný odraz je možno také demonstrovat s využitím optického vlákna, nebo ho lze ukázat při průchodu světla vodním proudem.



Obr. 30.5 Úplný odraz na skleněném půlválci

30.6 Duté a vypuklé kulové zrcadlo

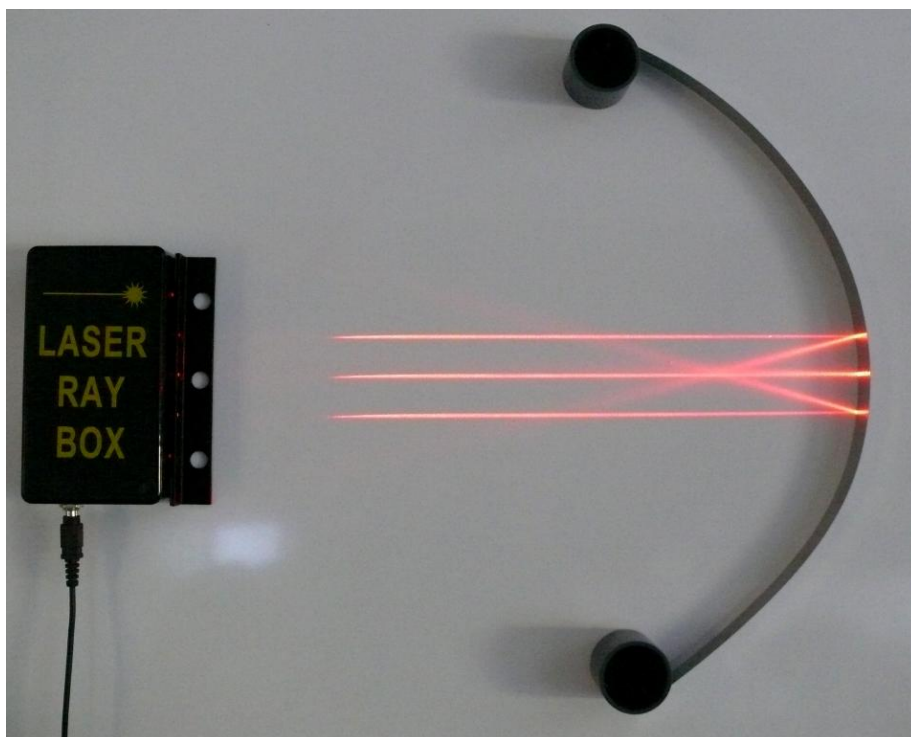
Kulové zrcadlo je část zrcadlicí kulové plochy. Dochází-li k odrazu na vnitřní stěně, jde o zrcadlo duté. Při odrazu na vnější stěně se jedná o zrcadlo vypuklé.

Pomůcky:

světelný zdroj (laser), pružný lesklý pásek, clona

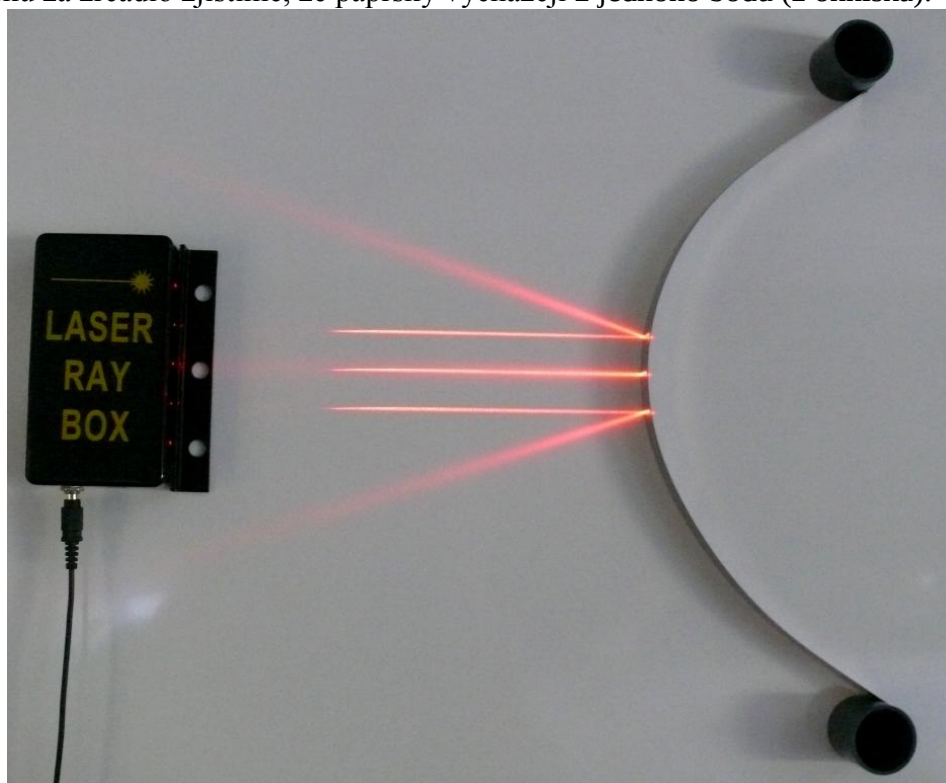
Postup:

- Nejprve budeme demonstrovat odraz svazku rovnoběžných paprsků na dutém zrcadle.
- Na magnetickou tabuli upevníme laser a lesklý kovový pásek, který vytvarujeme do tvaru paraboly. Laser (s pěti paprsky) nastavíme tak, aby paprsky dopadaly na pásek symetricky (tak, aby prostřední paprsek směřoval do vrcholu paraboly), viz obr. 30.6.
- Po osvětlení se odražené paprsky protínají v jenom bodě (v ohnisku).
- Nyní vytvarujeme pásek do části kruhového oblouku. Po osvětlení se paprsky, které se nacházejí blízko osy (tzv. paraxiální paprsky), protínají v jednom bodě na ose (v ohnisku), zatímco paprsky vzdálenější od osy se protínají v jiných bodech na ose.



Obr. 30.6 Duté zrcadlo

5. Dále budeme demonstrovat odraz svazku rovnoběžných paprsků na vypuklém zrcadle.
6. Pružný lesklý pásek vytváříme do tvaru vypuklého zrcadla.
7. Zapneme zdroj světla (se třemi paprsky), a nastavíme ho tak, aby (paraxiální) paprsky dopadaly na pásek symetricky, viz obr. 30.7.
8. Vidíme, že odražené paprsky vytvářejí rozbíhavý svazek. Myšlenkovým prodloužením paprsků za zrcadlo zjistíme, že paprsky vycházejí z jednoho bodu (z ohniska).



Obr. 30.7 Vypuklé zrcadlo

Závěr:

V prvním případě (demonstrace dutého zrcadla) se rovnoběžné světelné paprsky po odrazu od parabolické plochy protínají v ohnisku, u kruhové plochy se v ohnisku protínají pouze paraxiální paprsky. V druhém případě (demonstrace dutého zrcadla) se rovnoběžné paraxiální paprsky po odrazu rozbíhají. Prodloužíme-li paprsky za zrcadlo, protínají se v jednom bodě (v neskutečném ohnisku).

Poznámky:

1. Parabolická plocha se používá u reflektorů aut a u antén satelitních přijímačů.

30.7 Čočky

Ve většině optických přístrojů jsou základními zobrazovacími prvky čočky, u nichž je zobrazování založeno na lomu světla. Povrch čočky tvoří dvě kulové plochy, popř. jedna kulová plocha a jedna rovinná plocha.

Jestliže na spojnou čočku (spojku) dopadají rovnoběžné paprsky, pak se lámou tak, že se po průchodu čočkou sbíhají v jednom bodě. Jestliže na rozptylnou čočku (rozptylku) dopadají rovnoběžné paprsky, pak se lámou tak, že se po průchodu čočkou rozbíhají.

Pomůcky:

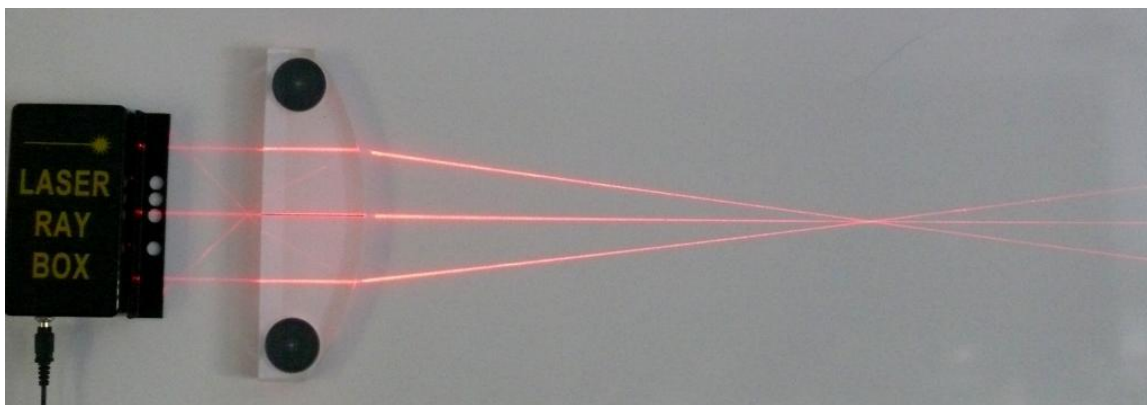
světelný zdroj (laser), spojka, rozptylka, clona

Postup:

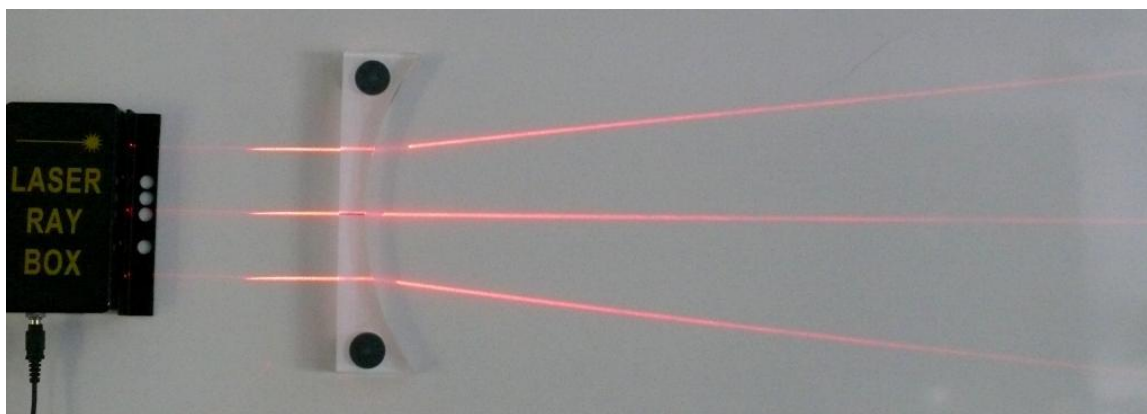
1. Na magnetickou tabuli upevníme laser a spojnou čočku (viz obr. 30.8).
2. Pozorujeme lom svazku rovnoběžných paprsků spojkou. U spojky se paprsky v obrazovém ohnisku protínají, tzn. ohnisko je skutečné.
3. Nyní místo spojky umístíme na magnetickou tabuli rozptylnou čočku (viz obr. 30.9).
4. Pozorujeme lom svazku rovnoběžných paprsků rozptylkou. U rozptylky jsou paprsky po průchodu čočkou rozbíhavé a při zpětném prodloužení se protínají v prostoru předmětovém, ohnisko je tedy zdánlivé.

Závěr:

Paraxiální paprsky rovnoběžné s optickou osou čočky se po průchodu spojkou lámou do jejího obrazového ohniska. Toto ohnisko je skutečné, protože se v něm paprsky protínají. Při průchodu rozptylkou se světelné paprsky rozbíhají. Obrazové ohnisko rozptylky je zdánlivé.



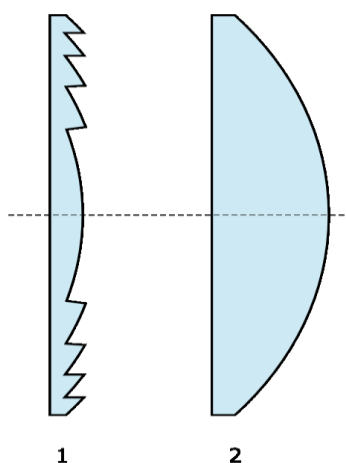
Obr. 30.8 Chod paprsků spojkou (v tomto případě ploskovypuklá spojka)



Obr. 30.9 Chod paprsků rozptylkou (v tomto případě ploskodutá rozptylka)

Poznámky:

1. Jednou ze zajímavých čoček je Fresnelova čočka (viz obr. 30.10), která byla původně vyvinuta pro námořní majáky. Fresnelova čočka má při podobných parametrech a stejném použitém materiálu (sklo, plast) podstatně nižší hmotnost než běžná čočka, protože jsou z ní odstraněny ty části, které se nepodílejí přímo na lomu paprsků. Pro školní účely lze tuto čočku získat ze starého, vyřazeného zpětného projektoru.



Obr. 30.10 Princip Fresnelovy čočky, č. 2 klasická čočka, č. 1 Fresnelova čočka (převzato z http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresnel_lens.svg)

31 Vzdáleně ovládané experimenty

Reálné experimenty v laboratoři umožňují testovat a ověřovat teoretické představy v reálných situacích. Žáci pracují s reálnými přístroji a učí se je ovládat a manipulovat s nimi. Avšak v dnešní době mnohé školy, univerzity či vědecká pracoviště čelí finančním problémům a řeší problémy, jak zajistit a udržovat nákladné laboratorní vybavení. Výborné studijní či vědecké výsledky ve fyzice a technice lze očekávat pouze tam, kde mají žáci či vědci příslušné kvalitní laboratorní přístroje a pomůcky a odpovídající čas k měření. Jednou z možností, která tyto problémy řeší je vzdálený přístup k laboratorním experimentům. Vzdálené experimenty mají potenciál snížit finanční náklady školy, či vědecké instituce a zajistit dostatečný časový prostor pro laboratorní měření a ověřování teoretických poznatků.

Vzdáleně ovládané experimenty umožňují učitelům, žákům i libovolným zájemcům vzdáleně (prostřednictvím internetu) ovládat reálné laboratorní pokusy. Přístup k těmto experimentům je 24 hodin denně, každý den v roce a ve většině případů jsou experimenty snímány on-line webovou kamerou pro zvýšení pocitu reálného měření přímo v laboratoři. Udržovat vzdálené experimenty v neustálém chodu vyžaduje od tvůrců těchto experimentů dostatek časových i finančních prostředků. Často se tedy setkáváme se vzdálenými laboratořemi, které jsou funkční jen po určitou dobu (např. 3-5 let po dobu trvání projektu) a poté jsou definitivně zrušeny, nebo jsou zapínány pouze v určitém časovém intervalu (např. v době výuky dané problematiky na škole). Některé ze vzdálených laboratoří nejsou přístupné libovolným zájemcům, ale pouze žákům příslušné školy nebo vybraným pracovníkům, kteří mají přístupové heslo k ovládání experimentů.

Na internetu se můžeme setkat se dvěma typy vzdáleně ovládaných experimentů. První druh reprezentují experimenty, k jejichž ovládání je potřeba stáhnout si do počítače dodatečný program, který zprostředkuje komunikaci mezi vzdáleným uživatelem a ovládaným experimentem v laboratoři. Tento přístup využívá firma National Instruments (NI) ve svém vývojovém prostředí LabVIEW. Prostřednictvím nástroje *Remote Panel* umožňuje LabVIEW, relativně jednoduše, vytvořit klienta pro vzdálené ovládání experimentu (tímto způsobem vzniká většina zahraničních vzdáleně ovládaných laboratoří). Jednoduchost tvorby vzdáleně ovládaného experimentu tímto způsobem skýtá zvýšené nároky pro vzdálené uživatele. Pro ovládání takto vytvořeného experimentu musí mít uživatel nainstalován ve svém počítači software LabVIEW, nebo si musí do svého počítače stáhnout a nainstalovat program LabVIEW Run-Time Engine. Pro učitele na SŠ nebo pro žáky, kteří prostřednictvím internetu experimentují jen zřídka, není ideální stahovat a instalovat speciální software do svého počítače. Někdy učitel na SŠ nemá ani možnost instalovat nový software do školního počítače. Pro vědecké pracoviště, vysoké školy, průmyslovou sféru, kde s LabVIEW pracují pravidelně, je samozřejmě tento způsob vzdáleného měření vyhovující, rychlý a zcela bezproblémový. V roce 2011 firma NI spustila webovou službu Web Services, která poskytuje standardní on-line rozhraní pro vzdálenou komunikaci s aplikacemi vytvořenými v softwaru LabVIEW. Na straně klienta (uživatele) není potřeba program LabVIEW Run-Time Engine, ale experiment lze ovládat z libovolného webového prohlížeče, klient již potřebuje pouze drobný (5 MB) plug-in Microsoft Silverlight, který je kompatibilní se všemi webovými prohlížeči. Komunikace mezi experimentem a vzdáleným klientem probíhá pomocí standardních HTTP zpráv (dotaz – odpověď) a experiment lze ovládat např. i prostřednictvím telefonu či SmartPhonu.

Druhým typem jsou experimenty, které lze přes internet ovládat přímo z webového prohlížeče bez nutnosti instalování speciálních ovládacích programů (v ČR a na Slovensku vzniká především tento typ vzdálených laboratoří). Jedinou podmínkou pro spuštění experimentu

z webového prohlížeče je instalace zcela standardního programu Java, který učitelé musí mít již v počítači, pokud chtějí žákům předvádět virtuální experimenty (java applety).

31.1 Výhody x nevýhody vzdáleně ovládaných experimentů

Vzdáleně ovládané experimenty by měly doplňovat, ovšem v žádném případě ne nahrazovat, ostatní formy experimentální činnosti a nabízí další alternativu pro zvýšení četnosti experimentování ve fyzice. Každý typ experimentů (reálný, virtuální, vzdálený) má své výhody, ale i nevýhody. Hlavními **výhodami** vzdáleně ovládaných experimentů (oproti klasickým nebo virtuálním experimentům) pro žáky a učitele SŠ (tedy uživatele těchto vzdálených experimentů) jsou:

- žáci mohou provádět experimenty z libovolného místa na světě v libovolném čase a nejsou limitováni pouze vyučovací hodinou;
- vzdálený experiment je připraven a sestaven k měření a odpadá tím jeho mnohdy zdoluhavé sestavování;
- na rozdíl od virtuálních simulací pracují žáci se skutečnými měřicími pomůckami a nástroji (naměřená data jsou reálná), což umožní přístup k reálným přístrojům např. i žákům s různými zdravotními hendikepy;
- na rozdíl od virtuálních simulací zde mohou vzdálení uživatelé měřit a počítat odchylky a chyby měření;
- SŠ si nemohou dovolit kupovat drahé měřicí přístroje a pomůcky, ale s využitím vzdáleně ovládaných laboratoří je možno zpřístupnit moderní fyzikální přístroje libovolným zájemcům zcela zdarma;
- žáci při experimentování mohou postupovat svým vlastním tempem, a pokud se jim měření nezdaří, mají možnost měřený pokus několikrát opakovat;
- ve vzdáleně ovládaných laboratořích lze pracovat i s nebezpečnými přístroji a látkami, jelikož experimentátor nepříjde do přímého kontaktu s měřicí aparaturou a nehrozí možnost úrazu při provádění pokusu;
- vzdálené experimenty přináší nové možnosti i v oblasti zkoušení žáků. Především v technických disciplínách je (při zkoušení) nezbytné prokázat schopnosti žáků elegantně a efektivně řešit experimentální a praktické aspekty problému;
- některé pokusy mají svá specifika právě pro dané měřicí místo. Např. výpočet tíhového zrychlení g , který lze provést z doby kmitu matematického kyvadla není konstantní hodnota, ale závisí mj. i na zeměpisné šířce místa měření. Žáci tedy získávají možnost porovnávat výsledky měření z různých míst na světě, aniž by museli osobně tyto místa navštívit;
- hlavní nevýhodou distančního studia formou e-learningu je absence laboratorních měření. Multimediální animace nebo simulace nemohou vyplnit tuto mezeru a jediné možné řešení k zajištění praktického měření v rámci distančního vzdělávání nabízejí vzdáleně ovládané laboratoře s on-line video přenosem;
- tento typ experimentů spojuje u žáků mnohdy nepopulární fyziku s velmi oblíbenou výpočetní technikou (resp. s internetem), což může zvýšit klesající zájem žáků o fyziku.

Nevýhody vzdálených měření pro učitele a žáky na SŠ především jsou:

- kontakt s experimentem není přímý, ale je zprostředkován prostřednictvím internetu a webové on-line kamery;
- experiment může ovládat jeden uživatel a další musí čekat, než se experiment uvolní;
- při poruše experimentu je vzdálený uživatel odkázán pouze na tvůrce experimentu a nemůže experiment nijak (během krátké chvíle) vzdáleně opravit;
- pro demonstraci v hodině fyziky je potřeba mít ve třídě počítač s možností připojení na internet.

Pro tvůrce vzdálených experimentů vzniká ovšem také řada **nevýhod** a povinností:

- na jeden experiment je třeba uvolnit jeden počítač, který bude neustále zapnutý a připojený k internetu (pro vzdálené laboratoře postavené na platformě LabVIEW odpadá nutnost mít pro každý vzdálený pokus samostatný počítač, ale tvůrce experimentu musí vlastnit licenci tohoto softwaru);
- je potřeba nakoupit (vyrobit) vhodné přístroje, které lze vzdáleně ovládat a vytvořit uživatelsky jednoduchý program, který umožní bezproblémově vzdáleně řídit experiment (vzdálený experiment, který nemá „uživatelsky příjemný přístup“ (user friendly access), je pro praktické využití ve školní výuce velmi těžko použitelný);
- ovládací panel musí být konstruován tak, aby vzdálený uživatel neměl možnost experiment či samotný ovládací program zničit nebo poškodit;
- pokud je experiment určen pro zcela libovolné zájemce, musí být ovládací panel a základní informace o experimentu v anglické jazykové verzi (vedle verze v rodném jazyce);
- na webových stránkách by kromě experimentu měly být volně dostupné i další studijní materiály, které zjednoduší zařazení vzdáleného experimentu do běžné výuky fyziky;
- u experimentu musí být minimálně 1 webová kamera, která je nezbytnou součástí vzdálených laboratoří, aby měl vzdálený uživatel okamžitou vizuální zpětnou vazbu o změnách v laboratoři;
- experiment je potřeba sestavit tak, aby se vždy na konci vzdáleného měření dostal do původní polohy a byl okamžitě připraven na další vzdálené měření;
- tvůrce vzdálených experimentů musí své experimenty pravidelně kontrolovat a případné problémy okamžitě opravit.

31.2 Vzdáleně ovládané laboratoře v ČR a na Slovensku

Průkopníkem v oblasti vzdálených laboratoří je v ČR již řadu let doc. F. Lustig z MFF UK v Praze. Jeho vzdáleně ovládaná laboratoř se nachází na webové stránce <http://www.ises.info/> a jeho vzdálené experimenty využívají software ISES WEB Control. První experiment v této laboratoři (Regulace vodní hladiny) byl spuštěn v roce 2002 a v současné době laboratoř obsahuje devět experimentů (Vlastní a vynucené oscilace, Ohyb elektromagnetického záření, Elektromagnetická indukce a další). Jeden z nejnovějších experimentů Vnější fotoelektrický jev není ve finální podobě a prozatím umožňuje měřit volt-ampérové charakteristiky vakuové

fotonky pro 6 různých vlnových délek. Poslední experiment (který je také pouze v pracovní verzi) umožňuje sledovat přirozené radioaktivní pozadí na MFF UK v Praze. Na webové stránce se každých 10 s (nonstop) zaznamenává počet alfa, beta a gama částic, které prolétnou Geiger-Müllerovým čítačem.

Dalším pracovištěm, kde se zabývají propagací vzdáleně ovládaných experimentů je PdF MU v Brně, kde v současné době, na webové adrese <http://www.remote-laboratory.com/>, existuje několik vzdáleně ovládaných experimentů.

Od září 2011 je na gymnáziu J. Vrchlického v Klatovech spuštěn jeden vzdáleně ovládaný experiment (Měření tepelné závislosti elektrického odporu kovu a polovodiče). Tento experiment lze ovládat z adresy <http://remote-lab.fyzika.net/> a po hardwarové stránce je postaven na univerzální experimentální USB desce K8055. Uživatelé potřebují k ovládání tohoto experimentu pouze možnost spouštět java aplety ve svém prohlížeči. V blízkém časovém horizontu plánují v této laboratoři spustit dva nové experimenty (Určení horizontální složky magnetického pole Země a Vzdálené ovládání robotické paže).

Další laboratoře v ČR se orientují především na remote sensing experimenty a konkrétně na Meteorologické stanice. Meteorologickou stanicí můžeme najít např. na webové stránce České zemědělské univerzity v Praze (<http://meteostanice.agrobiologie.cz/>), kde lze sledovat teplotu, vlhkost, tlak, záření, směr a rychlost větru. Meteorologické stanice existují např. také na stránkách ZŠ v Šumperku (<http://hluchak.cz/?q=teploměr/>), nebo na ZŠ v Plzni (<http://www.22zsplzen.cz/pocasi/>).

Na Slovensku existuje jedna vzdáleně ovládaná laboratoř (<http://kf.truni.sk/>), která využívá komponenty soupravy ISES a vzdálené měření probíhá s využitím softwaru ISES WEB Control. Tato laboratoř je vystavěna na Pedagogické fakultě na Trnavské univerzitě a v současné době obsahuje pět fyzikálních vzdálených experimentů (Oscilace v RLC obvodu, Volný pád a další) a jeden chemický vzdálený experiment (Elektrochemický článek), který je složen ze dvou nádob a dvou kovových elektrod připojených přes membránu. Uživatelé mohou měřit vodivost a pH elektrolytu. Nevýhodou tohoto chemického experimentu je, že je potřeba doplňovat elektrolyt a tím pro tvůrce pokusu roste časová i finanční zátěž. Pro vzdálené uživatele se zvyšuje riziko, že experiment nebude vždy připraven ke svému použití.

V posledních třech letech se na KEF PřF UP v Olomouci intenzivně zabýváme tvorbou, rozvojem a propagací vzdáleně ovládaných experimentů. Pro naši laboratoř jsme vytvořili webovou stránku (rozcestník) <http://ictphysics.upol.cz/remotelab/> (viz obr. 31.1) a na této stránce jsou umístěny všechny námi vytvořené experimenty. Konkrétně se jedná o experimenty:

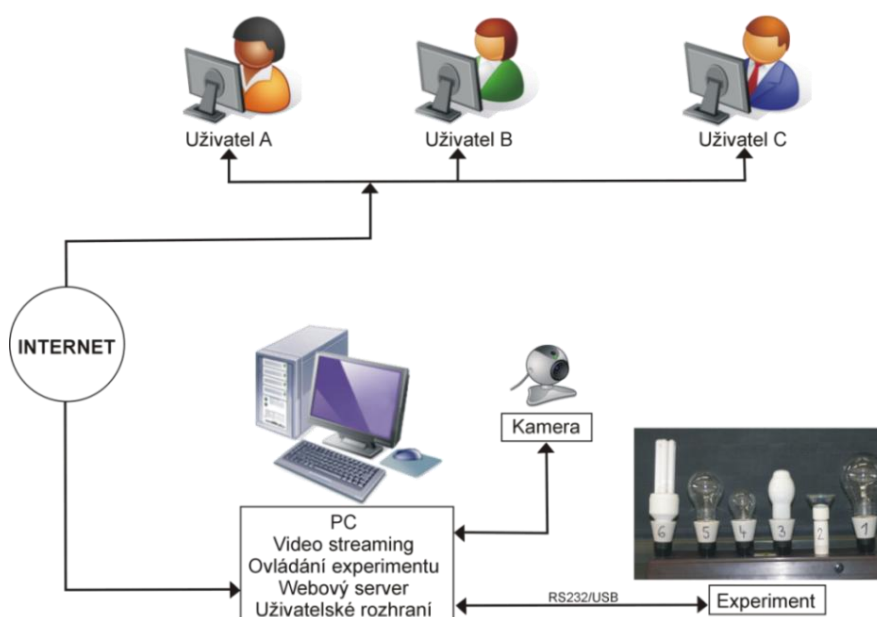
1. Voltampérové charakteristiky šesti různých zdrojů světla
2. Určení tíhového zrychlení z doby kmitu matematického kyvadla
3. Studium proudění vody v soustavě trubíc
4. Meteorologická stanice na PřF UP v Olomouci
5. Monitorování radioaktivního pozadí v Olomouci

Experimenty jsou zcela volně (zdarma) dostupné, v libovolný čas, z libovolného místa, bez nutnosti registrace.



Obr. 31.1 Webová stránka <http://ictphysics.upol.cz/remotelab/>

Kromě experimentů obsahují webové stránky také základní informace o výhodách vzdáleného měření, odkazy na další (zahraniční i české) vzdáleně ovládané laboratoře a chat. Každý z experimentů obsahuje navíc složky: *Fyzikální princip*, *Návod k měření*, *Videonávod*, *Sestava experimentu*, *Pracovní list*, *Statistiky přístupů* a *Fotogalerie*. Důležité části webové stránky a ovládání všech experimentů jsou přeloženy i do anglické verze, aby mohli experimenty snadno využívat i zahraniční uživatelé.



Obr. 31.2 Základní princip vzdáleného řízení experimentů v naší vzdálené laboratoři

Princip našich vzdálených experimentů je založen na architektuře server-klient (viz obr. 31.2). Každý experiment je připojen k jednomu samostatnému počítači v naší laboratoři, který má nainstalován webový server (Pinknet Web Server, Apache HTTP Server nebo Nginx). Tento server řídí komunikaci s klientem prostřednictvím standardního protokolu HTTP (dotaz-odpověď). Klientem je webová aplikace (vytvořená v programovacím jazyce Java), která je umístěna na naší webové stránce. Tuto aplikaci lze ovládat z libovolného webového prohlížeče (např. Mozilla Firefox, Internet Explorer apod.) bez nutnosti instalace speciálních programů (s výjimkou vzdáleného experimentu č. 3, který je vytvořen na vývojové platformě LabVIEW a k jeho ovládání je třeba program LabVIEW Run-Time Engine).

Rozcestník k vzdáleně ovládaným experimentům, které jsou umístěny na MFF UK v Praze a na Pedagogické fakultě TU v Trnavě, lze najít na webové stránce <http://eedu.eu/>.

31.3 Vzdáleně ovládané laboratoře ve světě

Jednu z největších vzdáleně ovládaných laboratoří na internetu lze nalézt na webové adrese <http://rcl.physik.uni-kl.de/>. Tato laboratoř má hlavní centrum v Kaiserslauternu v Německu (webová stránka ovšem obsahuje experimenty i z jiných míst světa) a vedoucí tohoto projektu je prof. H. J. Jodl. Tento webový portál obsahuje cca 15 funkčních vzdálených experimentů (Pozorování elektronové difrakce, Určení rychlosti světla, Studium radioaktivního záření, Zkoumání fotoelektrického jevu, Pokusy ve vzduchovém tunelu a další). U většiny vzdálených úloh uživatel může vzdáleně měnit parametry experimentu, ale přenos naměřených dat je zprostředkováván webovou kamerou, která sleduje hodnoty na měřicím přístroji (např. multimetru). Uživatel si tato data opisuje z obrazovky svého počítače. K ovládání a měření experimentů v této laboratoři není potřeba do počítače instalovat žádný speciální program ani se předem registrovat.

Další zahraniční vzdáleně ovládaná laboratoř se nachází na webové stránce <http://remote.physik.tu-berlin.de/> a je označena jako *Remote Farm*. Vedoucí této laboratoře je prof. Ch. Thomsen z univerzity v Berlíně. V této laboratoři se nachází cca 10 funkčních vzdáleně ovládaných experimentů (Studium kapacity kondenzátoru v závislosti na vzdálenosti jeho desek, Studium tlaku plynu, Zkoumání vlastností spřažených kyvadel a další). K ovládání těchto experimentů je nutnost mít v počítači program LabVIEW Run-Time Engine nebo software LabVIEW. Uživatelé, kteří chtějí pracovat s těmito experimenty, se musí nejprve na webové stránce zaregistrovat (vytvořit si vlastní účet). Před každým ovládním experimentu se musí uživatel přihlásit pod svým uživatelským jménem a heslem. Obraz z webových kamer není u této laboratoře umístěn přímo na stránce s ovládním experimentu, ale v jiném webovém okně.

Spíše jako ukázka možností vzdáleného měření může sloužit webová stránka <http://mechatronics.poly.edu/MPCRL/>. Pět vzdáleně ovládaných experimentů na této stránce bylo vytvořeno na fakultě strojírenství na Polytechnické Univerzitě v New Yorku v USA. Experimenty na této stránce jsou přístupné pouze od pondělí do pátku od 10:00 do 17:00 místního času. Vzdálení uživatelé potřebují k ovládní pouze program Java. Není potřeba se do laboratoře registrovat, nebo si stahovat dodatečný software. Vzdálené experimenty na této stránce (Ovládní (stejnoseměrného) DC motoru, Ovládní rádiem řízeného modelu auta, Magnetická levitace ocelové kuličky a další) slouží spíše pro potřeby studentů dané Univerzity a jejich zařazení do výuky fyziky na SŠ v ČR by bylo komplikované. Ovládat experiment může vždy jen jeden uživatel, ostatní čekají ve frontě.

Na univerzitě v Jižní Austrálii (University of South Australia) funguje v současné době jeden vzdáleně ovládaný experiment, který umožňuje určit parametry jednoduchého RC obvodu z jeho přechodové charakteristiky. Na webové stránce <http://netlab.unisa.edu.au/> si vzdálený uživatel musí nejprve vytvořit svůj účet se jménem a heslem. Druhým krokem je zarezervovat si vymezený čas, kdy chcete s tímto experimentem pracovat. K tomuto účelu je vytvořen rezervační systém. V jeden okamžik mohou s experimentem pracovat až tři žáci. Po spuštění experimentu se zobrazí několik samostatných webových oken, v kterých jsou zobrazeny displeje jednotlivých přístrojů (fotografie přední strany přístroje s několika interaktivními tlačítky, které jsou naprogramovány pomocí LabVIEW). Uživatel nastavuje parametry měření (na virtuálním osciloskopu, generátoru funkcí, digitálním multimetru apod.) a on-line změny reálných přístrojů v laboratoři sleduje pomocí webové kamery.

Literatura

- Bajer, J.: *Mechanika*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2004.
- Bajer, J.: *Mechanika*. 3. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2006.
- Bartuška, K., Svoboda, E.: *Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika*. vyd. Praha: Prometheus, 2000.
- Bednařík, M., Šírká, M.: *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. vyd. Praha: Prometheus, 2000.
- Bernard, C. H., Epp, Ch. D.: *Laboratory experiments in college physics*. 7th ed. vyd. New York: Wiley, 1995.
- Drozd, Z., Brockemeyerová, J.: *Pokusy z volné ruky*. vyd. Praha: Prometheus, 2003.
- Halliday, D., Walker, J., Resnick, R.: *Fyzika - 5 dílů: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. vyd. Brno: VUTIUM, 2001.
- Kašpar, E., Vachek, J.: *Pokusy z fyziky na středních školách 1. díl*. vyd. Praha: SPN, 1967.
- Lepil, O., Šedivý, P.: *Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus*. vyd. Praha: Prometheus, 2000.
- Lepil, O.: *Fyzika pro gymnázia – Mechanické kmitání a vlnění*. vyd. Praha: Prometheus, 2001.
- Lepil, O.: *Fyzika pro gymnázia – Optika*. vyd. Praha: Prometheus, 2010.
- Mechlová, E.: *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. vyd. Praha: Prometheus, 1999.
- Mikulčák, J. a kol.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. vyd. Praha: Prometheus, 2003.
- Sprott, J. C.: *Physics demonstrations: a sourcebook for teachers of physics*. vyd. Madison: University of Wisconsin Press, 2006.
- Stefanovic, M. et al.: A LabVIEW-Based Remote Laboratory Experiments for Control Engineering Education. *Computer Application in Engineering Education*. Published online in Wiley Inter Science, 2009.
- Svoboda, E.: *Fyzika: pokusy s jednoduchými pomůckami*. vyd. Praha: Prometheus, 2001.
- Svoboda, E. a kol.: *Pokusy z fyziky na střední škole 1, 2, 3, 4*. vyd. Praha: Prometheus, 1997.
- Svoboda, E. a kol.: *Přehled středoškolské fyziky*. vyd. Praha: Prometheus, 1996.
- Thomsen, Ch., Scheel, H., Morgner, S.: *Remote experiments in experimental Physics*. In: Proceedings of the ISPRS E-learning. Potsdam, Germany, 2005.
- Žouželka, J., Fuka, J.: *Pokusy z fyziky na středních školách 2. díl*. vyd. Praha: SPN, 1971.
- Žouželka, J.: *Praktikum školních pokusů I, II, III*. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1993.

Internetové zdroje:

- Augusta, P.: *Otto von Guericke* [online]. <http://3pol.cz/30-otto-von-guericke>. [cit. 2012-01-23].
- Bdinková, V.: *Fyzika hrou* [online]. <http://www.fyzikahrou.cz/>. [cit. 2012-03-17].
- Direct Solid Wall Gauges* [online]. <http://matec.org/ps/library3/secure/modules/101/LA3/M101LA3.html>. [cit. 2012-08-19].
- FYZikálně - MATematIký blog* [online]. <http://fyzmatik.pise.cz/>. [cit. 2012-04-14].
- FyzWeb* [online]. <http://fyzweb.cz/>. [cit. 2012-05-21].
- Gymnázium J. Vrchlického v Klatovech
- Jílek, M.: *Praktické projekty ve výuce fyziky*. [online]. http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_10/10_23_Jilek.html. [cit. 2012-01-23].
- Jodl, H. J.: *Remotely Controlled Laboratories* [online]. <http://rcl.physik.uni-kl.de/>. [cit. 2012-05-28].

Kadlec, K.: *Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití* [online].
<http://www.odbornecasopisy.cz/download/au020728.pdf>. [cit. 2012-08-18].

Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita [online]. <http://kf.truni.sk>. [cit. 2012-08-3].

Kukal, J.: *Inovativní myšlení po skotsku*. [online].
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1870>. [cit. 2012-08-16].

Krejčí, J.: *Fyzikální experimenty* [online]. <http://fyzikalni-experimenty.cz/>. [cit. 2012-06-20].

Metodický portál RVP [online]. <http://rvp.cz/>. [cit. 2012-07-23].

Látal, F.: *Vzdáleně ovládaná laboratoř* [online]. <http://ictphysics.upol.cz/remotelab/>. [cit. 2012-08-29].

Lustig, F.: *Vzdálená laboratoř* [online]. <http://www.ises.info/>. [cit. 2012-08-23].

Lustig, F.: *Rozcestník vzdálených experimentů* [online]. <http://eedu.eu/>. [cit. 2012-08-31].

Michaelovy experimenty. Česká televize – PORT [online].
www.ceskatelevize.cz/porady/10121359557-port/michaelovy-experimenty/. [cit. 2012-07-2].

National Instruments [online]. <http://ni.com/>. [cit. 2012-08-24].

Pawera, L., Krejčí, J.: *Vzdálená laboratoř* [online]. <http://www.remote-laboratory.com/>. [cit. 2012-07-2].

Piskač, V.: *Fyzikální šuplík* [online]. <http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/>. [cit. 2012-08-13].

Polák, Z.: *Teplo v experimentech* [online]. <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/10-25-Polak.html>. [cit. 2012-08-30].

Reichl, J.: *Encyklopedie fyziky* [online]. <http://fyzika.jreichl.com/>. [cit. 2012-04-12].

Sbírka fyzikálních pokusů – elektřina a magnetismus [online]. <http://kdf.mff.cuni.cz/pokusy/>. [cit. 2012-08-14].

Thomsen, Ch. *Remote Farm* [online]. <http://remote.physik.tu-berlin.de/>. [cit. 2012-08-15].

Volf, I., Jarešová, M., Ouhrabka, M.: *Studijní text pro řešitele FO. Přenos tepla* [online].
<http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/studijni-texty>. [cit. 2012-07-17].