

PŘÍTECH

Smykové tření

Gymnázium Cheb
Nerudova 7
Tomáš Tomek, 4.E
2014/2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem maturitní práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Vítězslava Kubína a uvedl v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a další informační zdroje včetně internetu.

V Chebu dne

.....

Podpis autora

Tento projekt vypracoval Tomáš Tomek, student Gymnázia v Chebu, žijící v Chebu. Práce je vypracována pro maturitní zkoušku a pro soutěž PŘÍTECH.

Hlavním tématem této maturitní práce je smykové tření a měřenou úlohou je součinitel smykového tření ledu. Měření bylo prováděno s třemi druhy materiálů (dřevo, guma, kov), kdy u jednoho z nich se měnila jeho hmotnost. Výsledné součinitele pro každý materiál jsou poté porovnány. Dále je vypočítána velikost odporu vzduchu a porovnána s velikostí třecí síly.

Projekt byl vytvořen s minimálními požadavky na náklady.

Obsah

1. Úvod.....	5
2. Teorie.....	6
2.1. Smykové tření (kinematické).....	6
2.1. Klidové tření (statické).....	7
2.2 Součinitel smykového tření.....	8
2.3 Odpor vzduchu (odpor prostředí).....	8
3. Metodika měření.....	9
3.1 Uvedení do problematiky.....	9
3.2 Pomůcky.....	10
3.3 Místo měření.....	10
3.4. Postup měření.....	10
3.4.1 Sestavení aparatury.....	10
3.4.2 Způsob měření.....	11
3.5. Hypotézy a očekávání.....	11
4. Měření a výpočty.....	11
4.1. Měření součinitele smykového tření pro různé materiály.....	12
4.2. Měření součinitele smykového tření pro dřevěnou krychli bez zatížení a se zatížením.....	14
4.3. Výpočet odporu vzduchu a porovnání se silou třecí.....	16
4.3.1. Výpočet odporu vzduchu.....	17
4.3.2. Výpočet třecí síly.....	17
4.3.3 Porovnání odporu vzduchu s třecí silou.....	17
5. Závěr.....	18
6. Zdroje.....	19
6.1 Tištěné zdroje.....	19
6.2 Internetové zdroje.....	19
7. Přílohy.....	20
7.1 Fotodokumentace.....	20
7.2 Tabulka hodnot pro součinitel smykového tření (naměřené hodnoty, hodnoty z fyzikálních tabulek nebo internetu).....	21

1. Úvod

Jednou z částí maturitní zkoušky z fyziky je maturitní práce na téma, které si studenti vyberou, vypracují a obhájí. Pro svou práci jsem si vybral téma: Smykové tření. Zvolené téma jsem prodiskutoval se svými profesory fyziky, provedl prvotní měření a výpočty, abych zjistil, zda je možné dále vše uskutečnit. Toto téma jsem si zvolil, jelikož devátým rokem hraji závodně hokej a mám k ledu určitý vztah. Vždy mě fascinovalo, jak puk lehce klouže po ledě. Jaký je pocit dostat přesnou přihrávku na hůl v ten správný čas a řídit se do šance. Zajímalo mě, co kdyby byl puk zhotoven z tvrdého dřeva či kovu a jak by to ovlivnilo jeho chování a vlastnosti. Dalším důvodem proč jsem si toto téma zvolil je, že mám možnost přístupu na ledovou plochu zimního stadionu, kde jsem provedl svá měření.

Hlavní veličiny mého měření jsou vzdálenost a čas tedy čas, za který těleso (puk, dřevěný válec, železný válec) urazilo určitou vzdálenost. Dále jsem se zabýval odporem vzduchu, který působí na těleso a zda-li je tak malý oproti třecí síle, že bych ho mohl zanedbat.

2. Teorie

2.1. Smykové tření (kinematické)

Smykové tření je jev, kdy se jedno těleso tře (smýká) po tělese druhém. S tímto typem tření se setkáváme každý den, například když posunujeme svůj telefon po stole na okraj stolu, abychom ho zvedli, když si chceme sednout ke stolu a odsouváme židli nebo v mém případě, když puk klouže po ledu. Tření je v mnoha ohledech velmi důležité. Umožňuje chůzi, slouží ke zpomalení např. u brzd v automobilu. Smykové tření vzniká zejména z nerovnosti styčných ploch obou těles, která o sebe třou. Při tření se jejich styčné plochy deformují, obrušují a tím vzniká třecí síla. Třecí síla je opačně orientovaná k rychlosti tělesa a její působiště je na styčných plochách obou těles.

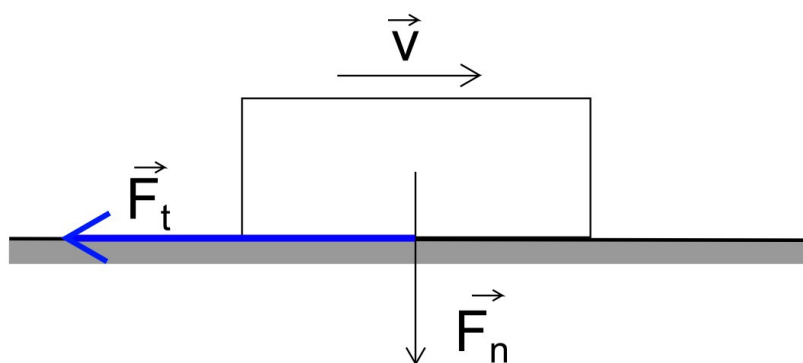
Velikost třecí síly:

1. závisí na velikosti obsahu třecích ploch,
2. závisí na hrubosti, drsnosti třecích ploch,
3. podstatně nezávisí na rychlosti (při malých rychlostech se třecí síla nemění, avšak při větších rychlostech se zmenšuje),
4. je přímo úměrná velikosti normálové síly a součiniteli smykového tření.

Pokud F je stála síla, která působí ve směru pohybu, F_t je síla třecí a těleso se pohybuje po vodorovné podložce, potom platí:

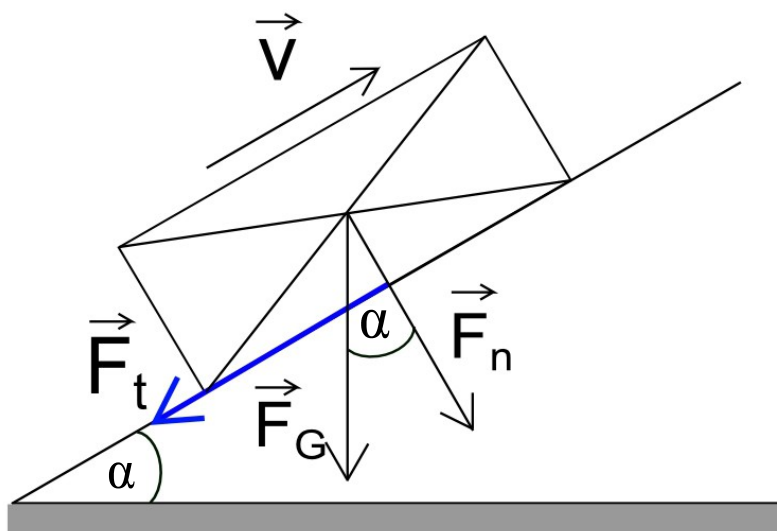
1. Pokud $F = F_t$, těleso se pohybuje rovnoměrně
2. Pokud $F > F_t$, těleso se pohybuje rovnoměrně zrychleně
3. Pokud $F < F_t$, těleso se pohybuje rovnoměrně zpomaleně

Vzorec pro výpočet smykového tření: $F_t = f \cdot F_n$, kde F_t je třecí síla, f je součinitel smykové tření a F_n je síla normálová (síla kolmá na podložku, po které těleso smýká).



Obrázek 1: těleso na vodorovné podložce

Je-li podložka vodorovná, síla F_n se rovná tíhové síle F_g . Pochybuje-li se těleso po nakloněné rovině s uhlém α je $F_n = F_G \cos \alpha$.



Obrázek 2: těleso na nakloněné rovině

2.1. Klidové tření (statické)

Klidové tření nebo také statické je speciální případ smykového tření. Vzniká mezi tělesy, které se nepohybují, tedy jsou v klidu. Velikost klidového tření je zpravidla větší než velikost smykového tření za stejných podmínek, jelikož síla potřebná k uvedení tělesa do pohybu je větší než síla, která udržuje těleso v pohybu rovnoměrně přímočarém. Stejně jako smykové tření závisí klidové tření na vlastnostech látek, které o sebe třou, tedy jejich hrubost, drsnost, dále nezávisí na velikosti obsahu styčných ploch a velikost klidové tření je přímo úměrné normálové síle. Vzorec pro klidové tření: $F_{\text{t0}} = f_0 \cdot F_n$, kde F_{t0} je klidové tření, f_0 je součinitel klidového tření a F_n je normálová síla.

2.2 Součinitel smykového tření

Součinitel smykového tření je skalární fyzikální veličina tedy bezjednotková veličina. Součinitel smykového tření závisí na jakosti styčných ploch. Jakostí styčných ploch myslíme materiál, z něhož jsou plochy vyrobeny (ocel, železo, dřevo, guma, led) a způsob jakých jsou materiály opracovány (hladké zbroušené dřevo, neopracované hrubé dřevo, ...). Zpravidla je součinitel smykového tření menší než součinitel klidového tření. Vzorec pro součinitel smykového

tření lze vyjádřit ze vzorce pro smykové tření: $f = \frac{F_t}{F_n}$. Součinitel smykového tření je tedy přímo úměrný třecí síle a nepřímo úměrný síle normálové. Lze tedy usoudit, že čím větší bude třecí síla tím větší hodnotu bude mít i součinitel smykového tření a také čím větší bude normálová síla, tím bude mít součinitel smykového tření menší hodnotu.

2.3 Odpor vzduchu (odpor prostředí)

Odpor vzduchu je soubor všech sil, kterými plyn (vzduch) brání pohybu tělesu v tomto prostředí. Odpor vzduchu je způsoben třením, které vzniká při kontaktu tělesa a prostředí. Jelikož je rychlost relativní, nezáleží na tom, jestli je těleso v klidu a vzduch proudí kolem něj (obtékání těles) nebo se těleso pohybuje v nepohybujícím se vzduchu. Síla, která působí proti pohybu tělesa, se

nazývá odporová síla. Vzorec pro výpočet síly odporu vzduchu: $F = \frac{1}{2} \cdot C \cdot S \cdot \rho \cdot v^2$, kde C je součinitel odporu, S je plošný průřez tělesa kolmý k proudění vzduchu, ρ hustota prostředí (hustota vzduchu), v rychlost obtékání. Součinitel odporu se mění v závislosti na tvaru tělesa, čím má těleso aerodynamičtější tvar tím nižší bude je součinitel odporu. Např. vypouklá koule má součinitel

odporu kolem 0,33, zatímco dutá koule má součinitel odporu 1,3. Ze vzorce by se mohlo zdát, že velikost odporové síly se přímo úměrná druhé mocnině rychlosti. Avšak ve skutečnosti tomu tak není. Při malých rychlostech je lineární a pro rychlosti kolem rychlosti zvuku je přímo úměrná třetí mocnině rychlosti.

3. Metodika měření

3.1 Uvedení do problematiky

V této kapitole maturitní práce jsou popsány cíle a způsoby měření, použité pomůcky a aparatury, které jsem použil.

Hlavním cílem mé práce je měření součinitele smykového tření ledu. Pro svá měření jsem si zvolil tři tělesa, která budu mezi sebou porovnávat a u některých měnit jejich parametry. Tato tělesa jsou standardní gumový puk, dřevěný válec a kovový válec. Hlavními veličinami mého měření jsou vzdálenost a čas, tedy vzdálenost, kterou tělesa urazí za určitý čas. Tyto veličiny jsem měřil z

důvodu, abych dále mohl spočítat zrychlení ze vzorce $s = \frac{1}{2}at^2$ a dále použil zrychlení pro výpočet třecí síly $F_t = m \cdot a$, kde m je hmotnost tělesa a a jeho zrychlení. K tomu, abych zjistil samotný součinitel smykového tření, jsem použil vzorec pro výpočet třecí síly $F_t = f \cdot F_n$, kde F_t je třecí síla, F_n normálová síla, f součinitel smykového tření. Ze vzorce jsem vyjádřil samotný

součinitel smykového tření: $f = \frac{F_t}{F_n}$. Třecí sílu jsem již vyjádřil, a proto stačí doplnit pouze sílu normálovou. Normálová síla je síla kolmá na podložku, po které se těleso smýká. V našem případě, kdy je těleso smýkáno po vodorovné vrstvě ledu, je normálová síla tíhová síla. Proto pro výpočet normálové síly jsem použil vzorec $F_n = F_G = m \cdot g$, kde m je hmotnost tělesa a g tíhové zrychlení.

Dále si můžeme všimnout, když do vzorce $f = \frac{F_t}{F_n}$ dosadíme základní jednotky

$f = \frac{m \cdot a}{m \cdot g}$, lze hmotnost tělesa zkrátit a dostáváme vzorec pro výpočet koeficientu smykového

tření $f = \frac{a}{g}$. Z tohoto zjištění lze usuzovat, že v mém případě součinitel smykového tření závisí na zrychlení tělesa a tíhovém zrychlení. Proto abych dokázal, že na hmotnosti tělesa nezáleží, jsem změnil u jednoho z těles jeho hmotnost a výsledky porovnal.

Dále jsem se zaměřil na odpor vzduchu, jeho velikost a porovnání s třecí silou a jestli je odpor vzduchu zanedbatelný.

Všechny naměřené hodnoty a výsledky jsou zpracovány do tabulek.

3.2 Pomůcky

Jak jsem již zmiňoval, měřenými veličinami jsou čas a dráha. Pro měření času jsem zvolil digitální stopky a pro měření vzdálenosti jsem použil měřicí pásmo. Digitální stopky a pásmo jsem si vypůjčil ze školy. Zvolenými předměty jsou gumový puk, dřevěný válec a kovový válec (kotouč). Puk je standardní velikosti a váhy. Dřevěný válec o průměru 12 cm a výškou 5,1 cm a kovový kotouč o hmotnosti 1197g, který se nedotýká povrchu při posouvání celou plochou, ale jelikož tření nezávisí na velikosti třecí plochy, není to problém. Dále jsem použil k zatížení dřevěné krychle pět válcovitých závaží o hmotnostech (493g, 400g, 259g, 198g, 198g) a hřebík o hmotnosti 9g.

3.3 Místo měření

Jelikož hrají závodně hokej, mám relativně dobrý přístup k ledové ploše pro naměřené hodnoty. Svá měření jsem provedl na venkovní ledové ploše zimního stadionu v Chebu. Ledová plocha má rozměry (30x30 m), tedy dostačující pro mé záměry.

3.4. Postup měření

3.4.1 Sestavení aparatury

První úkonem při měření je sestavení aparatury. Jako první krok jsem našel nejlepší místo na ledové ploše, kde byl led nejvíce hladký, čistý a suchý. Dále jsem na ledě vyznačil rysku. Pro vyznačení rysky jsem použil pravítko a černý lihový fix, jelikož na ledě byl velmi zřetelně vidět a na konci měření se dal snadno smazat. Dále jsem vedle rysky položil začátek stupnice pásma a pásmo natáhl směrem kolmo od rysky. Dále jsem si připravil stopky a všechna tělesa, která budu měřit, závaží s kladivem a hřebíkem. Vše jsem musel mít co nejlépe připravené, jelikož jsem mohl být na ledové ploše po omezenou dobu, a abych stihl naměřit tolik měření kolik jsem potřeboval, musel jsem si počínat svižně a bez komplikací.

3.4.2 Způsob měření

Těleso jsem uvedl do pohybu svou rukou. V ten okamžik, kdy projelo těleso přes rysku vyznačenou na ledě, se začal měřit čas. Až se těleso zastavilo, měření času se ukončilo a změřila se uražená vzdálenost tělesa. Každé těleso bylo měřeno desetkrát. Po několika neměřených pokusech jsem zvolil takovou sílu pro rozpohybování tělesa, aby zastavilo mezi 4,5m a 6,5m. Kdyby těleso urazilo kratší vzdálenost, trvalo by mu to kratší dobu a tím by se značně zvětšila chyba měření. Kdyby mělo těleso urazit delší vzdálenost, chyba měření by se zmenšila, avšak bylo by více obtížné namířit těleso správným směrem a komplikovalo by to měření. Při zatěžování dřevěného kvádrů jsem použil 6 závaží, hřebík a kladivo. Při zvyšování hmotnosti jsem vždy každé závaží přibílal kladivem na střed kvádrů horní strany a tento proces jsem opakoval 4x, takže jsem měl 5 různých hmotností dřevěného kvádrů.

3.5. Hypotézy a očekávání

Jak jsem již zmiňoval, součinitel smykového tření závisí na jakosti styčných ploch, tedy materiálu, ze kterých jsou plochy vyrobeny. Proto očekávám, že se součinitele u různých materiálů budou lišit, avšak pouze o pár desetinných míst, jelikož všechna tělesa kloužou po ledě a jejich hrubost styčných ploch se nijak zásadně neliší. Při zjišťování součinitelů smykového tření pro různé materiály jsem zjistil že zpravidla největší součinitel smykového tření má guma, která se tře s různými materiály, a dále menší součinitel má dřevo a nejmenší kov. Proto jsem očekával, že největší součinitel smykového tření bude mít guma a nejmenší kov. Dále jak vychází ze vzorce

$f = \frac{a}{g}$, součinitel nezávisí na hmotnosti tělesa. Proto jsem očekával, že koeficient smykového tření

u dřeva se zatížením i bez zatížení bude stále stejným lišící se pouze nepatrně. Dále jsem jsem měl představu že odpor vzduchu tak malý, že ho budu moci zanedbat.

4. Měření a výpočty

V této kapitole práce jsou zpracovány naměřené hodnoty se statistickým zpracováním, zpracovány do tabulek nebo zaneseny do grafů. Své měření jsem rozdělil do dvou částí. V první části jsem měřil různá tělesa (puk, dřevěná krychle, kovový kotouč) a v druhé části jsem měřil dřevěnou krychli se závažím. Dále je v této kapitole vypočítán odpor vzduchu a porovnán s velikostí třecí síly.

4.1. Měření součinitele smykového tření pro různé materiály

Guma (puk)

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	e_r (%)	e
1.	2,29	4,65	0,181	8,95	0,016
2	2,5	5,36	0,175	8,19	0,014
3	2,44	5,16	0,177	8,39	0,015
4	2,48	5,23	0,173	8,26	0,014
5	2,35	4,85	0,179	8,72	0,016
6	2,43	5,35	0,185	8,42	0,016
7	2,51	5,32	0,172	8,16	0,014
8	2,34	4,87	0,181	8,75	0,016
9	2,37	5,1	0,185	8,63	0,016
10	2,35	4,96	0,183	8,71	0,016
\bar{X}			0,179	8,52	0,015
e_s	0,1	0,01			

$k = (0,179 \pm 0,015)$; $e_r = 8,52 \%$

tabulka 1: Součinitel smykového tření (Guma)

Dřevo

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	e_r (%)	e
1.	3,3	5,42	0,101	6,25	0,006
2	3,32	5,85	0,108	6,20	0,007
3	3,14	5,43	0,112	6,55	0,007
4	3,28	6,14	0,116	6,26	0,007
5	3,28	6,11	0,116	6,26	0,007
6	3,56	6,34	0,102	5,78	0,006
7	3,12	5,43	0,114	6,59	0,007
8	3,31	6,24	0,116	6,20	0,007
9	3,15	5,39	0,111	6,53	0,007
10	3,5	6,34	0,106	5,87	0,006
\bar{X}			0,110	6,26	0,007
e_s	0,1	0,01			

$k = (0,110 \pm 0,007)$; $e_r = 6,26 \%$

tabulka 2: Součinitel smykového tření (Dřevo)

Kov

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	e_r (%)	e
1.	3,39	4,97	0,088	6,10	0,005
2	3,57	5,5	0,088	5,78	0,005
3	3,45	4,88	0,084	6,00	0,005
4	3,84	5,93	0,082	5,38	0,004
5	3,51	5,22	0,086	5,89	0,005
6	3,7	5,54	0,083	5,59	0,005
7	3,64	5,61	0,086	5,67	0,005
8	3,78	5,83	0,083	5,46	0,005
9	3,49	5,33	0,089	5,92	0,005
10	3,42	5,39	0,094	6,03	0,006
\bar{X}			0,086	5,79	0,005
e_s	0,1	0,01			

$k = (0,086 \pm 0,005)$; $e_r = 5,79 \%$

tabulka 3: Součinitel smykového tření (Kov)

Nedůležitější hodnotou v tabulkách je aritmetický průměr součinitele smykového tření. Protože jsem k měření dráhy používal pásma zvolil jsem hodnotu soustavné chyby $e_s = 0,01$. K měření času jsem používal digitální stopky, proto jsem zvolil soustavnou chybu $e_s = 0,1$. Jelikož jsem při výpočtu součinitele smykového tření použil vzorec, kde se vyskytují operace násobení a dělení, nejdříve jsem vypočítal chybu relativní a poté absolutní chybu. Chybu relativní jsem vypočetl jako

součet relativních chyb. Absolutní chybu jsem vypočetl pomocí vzorce $e = \frac{e_r}{100\%} * \bar{X}$.

Pro výsledné hodnoty aritmetického průměru chyb absolutních i relativních jsem naopak nejdříve vypočetl chybu absolutní a až poté chybu relativní, jelikož u aritmetického průměru je použita početní operace sčítání.

Při zjišťování hodnoty tíhového zrychlení z fyzikálních tabulek jsem zjistil, že rozdíl mezi hodnotami tíhového zrychlení na pólu a rovníku jsou zanedbatelně malé a také, že jsem měření prováděl na jedné zeměpisné šířce, proto jsem hodnotu tíhového zrychlení použil jako konstantu a tedy jsem ji nezapočítával do chyb měření.

4.2. Měření součinitele smykového tření pro dřevěnou krychli bez zatížení a se zatížením.

Dřevo (bez zatížení – celková hmotnost $m = 380\text{g}$)

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	$e_r (\%)$	e
1.	3,3	5,42	0,101	6,25	0,006
2	3,32	5,85	0,108	6,20	0,007
3	3,14	5,43	0,112	6,55	0,007
4	3,28	6,14	0,116	6,26	0,007
5	3,28	6,11	0,116	6,26	0,007
6	3,56	6,34	0,102	5,78	0,006
7	3,12	5,43	0,114	6,59	0,007
8	3,31	6,24	0,116	6,20	0,007
9	3,15	5,39	0,111	6,53	0,007
10	3,5	6,34	0,106	5,87	0,006
\bar{X}			0,110	6,26	0,007
e_s	0,1	0,01			

$k = (0,110 \pm 0,007)$; $e_r = 6,26 \%$

tabulka 4: Součinitel smykového tření (Dřevo (bez zatížení – celková hmotnost $m = 380\text{g}$))

Dřevo (jedno závaží – celková hmotnost m= 876g)

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	e_r (%)	e
1.	3,38	5,58	0,100	6,10	0,006
2	3,55	6,07	0,098	5,80	0,006
3	3,1	5,43	0,115	6,64	0,008
4	3,16	6,14	0,125	6,49	0,008
5	3,27	6,11	0,116	6,28	0,007
6	3,54	6,34	0,103	5,81	0,006
7	2,94	5,43	0,128	6,99	0,009
8	3,26	6,24	0,120	6,30	0,008
9	3,17	5,39	0,109	6,49	0,007
10	3,5	6,34	0,106	5,87	0,006
\bar{X}			0,112	6,30	0,007
e_s	0,1	0,01			

$k_{\bar{X}} = (0,112 \pm 0,007)$; $e_{r\bar{X}} = 6,30\%$

tabulka 5: Součinitel smykového tření (Dřevo (jedno závaží – celková hmotnost m= 876g)

Dřevo (dvě závaží – celková hmotnost m= 1278g)

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	e_r (%)	e
1.	3,29	6,29	0,118	6,24	0,007
2	3,06	5,48	0,119	6,72	0,008
3	3,24	6,16	0,120	6,34	0,008
4	3,11	5,39	0,114	6,62	0,008
5	3,31	6,46	0,120	6,20	0,007
6	3,13	5,37	0,112	6,58	0,007
$k_{\bar{X}} = (0,114 \pm 0,007)$; $e_{r\bar{X}} = 6,37\%$	3,41	6,28	0,110	6,02	0,007
8	3,27	5,58	0,106	6,30	0,007
9	3,22	5,84	0,115	6,38	0,007
10	3,27	5,6	0,107	6,29	0,007
\bar{X}			0,114	6,37	0,007
e_s	0,1	0,01			

tabulka 6: Součinitel smykového tření (Dřevo (dvě závaží – celková hmotnost m= 1278g))

Dřevo (tři závaží – celková hmotnost m= 1541g)

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	e_r (%)	e
1.	3,09	5,77	0,123	6,65	0,008
2	3,3	6,17	0,116	6,22	0,007
3	3,27	6,25	0,119	6,28	0,007
4	3,06	5,41	0,118	6,72	0,008
5	3,24	5,6	0,109	6,35	0,007
6	3,25	5,44	0,105	6,34	0,007
7	3,32	5,73	0,106	6,20	0,007
8	3,35	6,08	0,110	6,13	0,007
9	3,24	6,12	0,119	6,34	0,008
10	3,19	5,93	0,119	6,44	0,008
\bar{X}			0,114	6,37	0,007
e_s	0,1	0,01			

$$k = (0,114 \pm 0,007) ; e_r = 6,37 \%$$

tabulka 7: Součinitel smykového tření (Dřevo (tři závaží – celková hmotnost m= 1541g))

Dřevo (pět závaží – celková hmotnost m= 1940g)

Č. m.	$\frac{t}{s}$	$\frac{s}{m}$	f	e_r (%)	e
1.	3,24	5,86	0,114	6,34	0,007
2	3,35	5,97	0,108	6,14	0,007
3	3,276	6,43	0,122	6,26	0,008
4	3,17	5,89	0,119	6,48	0,008
5	3,5	6,38	0,106	5,87	0,006
6	3,26	5,38	0,103	6,32	0,007
7	3,22	5,84	0,115	6,38	0,007
8	3,49	6,22	0,104	5,89	0,006
9	3,37	5,87	0,105	6,11	0,006
10	3,34	6,02	0,110	6,15	0,007
\bar{X}			0,111	6,20	0,007
e_s	0,1	0,01			

$$k = (0,111 \pm 0,007) ; e_r = 6,20 \%$$

tabulka 8: Součinitel smykového tření (Dřevo (pět závaží – celková hmotnost m= 1940g))

Nedůležitější hodnotou v tabulkách je aritmetický průměr součinitele smykového tření. Při statistickém zpracování výsledků jsem si počínal stejně jako v předchozí kapitole - 4.1. Měření součinitele smykového tření pro různé materiály

4.3. Výpočet odporu vzduchu a porovnání se silou třecí.

Pro výpočet odporu vzduchu jsem zvolil situaci, kdy bude odpor co největší. Ze vzorce pro výpočet vzduchu $F = \frac{1}{2} \cdot C \cdot S \cdot \rho \cdot v$ lze vyčíst, že největší odpor vzduchu bude mít těleso s nejméně aerodynamický tvarem, s největší rychlostí nebo s největší velikostí plochy průřezu kolmého ke směru rychlosti tělesa. Proto jsem zvolil počítat odpor vzduchu u dřevěného válce se všemi závažími, jelikož má největší plochu průřezu kolmého ke směru rychlosti tělesa dále proto že tvar všech těles je velmi podobný proto součinitel odporu bude u všech těles velice podobný a rychlosti všech těles jsou také velice podobné. Protože výpočet nemusí být z celá přesný, jelikož nám ukazuje hrubý poměr mezi třecí silou a odporem vzduchu, nepočítám s chybami měření ani odchylkami.

4.3.1. Výpočet odporu vzduchu

Válec se závažími : $C = 0,8$

$$S = 98,44 \text{ cm}^2 = 9,844 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,342 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$v = 3,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F_o = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 9,844 \cdot 1,342 \cdot 3,92 = 0,02 \text{ N}$$

Výsledná velikost odporu vzduchu je **0,02 N**.

4.3.2. Výpočet třecí síly

Pro výpočet třecí síly použiji vzorec $F_t = f \cdot F_n$.

Válec se závažími: $f = 0,111$

$$m = 1,94 \text{ kg}$$

$$F_t = 0,111 \cdot 1,94 \cdot 9,81 = 2,11 \text{ N}$$

Výsledná velikost třecí síly je **2,11 N**.

4.3.3 Porovnání odporu vzduchu s třecí silou.

Zjistili jsem že odpor vzduchu má hodnotu $F_o = 0,02$ N. a třecí síla hodnotu $F_t = 2,11$ N. Například pomocí trojčlenky lze zjistit, že odpor vzduchu oproti třecí síle je více než 100x menší. Proto jsem usoudil, že odpor vzduchu je zanedbatelně malý.

$$x = \frac{100 \cdot 0,02}{2,11} = 0,95$$

5. Závěr

V této kapitole bych rád shrnul svou práci a zhodnotil výsledky svého měření a počítání.

Výsledné hodnoty součinitele smykového tření pro různé materiály se liší od hodnot, které jsem našel v tabulkách nebo na internetu. Důvodem této skutečnosti je podle mého názoru to, že led nebyl dokonale hladký a suchý, proto naměřené velikosti součinitele smykového tření vyšly o něco větší než hodnoty v tabulkách. Dále se prokázala původní hypotéza, že odpor vzduchu je zanedbatelně malý. Díky těmto skutečnostem jsem s výsledky svého měření v celku spokojený a celou práci hodnotím kladně.

Práce na tomto projektu se mi líbila a doufám, že mi bude v budoucnu přínosem.

6. Zdroje

6.1 Tištěné zdroje:

- [1] LEPIL, Oldřich, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝBLOVÁ. *Fyzika pro střední školy*. 5., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2012, 253 s. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 978-807-1964-285.
- [2] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4., upr. vyd. Praha: Prometheus, 531 s., [12] obr. barev. příl. ISBN 978-80-7196-307-3.
- [3] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. 1. vyd. Praha: Prometheus, c2003, 276 s. ISBN 80-719-6264-3.

6.2 Internetové zdroje:

- [1] DYNAMIKA: Smykové tření. [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/36-smykove-treni>
- [2] Encyklopedie fyziky: MECHANIKA KAPALIN A PLYNŮ - Obtékání těles reálnou tekutinou. [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/109-mechanika-kapalin-a-plynu>
- [3] Friction and Coefficients of Friction: Friction theory and coefficients of friction for some common materials and materials combinations. [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
- [4] Tření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99en%C3%AD#Smykov.C3.A9_t.C5.99en.C3.AD
- [5] Odpor prostředí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Odpor_prost%C5%99ed%C3%AD

7. Přílohy

7.1 Fotodokumentace



Obrázek 3: Fotky z měření a pomůcky

7.2 Tabulka hodnot pro součinitel smykového tření (naměřené hodnoty, hodnoty z fyzikálních tabulek nebo internetu)

	Guma	Kov	Dřevo
Naměřené hodnoty	0,179	0,086	0,110
Hodnoty z fyz. tabulek a internetu	0,1 – 0,2	0,03	0,05

tabulka 9: Tabulka hodnot pro součinitel smykového tření (naměřené hodnoty, hodnoty z fyzikálních tabulek nebo internetu)