

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

KATEDRA FYZIKY

LABORATORNÍ CVIČENÍ Z FYZIKY

Jméno	Jan Kohout	Datum měření	2.4.2009		
Stud. rok	2008/2009	Ročník	1.	Datum odevzdání	16.4.2009
Stud. skupina	103	Lab. skupina	3	Klasifikace	
Číslo úlohy	Název úlohy				
3	II. Newtonův pohybový zákon				

Úkol měření

1. Ověřit, že velikost zrychlení tělesa je nepřímo úměrná jeho hmotnosti.
2. Ověřit, že velikost zrychlení tělesa je přímo úměrná velikosti síly, která na něj působí.

Teorie

Aby bylo možné vyloučit síly tření, je urychlované těleso reprezentováno kluzákem pohybujícím se na vzduchovém polštáři po vodorovné dráze. Urychlující síla je realizována tíhou závaží, které je s kluzákem spojeno přes kladku tenkým vláknem. Jelikož je tato síla konstantní, je konstantní i zrychlení kluzáku a pro jeho polohu na vzduchové dráze můžeme psát:

$$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0 \quad (1)$$

Zrychlení a kluzáku se měří následujícím způsobem. V čase $t = 0$ se startovacím zařízením uvolní kluzák, který se z klidu začne rovnoměrně zrychleně pohybovat po vzduchové dráze. V časech t_1, t_2, t_3, t_4 zakryje stínítko umístěné na kluzáku světelné závory ve vzdálenostech s_1, s_2, s_3, s_4 od startovacího zařízení.

Výpočet zrychlení

Pomocí metody nejmenších čtverců (viz odstavec Výpočty) proložíme naměřené hodnoty parabolou $s = k_2t^2 + k_1t + k_0$, kde koeficient $k_2 = a/2$ (odpovídá polovině zrychlení kluzáku), k_1 odpovídá počáteční rychlosti kluzáku (ne vždy se podaří zajistit přesně nulovou počáteční rychlost) a k_0 odpovídá poloze startu kluzáku.

Pohybová rovnice

$$(m_1 + m'_2)a = m_1g \quad (2)$$

, kde m_1 je hmotnost urychlujícího závaží a m'_2 hmotnost kluzáku zvětšená o 2,2g (ekvivalentní hmotnost kladky v tomto případě).

Postup měření

Ověřte, že startovací zařízení je natočeno pohyblivým koncem ven od vzduchové dráhy, pokud ne, povolením upínacích šroubů jej otočte.

Propojte startovací zařízení se svorkami časovače, označenými START, přičemž červená zdířka na startovacím zařízení odpovídá žluté zdířce na časovači.

Připojte světelné závory ke svorkám časovače 1 až 4 tak, aby si příslušné barvy navzájem odpovídaly.

Otočný prepínač režimu časovače přepněte do polohy 1. Oba posuvné prepínače přepněte do pravé krajní polohy. V tomto režimu a zapojení zobrazují jednotlivé displeje časovače časy od startu, kdy dojde k zakrytí příslušných světelných závor stínítkem kluzáku.

Naměřené časy se nulují stiskem tlačítka RESET.

Na kluzák připevněte z jedné strany nástavec s magnetem (pro startovací zařízení) a z druhé strany háček pro uchycení vlákna se závažím. Na vzduchovou dráhu umístěte

zarážku s brzdící gumičkou do takové vzdálenosti, aby zastavila kluzák ještě před tím, než závaží dopadne na zem (případně ji tam při každém startu přidržíte rukou).

Rozmístěte světelné závory rovnoměrně podél vzduchové dráhy a změřte jejich vzdálenost od startovacího zařízení: připevněte kluzák ke startovacímu zařízení a na měřítku podél dráhy odečtěte jeho polohu. Přepněte časovač do polohy 2 (v tomto režimu zobrazuje displej jednotlivých světelných závor časy od zakrytí do odkrytí), posuňte kluzák do blízkosti světelné závory a zjistěte v jaké poloze dojde ke spuštění časovače. V tomto místě odečtěte polohu kluzáku. Nezapomeňte po odečtení poloh všech světelných závor přepnout časovač zpět do polohy 1!

Zapněte ventilátor, nastavte průtok vzduchu na hodnotu 3-4. Zjistěte, zda se kluzák může po dráze volně pohybovat a zda se po uvedení do klidového stavu samovolně nerozjíždí. Pokud ano, nastavte co nejlépe dráhu do vodorovné polohy nebo mírně snižte průtok vzduchu. Toto nastavení zkontrolujte občas i během měření, zvláště při zatěžování kluzáku.

Nyní můžete začít měřit:

Zrychlení tělesa pro konstantní sílu a různé hmotnosti

1. Nasadte jedno 10 g závaží na nástavec připevněný k vláknu a zjistěte celkovou hmotnost m_1 (urychlující závaží). Zjistěte celkovou hmotnost kluzáku m_2 (včetně stínítka, magnetu pro startovací zařízení a háčku pro připevnění vlákna).
2. Natáhněte startovací zařízení a připevněte k němu kluzák, zkontrolujte, zda je vlákno nataženo přes kladku.
3. Tlačítkem RESET vynulujte časovač, drátěnou spouští uvolněte kluzák a na časovači odečtěte časy průchodu kluzáku světelnými závorami. Měření proveďte alespoň 5x.
4. Na kluzák symetricky umístěte dvě závaží po 10 g a pokračujte v měření bodem 2 (naměřte takoto alespoň 5 měření se zvyšující se zátěží).
5. Pro každou setrvačnou hmotnost $(m_1 + m'_2)_i$ (kde $m'_2 = m_2 + 2,2 \text{ g}$ - započítání ekvivalentní hmotnosti kladky) vypočítejte z naměřených dat zrychlení kluzáku a_i , viz Teorie.
6. Pomocí těchto hodnot vypočítejte sílu urychlující kluzák a porovnejte ji se silou $T_1 = m_1 g$.
7. Zhotovte graf ve kterém porovnáte teoretický průběh zrychlení v závislosti na hmotnosti kluzáku $a = \frac{m_1 g}{m_1 + m'_2}$ s naměřenými zrychleními pro jednotlivé hmotnosti. $(m_1 + m'_2)_i$.

Zrychlení tělesa pro různé síly a konstantní hmotnost

Oproti předchozímu měření je rozdíl v tom, že celková hmotnost $(m_1 + m'_2)_i = konst.$

1. Nasadte jedno 10 g závaží na nástavec připevněný k vláknu a zjistěte celkovou hmotnost m_1 (urychlující závaží). Zjistěte hmotnost kluzáku m_2 (včetně všech komponent), na který symetricky umístíte 20 jednogramových závaží.
2. Natáhněte startovací zařízení a připevněte k němu kluzák, zkontrolujte, zda je vlákno nataženo přes kladku.
3. Tlačítkem RESET vynulujte časovač, drátěnou spouští uvolněte kluzák a na časovači odečtěte časy průchodu kluzáku světelnými závorami. Měření proveďte alespoň 5x.
4. Z kluzáku přendejte dvě jednogramová závaží (z každé strany jedno) na nástavec k urychlujícímu závaží a pokračujte v měření bodem 2.

5. Pro každou tíhu urychlujícího závaží $(m_1 g)_i$ vypočítejte z naměřených dat zrychlení kluzáku a_i , viz Teorie.
6. Pomocí těchto hodnot vypočítejte setrvačnou hmotnost $(m_1 + m'_2)_i$ a porovnejte ji se skutečnou hodnotou.
7. Zhotovte graf, ve kterém porovnáte teoretický průběh zrychlení v závislosti na tíze urychlujícího závaží $m_1 g$ $a = \frac{m_1 g}{m_1 + m'_2}$ s naměřenými zrychleními pro jednotlivé hodnoty $(m_1 g)_i$.

Zpracování naměřených hodnot

Maple - metoda čtverců pro výpočet zrychlení

- ```
> with(stats): # inicializace statistické knihovny
> dx := [0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4]; # nezávislá proměnná (čas)
> dy := [0, 0.05, 0.2, 0.4, 0.8]; # závislá proměnná (poloha světelných závor)
> # vypíše aproximační funkci zde, y=a*x^2+b*x+c
> fit[leastsquare][[x,y], y=a*x^2+b*x+c]([dx, dy]);
> a := coeff(apply(unapply(rhs(f),x), x) , x^2)*2; #zrychleni
```

Tabulka 1 - naměřené a vypočtené hodnoty

| l | t <sub>1</sub> [s]  | t <sub>2</sub> [s]  | t <sub>3</sub> [s]  | t <sub>4</sub> [s]  | a [m/s <sup>2</sup> ] | a' [m/s <sup>2</sup> ] |       | m <sub>1</sub> [g] | m <sub>2</sub> [g] | F [N]                                 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0,98                | 1,33                | 1,65                | 1,89                | 0,470                 | 0,481                  |       | 11                 | 211                | 0,1053                                |
| 2 | 1,01                | 1,38                | 1,71                | 1,97                | 0,432                 | 0,442                  |       | 11                 | 231                | 0,1054                                |
| 3 | 1,06                | 1,44                | 1,78                | 2,05                | 0,398                 | 0,408                  |       | 11                 | 251                | 0,1052                                |
| 4 | 1,09                | 1,49                | 1,85                | 2,13                | 0,369                 | 0,380                  |       | 11                 | 271                | 0,1047                                |
| 5 | 1,13                | 1,54                | 1,91                | 2,2                 | 0,343                 | 0,355                  |       | 11                 | 291                | 0,1043                                |
|   |                     |                     |                     |                     |                       |                        |       |                    |                    | 0,1050                                |
| l | t <sub>1</sub> [s]  | t <sub>2</sub> [s]  | t <sub>3</sub> [s]  | t <sub>4</sub> [s]  | a [m/s <sup>2</sup> ] | a' [m/s <sup>2</sup> ] | T [N] | m <sub>1</sub> [g] | m <sub>2</sub> [g] | m <sub>1</sub> + m' <sub>2</sub> [kg] |
| 1 | 1,02                | 1,38                | 1,72                | 1,98                | 0,427                 | 0,442                  | 0,108 | 11                 | 231                | 0,2530                                |
| 2 | 0,93                | 1,26                | 1,57                | 1,81                | 0,506                 | 0,522                  | 0,128 | 13                 | 229                | 0,2521                                |
| 3 | 0,86                | 1,17                | 1,46                | 1,68                | 0,587                 | 0,603                  | 0,147 | 15                 | 227                | 0,2506                                |
| 4 | 0,81                | 1,1                 | 1,37                | 1,57                | 0,668                 | 0,683                  | 0,167 | 17                 | 225                | 0,2496                                |
| 5 | 0,76                | 1,04                | 1,29                | 1,49                | 0,744                 | 0,763                  | 0,186 | 19                 | 223                | 0,2505                                |
|   |                     |                     |                     |                     |                       |                        |       |                    | 242                | 0,2512                                |
|   | s <sub>1</sub> [cm] | s <sub>2</sub> [cm] | s <sub>3</sub> [cm] | s <sub>4</sub> [cm] | s <sub>0</sub> [cm]   |                        |       |                    |                    |                                       |
|   | 41,4                | 59,5                | 81,3                | 101,6               | 20,6                  |                        |       |                    |                    |                                       |

Zrychlení  $a$  bylo určeno pomocí metody nejmenších čtverců (z časů  $t_i$  a drah  $s_i$ ).  
 Zrychlení  $a'$  bylo vypočteno podle vzorce (2). Dále:  $T = m_1 g$ ,  $F = a(m_1 + m'_2)$ ,

$$m_1 + m'_2 = \frac{m_1 g}{a} \quad \text{(viz Teorie)}$$

Grafy viz Příloha Graf 1 a Graf 2.

Z metody redukce dostáváme:

$$\bar{F} = (0,1050 \pm 0,0005) N \quad \text{(síla urychlující kluzák), teoretická hodnota } T = 0,108 N \text{ .}$$

$$m_1 + m'_2 = (0,251 \pm 0,001) kg \quad \text{(setrvačná hmotnost), teoretická hodnota } m_1 + m'_2 = 0,244 kg \text{ .}$$

## Seznam použitých přístrojů a pomůcek

Experimentální sestava (vzduchová dráha, kluzák, nit, závaží, světelné závory, vzduchový kompresor), startovací zařízení (chyba  $\pm 0,01 s$  ), váhy (  $\pm 1g$  )

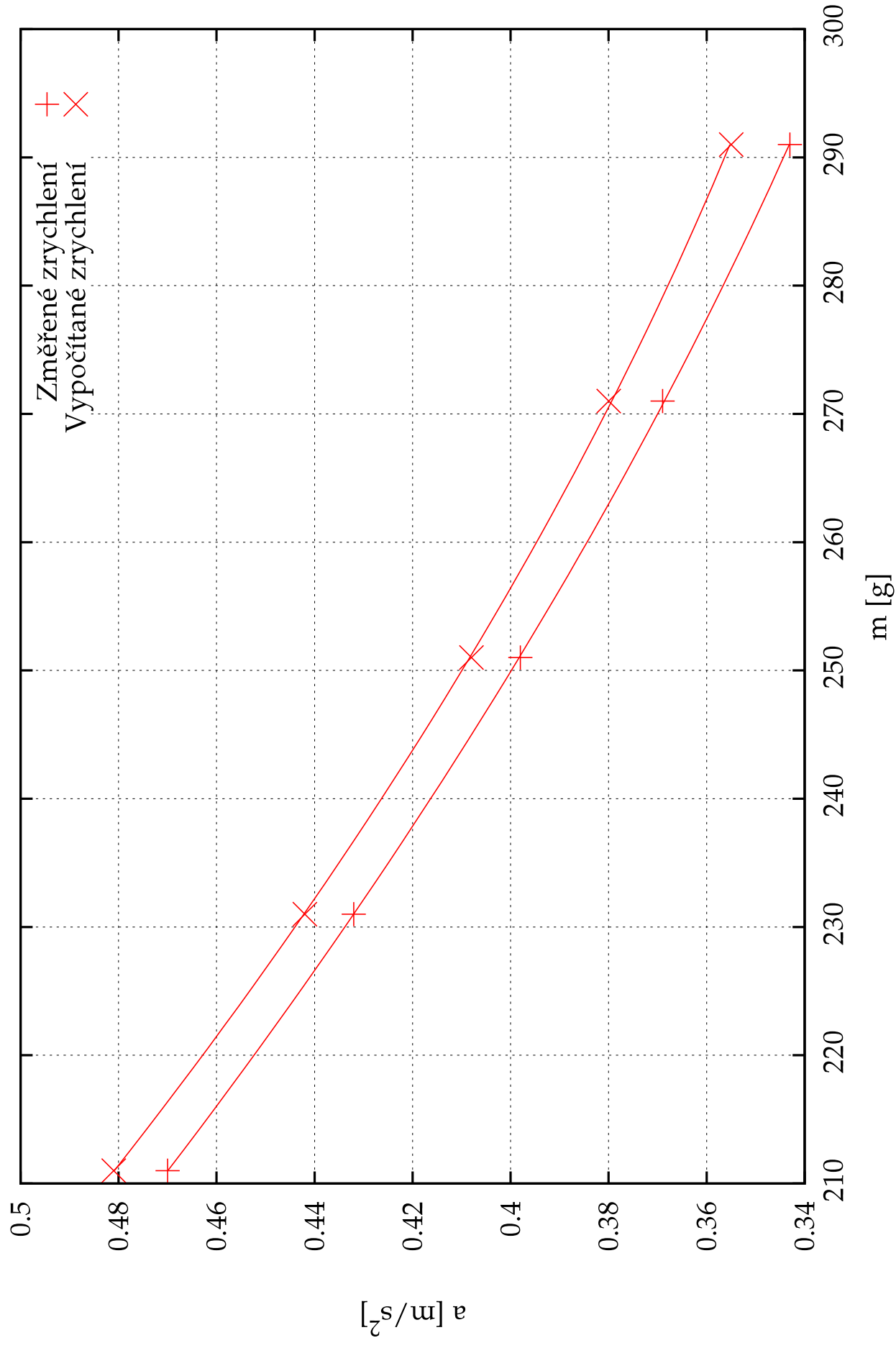
## Závěr a zhodnocení výsledků

Vypočítaná zrychlení se od teoretických odchylojí přibližně o  $\pm 0,01 m.s^2$  , což vzhledem k aproximaci a chybě přístrojů lze považovat myslím za uspokojivé.

Průběhy zrychlení v grafech mají v případě závislosti na tíze závaží předpokládaný lineární průběh (přímá úměrnost), v případě závislosti na hmotnosti kluzáku jde o část ramene hyperboly (nepřímá úměrnost), která sice není zcela zřetelná, ale mírné zakřivení pozorovatelné je.

Vypočítaná síla se od teoretické hodnoty liší o 0,003 N, což znamená odchylku přibližně 2,77%. Vypočítaná setrvačná hmotnost se od skutečné liší o 0,007kg, což znamená odchylku přibližně 2,86%.

Průběh zrychlení v závislosti na hmotnosti kluzáku



Průběh zrychlení v závislosti na tíze závaží

