<table>
<tr><td colspan="4">Slezská univerzita v Opavě – Filosoficko-přírodovědecká fakulta</td></tr>
<tr><td colspan="4">Fyzikální praktikum I – Mechanika a molekulová fyzika</td></tr>
<tr><td>Jméno:</td><td>Ročník, obor:
První</td><td>Vyučující:
RNDr. Jiří Duda,
Mgr. Daniel Charbulák, Ph.D.</td><td>Datum měření:</td></tr>
<tr><td>Akademický rok:
2021/22</td><td colspan="2" rowspan="2">Název úlohy:
Pohyb po nakloněné rovině</td><td>Datum odevzdání:</td></tr>
<tr><td>Číslo úlohy:
2</td><td>Hodnocení:</td></tr>
</table>

1 Pracovní úkoly:

Vyšetřete dynamiku a kinematiku pohybu po nakloněné rovině užitím vzduchové dráhy a měřícího systému Vernier. Z naměřených hodnot rozhodněte, zda tření na vzduchové dráze můžeme zanedbat. Pokud ne, určete koeficient tření.

2 Teoretický úvod:

V kinematice popisujeme dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu vztahem

$$s = \frac{1}{2} a_1 t^2 \quad . \qquad (2.1)$$

Derivací rovnice (2.1) získáváme vztah (2.2), který popisuje rychlost tělesa při rovnoměrně zrychleném pohybu.

$$v = \frac{ds}{dt} \qquad (2.2)$$

Pokud analyzujeme dynamiku pohybu po nakloněné rovině (obr.1) vidíme, že při zanedbání třecí síly, urychluje těleso pouze složka gravitační síly ve směru jeho pohybu, tedy celkovou sílu F můžeme vypočítat jako (2.3)

$$F = ma_2 = m.g.\sin(\alpha) \tag{2.3}$$

Pokud považujeme koeficient smykového tření za nezanedbatelný, musíme výslednou sílu opravit o člen zohledňující tření, dostáváme tak (2.4)

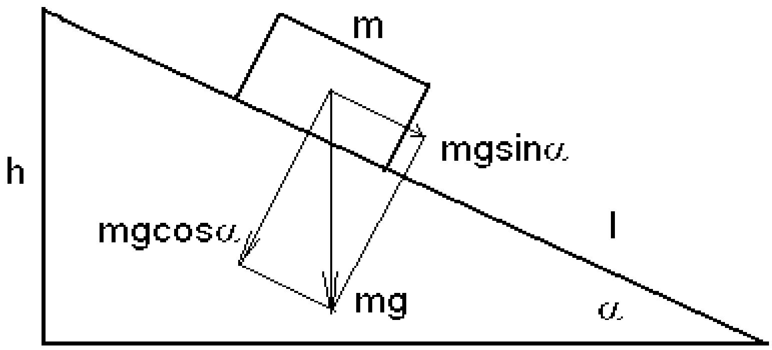
$$F = m.a_3 = mg.(\sin(\alpha) - \mu\cos(\alpha)) \tag{2.4}$$

Vyjádříme-li zrychlení z rovnic (2.1), (2.3) a (2.4) získáme vztahy

$$a_1 = \frac{2s}{t^2} \tag{2.5}$$

$$a_2 = g.\sin(\alpha) \tag{2.6}$$

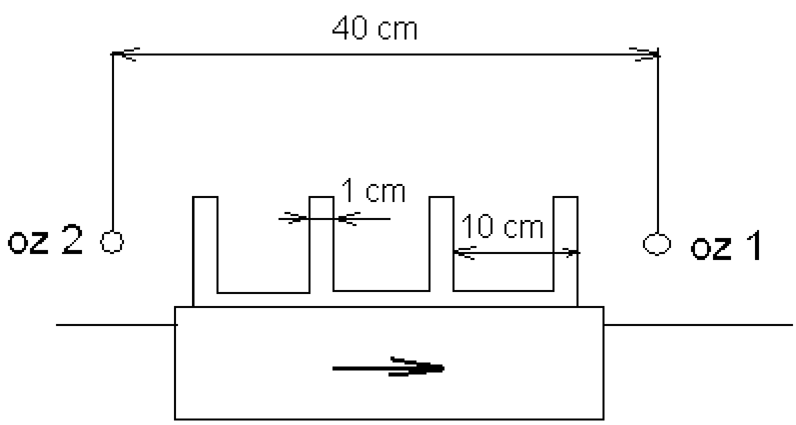
$$a_3 = g(\sin(\alpha) - \mu\cos(\alpha)). \tag{2.7}$$



Obr. 1 – Rozbor sil působících na těleso na nakloněné rovině

V této úloze máme za úkol analyzovat takovýto pohyb a stanovit, zda je koeficient smykového tření na vzduchové dráze skutečně zanedbatelný, tedy $a_1 \approx a_2$ nebo $a_1 \neq a_2$ a v tom případě musíme se smykovým třením počítat a stanovit ho z rovnice pro a_3.

Pro měření jednotlivých veličin použijeme vzduchovou dráhu se dvěmi optickými závorami a dále vozíček se čtyřmi rovnoměrně rozmístěnými značkami (Obr. 2)



Obr. 2 – Schéma experimentu

Princip stanovení vlastností pohybu je zřejmý už z obrázku. Na vozíčku jsou umístěny 4 značky, jejichž šířku 1 cm označíme Δs, a vzájemnou vzdálenost 10 cm (viz obr. 2) označíme d. Při průchodu značky optickou závorou bude přerušen světelný paprsek, což bude detekováno počítačem. Při použití dvou optických závor bude detekováno osm přerušení paprsku, přičemž počátek přerušení (stav 1) i-té značky označme t_i a dobu trvání přerušení této značky (doba mezi změnou stavu 1 na stav 0) označme Δt_i . Při umístění vozíčku 10 cm před první bránou urazí vozíček celkem dráhu $s = 8d = 0{,}8\ m$ a každých 10 cm budou detekovány hodnoty času t_i a Δt_i . Ze znalosti Δt_i můžeme snadno vypočítat přibližnou hodnotu aktuální rychlosti v_i vozíčku v čase t_i dle vztahu (2.2), když infinitezimální přírůstky ds, dt nahradíme konečnými Δs, Δt_i, kde Δs=1 cm (viz výše). Při výpočtu zrychlení a_1 pak do vztahu (2.5) dosazujeme $t = t_8$.

Naměřené závislosti $s(t), v(t)$ budou graficky zpracovány pro tři různé úhly náklonu α, přičemž pro každý úhel opakujeme měření pětkrát. Hodnoty a_1 pak budou zprůměrovány a srovnány s hodnotou a_2 vypočtenou dle vztahu (2.6) pro daný úhel. Pokud v rámci chyb neplatí $a_1 = a_2$, pak předpokládáme, že platí $a_1 = a_3$, z čehož dle (2.5), (2.7) určíme odpovídající součinitel smykového tření μ jako

$$\mu = tg\ \alpha - a_1/(g \cdot \cos\alpha). \qquad (2.8)$$

3 Použité měřící přístroje a pomůcky

- Vzduchová dráha
- Pravítko
- PC se softwarem Vernier a dvěma optickými závorami

4 Postup měření

1) Nejprve skloníme vzduchovou dráhu o úhel α. Stanovíme jej z hodnot *l* a *h*.
2) Poté nastavíme optické závory do stanovených vzdáleností podle obr.2
3) Provedeme měření pomocí programu Vernier, kde odečítáme hodnoty t a Δt.
4) Sestrojíme grafy závislosti dráhy na čase a rychlosti na čase.
5) Vypočteme zrychlení, určíme chybu a provedeme srovnání s teorií. /Úvod /.

5 Naměřené a vypočtené hodnoty

Určení jednotlivých úhlů náklonu

Známe-li změny výšek konců dráhy, pomocí trigonometrie určíme úhel $\propto_i$, o který vzduchovou dráhu nakloníme.

$\propto = \arcsin(\frac{\Delta h}{d})$, kde Δh je změna výšek a $d =$? je délka celé vzduchové dráhy.

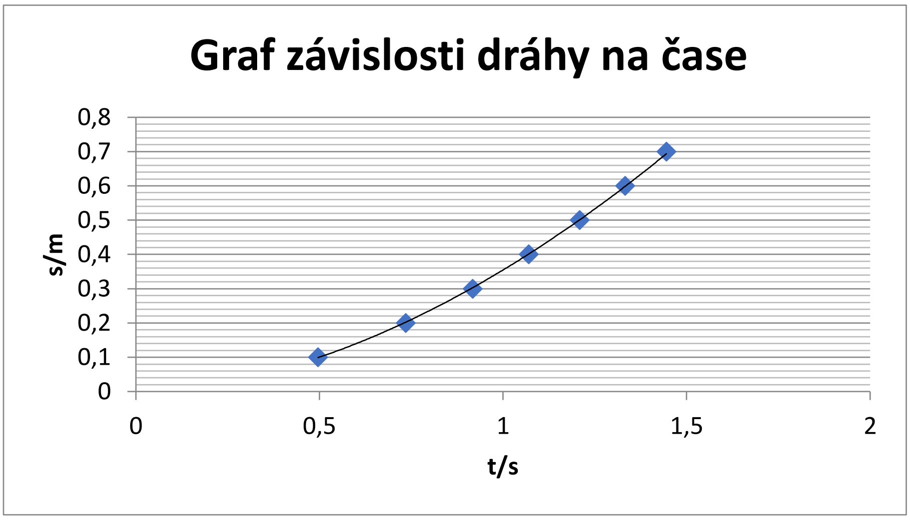
Tab. 1 – Výpočet velikosti úhlu naklonění vzduchové dráhy

$\propto_i$	Δh (cm)	$\lvert\propto_i\rvert$ (rad)	$\lvert\propto_i\rvert$ (°)
$\propto_1$	2,2		
$\propto_2$	5,7		
$\propto_3$	10,6		

Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha_1 =$..

Tab. 2 – Měření času v závislosti na dráze

t_i (s)\n	1	2	3	4	5	**Průměr**
t_1 (s)						
t_2 (s)						
t_3 (s)						
t_4 (s)						
t_5 (s)						
t_6 (s)						
t_7 (s)						
t_8 (s)						



Závěr:

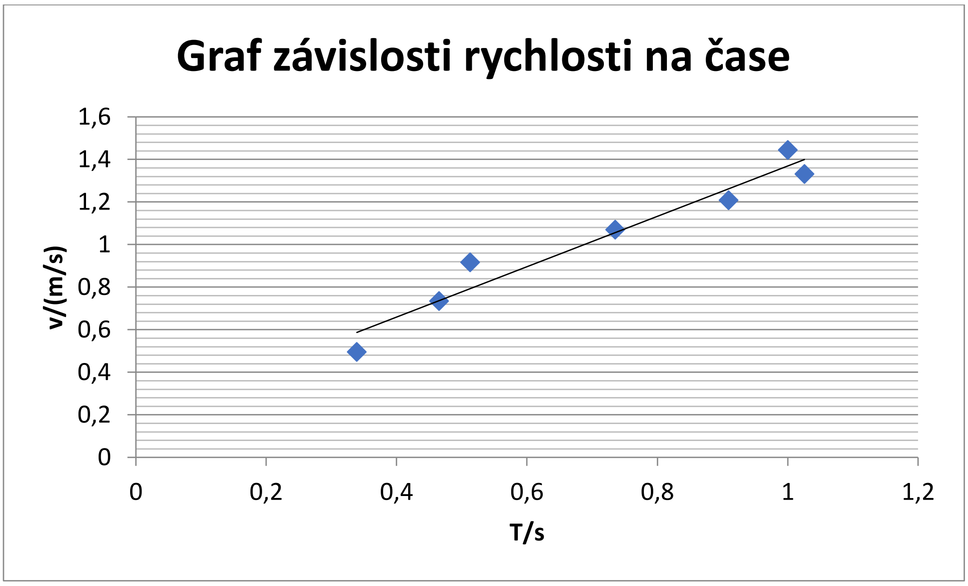
Z grafu je vidět, že závislost dráhy na čase je …

Zkoumání pohybu předmětu v závislosti rychlosti na čase

K určení závislosti rychlosti na čase změříme časový interval na jednotlivých zubech a podle v = Δs/Δt, kde Δs = 1 cm vypočítáme rychlost pohybu jednotlivých zubů.

Tab. 3 – Měření změn času na jednotlivých zubech a výpočet jejich rychlosti

Δt_i (s)\n	1	2	3	4	5	$\overline{\Delta t_i}$ **(s)**	$\boldsymbol{v\ (m \cdot s^{-1})}$
Δt_1							
Δt_2							
Δt_3							
Δt_4							
Δt_5							
Δt_6							
Δt_7							
Δt_8							



<u>Závěr:</u>

Z grafu je vidět, že závislost rychlosti na čase je …

Hodnoty zrychlení a_1 získané výpočtem z rovnice (2.5) jsou uvedeny v následující tabulce

Tab. 4 Vypočtené hodnoty zrychlení a_1			
n	a_i (ms^{-2})	a_i – a (ms^{-2})	(a_i - a)^2 (m^{2}s^{-4})
1			
2			
3			
4			
5			
Průměr a			

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^{n} (a_i - \overline{a})^2}$$

$$u_A = ..$$

Hodnota zrychlení a_1 získaná kinematickým rozborem pohybu po nakloněné rovině vyšla jako:

a_1 = .. ms^{-2}

Hodnotu zrychlení a_2 vypočteme dosazením do rovnice (2.6) dostaneme:

$a_2 = g.sin(\alpha) = 9{,}81.sin(\alpha_1) = ..ms^{-2}$.

Srovnáním $a_1 = ? \neq a_2$, tření proto je/není třeba uvažovat. Odpovídající hodnota smykového tření je podle (2.8)

$$\mu = ..$$

Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel α_2

….

Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel α_3

….

Závěr:

V této úloze jsem měl za úkol provést kinematický a dynamický rozbor pohybu tělesa po nakloněné rovině. Při zpracování jsem zjistil, že hodnoty zrychlení získané z kinematických vztahů, se od těch dynamických příliš (ne)liší i při zanedbání vlivu tření. Z grafického zpracování je vidět, že závislost s(t) je … jak předpovídá teorie a závislost v(t) je … . Příčiny odchylky závislosti v(t) od závislosti teoretické je rozebrány výše.