

## 2. Newtonův pohybový zákon

Vojtěch Beneš

**Výstup RVP:** žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, určí v konkrétních situacích síly působící na těleso, určí výslednici sil, využívá Newtonovy pohybové zákony k předvídání pohybu těles

**Klíčová slova:** síla, hmotnost, zrychlení, Newtonovy zákony

**Laboratorní práce**  
Doba na přípravu:  
**5 min**  
Doba na provedení:  
**90 min**  
Obtížnost:  
**střední**

**Úkol** Experimentálně ověřte 2. Newtonův pohybový zákon:

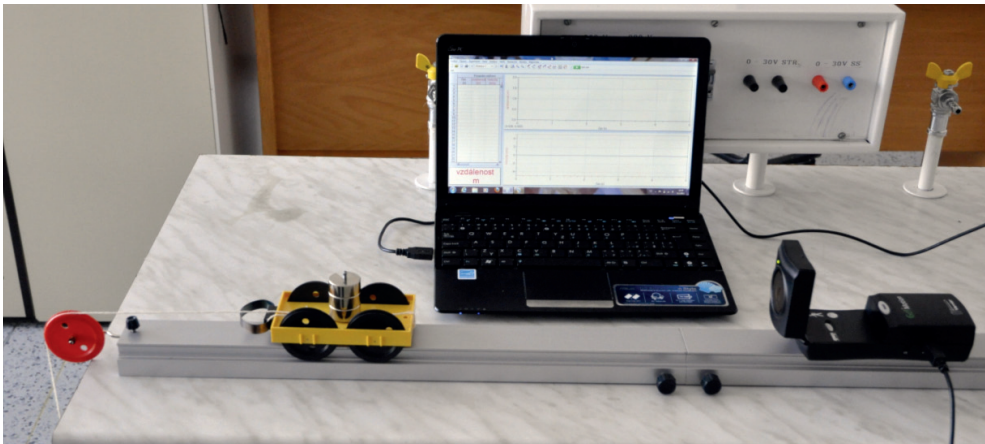
- 1) zjistěte, jak závisí zrychlení na hmotnosti,
- 2) zjistěte, jak závisí zrychlení na síle.

**Pomůcky** Mechanika – souprava pro studium pohybů, počítač s programem Logger Pro, sonar Go!Motion.

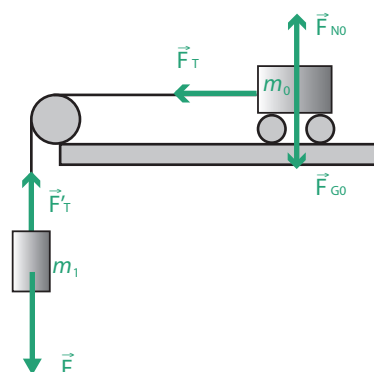
**Teoretický úvod** Druhý Newtonův zákon je důležitým přírodním zákonem. Udává vztah mezi vnějším silovým působením a pohybem (změnou rychlosti). Tento zákon můžeme aplikovat na každé těleso stálé hmotnosti, jehož rychlost je mnohem menší než rychlost světla.

V tomto praktiku budeme experimentálně zkoumat, jak spolu souvisí hmotnost  $M$ , síla  $F$  a zrychlení  $a$ .

Vozík o hmotnosti  $m_0$  se může volně pohybovat po vodorovné kolejnici. Přes kladku je spojen nití se závažím o hmotnosti  $m_1$ . Toto závaží se nesmí dotýkat země, musí stále viset. Celková hmotnost soustavy {vozík + závaží} je  $M = m_0 + m_1$ .

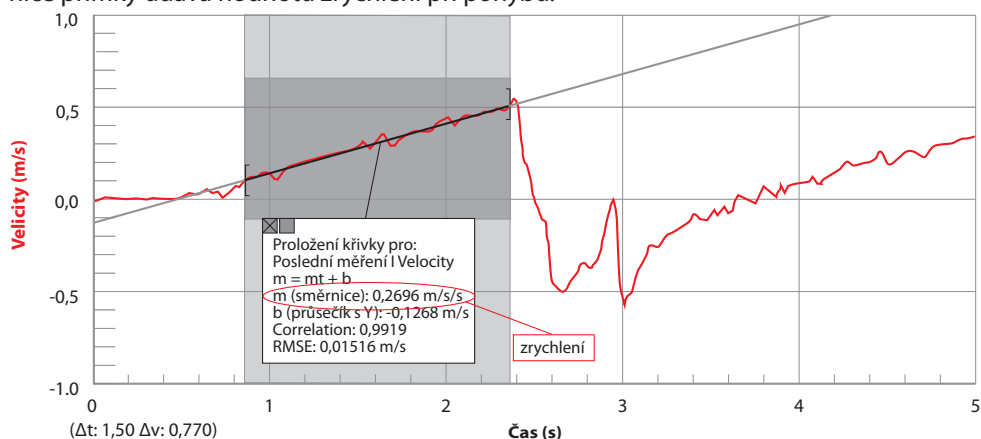


Je zřejmé, že jediná síla, která může uvést soustavu do pohybu, je tíha závaží  $\vec{F}$  ( $\vec{F}_T$  a  $\vec{F}_T'$  jsou vnitřní síly soustavy,  $\vec{F}_{GO}$  a  $\vec{F}_{NO}$  se navzájem vyruší). Sílu tedy určíme výpočtem, známe-li hmotnost závaží:  $F = m_1 \cdot g$ . Zrychlení vozíku je možné určit na základě měření polohy sonarem Go!Motion připojeným k počítači přes USB port. Sonar přepneme do režimu „vozíček“ a položíme na konec kolejnice. V programu Logger Pro nastavíme vzorkovací frekvenci 50 Hz, ostatní ponecháme. Měření zahájíme klikem na zelenou ikonu **Sběr dat**. Po vykreslení grafů (program automaticky vykresluje časové závislosti dráhy  $s = f(t)$  a rychlosti  $v = f(t)$ ) označíme část křivky, ve které rychlost rovnoměrně narůstá, a proložíme touto částí přímkou. Směr-



## 2. Newtonův pohybový zákon

nice přímky udává hodnotu zrychlení při pohybu.



**Vypracování** Vyhledejte definici pojmů *hmotnost*, *síla* a *zrychlení*.

**Experiment 1: Zrychlení v závislosti na hmotnosti**

Je třeba zajistit, aby se neměnila síla, proto necháme zavěšen jen prázdný háček, který bude mít stálou hmotnost  $m_1 = 10 \text{ g}$ .

$F = \dots\dots\dots$

Měníme hmotnost vozíku (prázdný vozík má hmotnost 55 g, naložíme na něj čtyři padesátigramová závaží) a měříme odpovídající zrychlení.

$m_0$ (g)	255	205	155	105	55
$M$ (kg)					
$a$ (m.s <sup>-2</sup> )					

- Jaký výsledek experimentu můžeme předpovědět podle 2. Newtonova zákona?
- V Excelu sestrojte graf závislosti zrychlení  $a$  na hmotnosti  $M$ .
- O jakou křivku se jedná? Jaké matematické funkci odpovídá?  
Najděte rovnici regrese této křivky.
- Rozhodněte, zda je váš výsledek v souladu s předpovědí v bodě a), a učiňte závěr.

**Experiment 2: Zrychlení v závislosti na síle**

Je třeba zajistit, aby hmotnost soustavy  $M$  zůstala konstantní. Proto přivažky, které sejme-me z visícího háčku, nebudeme odkládat, ale umístíme je na vozíček. Zvolíme  $m_0 = 205 \text{ g}$ .

$M = \dots\dots\dots$

Měníme sílu a měříme odpovídající zrychlení.

$m_1$ (g)	50	40	30	20	10
$F$ (N)					
$a$ (m.s <sup>-2</sup> )					

- Jaký výsledek experimentu můžeme předpovědět podle 2. Newtonova zákona?
- Sestrojte graf závislosti zrychlení  $a$  na síle  $F$ .
- O jakou křivku se jedná? Jaké matematické funkci odpovídá? Najděte rovnici regrese této křivky.
- Rozhodněte, zda je váš výsledek v souladu s předpovědí v bodě a), a učiňte závěr.

**Závěr** Podařilo se vám ověřit 2. Newtonův zákon?  
 Pokud ne, najděte příčiny chyb měření.

## 2. Newtonův pohybový zákon

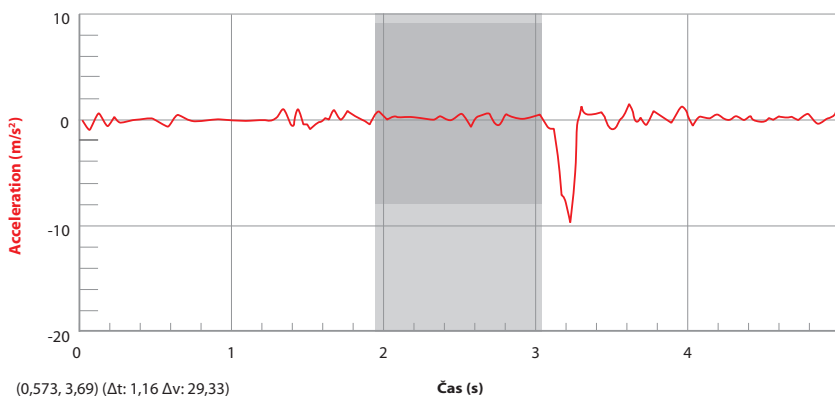
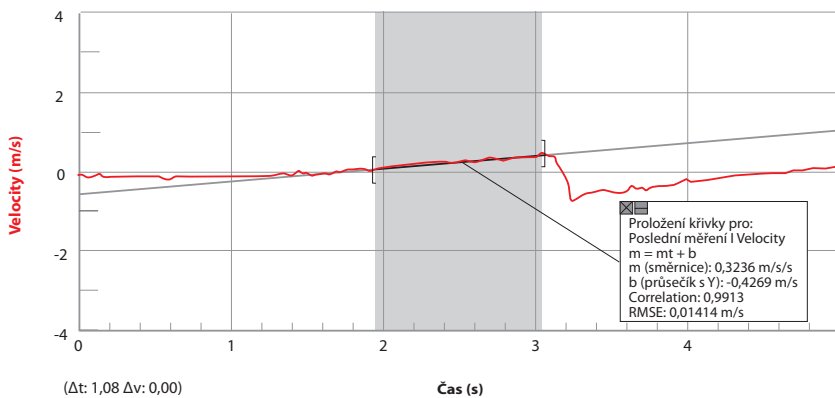
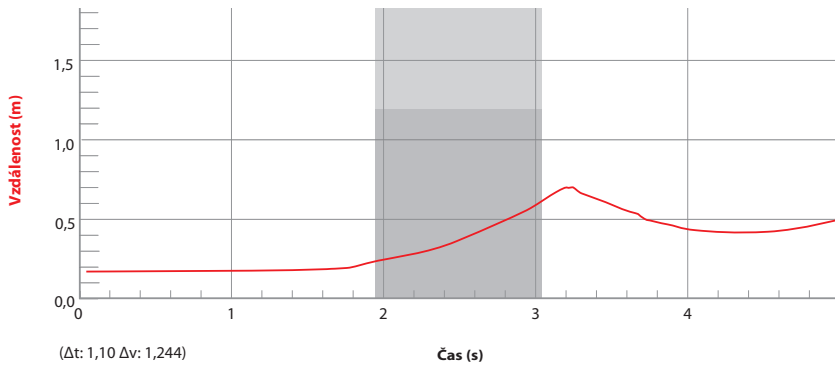
Vojtěch Beneš

Ke zdárnému provedení experimentu je třeba si ohlídat několik maličkostí:

- kolejnice musí být vodorovná,
- zkontrolovat, zda se kladka volně otáčí,
- použít ne příliš silný provázek, nejlépe režnou nit,
- vozík zepředu opatřit nárazníkem,
- dráha, na které vozík zrychluje, musí být alespoň 50 cm; čím delší, tím lépe,
- z dosahu sonaru odstranit předměty, které by mohly odrážet zvukové pulzy.

**Zpracování** Program automaticky vykresluje graf  $s = f(t)$  a  $v = f(t)$ . Graf zrychlení můžeme zobrazit pomocí menu **Vložit** → **Vložit graf**. Graf zrychlení je překrytý šumem, nemá pro měření vypovídací hodnotu.

Při označování vyberte dostatečně velkou oblast, kde dráha narůstá kvadraticky, rychlost lineárně. Zejména není vhodné přetáhnout do oblasti, kde je zrychlení záporné.



Při opakování měření se odchylky výsledného zrychlení pohybují kolem  $0,02 \text{ m/s}^2$ .

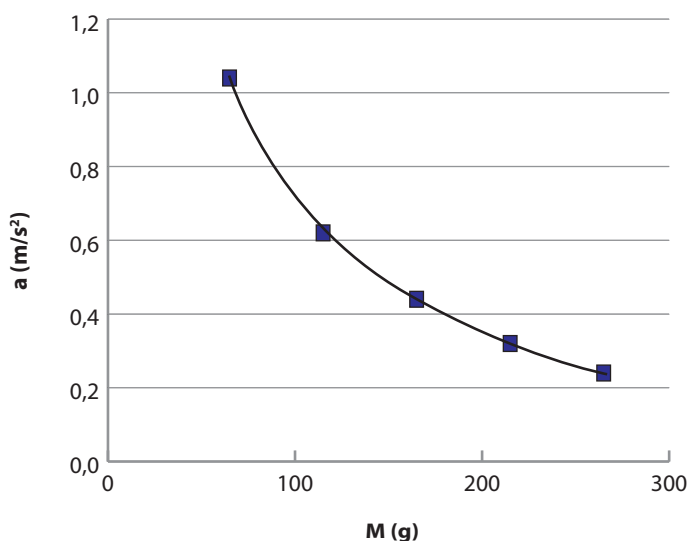
## 2. Newtonův pohybový zákon

úloha  
15Ukázka Experiment 1:  
výsledků

$$F = 98,1 \text{ mN}$$

$m$ (g)	$M$ (g)	$a$ (m/s <sup>2</sup> )
10	265	0,24
10	215	0,32
10	165	0,44
10	115	0,62
10	65	1,04

Graf závislosti zrychlení na hmotnosti



$$a = 78,9 \cdot M^{-1,028}$$

Z 2. NPZ plyne, že  $a = F/M$ .

Experiment dává pěknou hyperbolu, exponent  $-1,028$  u  $M$  je blízky očekávané hodnotě  $-1$ , takže se podařilo ověřit nepřímou úměrnost mezi  $a$  a  $M$ .

Koeficient 78,9 dává sílu v milinewtonech, očekáváme hodnotu 98 mN. Tato zhruba dvacetiprocentní odchylka je způsobena třením (kola o kolejnici, kola v ose, kladka v ose, deformace provázku) a odporem vzduchu. Výsledek můžeme interpretovat tak, že jsme vlastně zjistili velikost odporových sil.

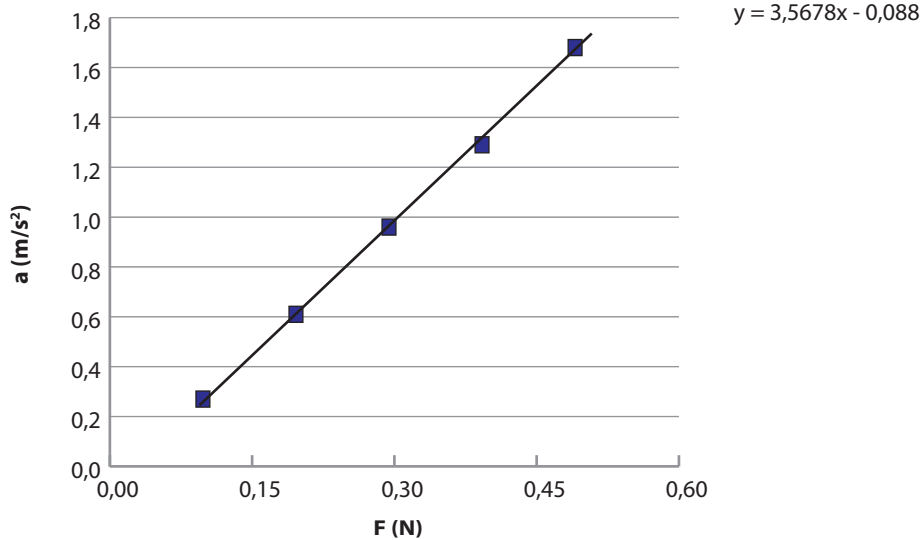
Zvýšením celkové síly (přidáním přivažků) zmenšíme vliv smykového tření, zvýší se odpor vzduchu a šum sonaru.

**Experiment 2:**

$M = 255 \text{ g}$

$m \text{ (g)}$	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$F \text{ (N)}$
50	1,68	0,4905
40	1,29	0,3924
30	0,96	0,2943
20	0,61	0,1962
10	0,27	0,0981

**Graf závislosti zrychlení na síle**



Newtonův zákon dává  $a = (1/M) \cdot F$ .

Přímá úměrnost se potvrzuje v grafu.

Konstanta  $3,57 \text{ kg}^{-1}$  je blízká hodnotě  $1/M = 3,92 \text{ kg}^{-1}$  s odchylkou 10 %.

Aditivní konstanta  $0,088 \text{ N/kg}$  zhruba odpovídá odporové síle (zjištěné v 1. experimentu) dělené hmotností ( $0,075 \text{ N/kg}$ ).

**Závěr** Podařilo se ověřit, že při konstantní síle je zrychlení nepřímo úměrné hmotnosti.

Podařilo se ověřit, že při konstantní hmotnosti je zrychlení přímo úměrné síle.

Můžeme uzavřít, že se podařilo 2. NPZ v této konkrétní situaci ověřit.