

ROVNOMĚRNĚ ZRYCHLENÝ POHYB

Pomůcky:

LabQuest, sonda čidlo polohy (sonar), nakloněná rovina, vozík, který se může po nakloněné rovině pohybovat

Postup:

Nakloněnou rovinu umístíme tak, aby svírala s vodorovnou položkou nenulový úhel. Hodnota tohoto úhlu by měla být taková, aby se vozík položený na nakloněnou rovinu samovolně rozjel, ale aby na případnou záračku na konci nakloněné roviny nenarazil příliš velkou rychlostí.

Čidlo polohy umístíme tak, aby směr, do kterého čidlo vysílá ultrazvukové vlny, byl rovnoběžný s nakloněnou rovinou (viz obr. 1 a obr. 2.). Spustíme LabQuest, připojíme čidlo polohy, vozík umístíme těsně k čidlu a zajistíme dočasně proti pohybu. Na hlavní obrazovce přístroje vybereme možnost *Režim*. Na obrazovce, která se otevře, rozbalíme možnost *Trigger* a zaškrtneme možnost *Povolit triggerování*. Tím se zpřístupní další volby. Vybereme přednastavenou možnost *Zahájit záznam dat, když je rostoucí* a do položky *přes* vyplníme pomocí klávesnice 0,05 nebo 0,1. Jednotka metr je zobrazena přístrojem. Stiskem tlačítka *OK* se vrátíme na hlavní obrazovku. Přístroj spustí měření, jakmile vozík bude v zadané vzdálenosti od čidla.



obr. 1



obr. 2

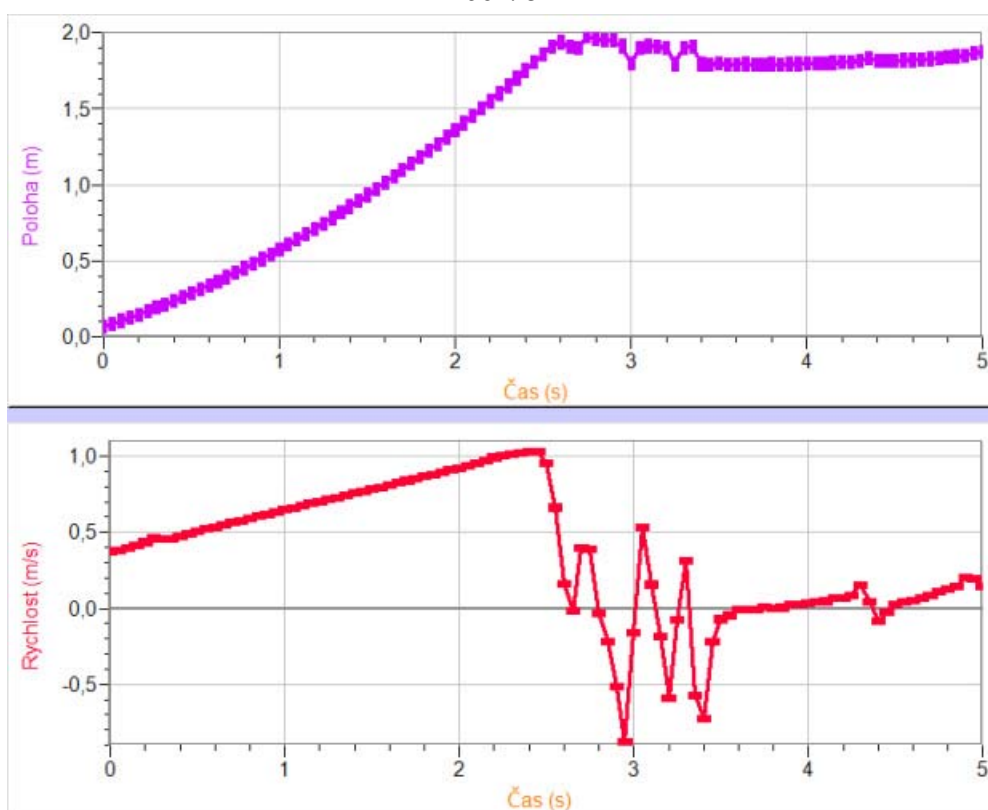
Spustíme standardním způsobem měření LabQuestu. Měření ovšem nezačne - přístroj čeká do té doby, dokud vzdálenost vozíku od čidla nedosáhne nastavené hodnoty: na obrazovce se objeví zpráva *Čekání na hodnotu triggeru větší než ...* Uvolníme tedy vozík (viz obr. 3) a po krátké chvíli LabQuest spustí měření.

Grafy zaznamenané při experimentu jsou zobrazeny na obr. 4. V zobrazených grafech si lze všimnout několika zajímavostí a fyzikálně je komentovat. První je zlom v grafu závislosti

velikosti rychlosti na čase v čase asi 0,22 s. Vzhledem k tomu, že startovací hodnota trigger byla při experimentu nastavena na 0,05 m mohla být tato hodnota pod rozlišovací schopnost čidla. A zlom v grafu rychlosti může odpovídat vzdálenosti, od které začalo čidlo měřit s větší přesností.



obr. 3



obr. 4

Další část grafů, která je zajímavá, je část po čase 2,5 s. V tomto čase vozík narazil na překážku na konci nakloněné roviny (viz obr. 1), odrazil se zpět, zastavil, znovu se rozjel a znovu narazil na koncovou zarážku nakloněné roviny. Tento pohyb se několikrát opakoval. Pro další analýzu tedy použijeme pouze část grafu, která odpovídá času od 0 s do 2,5 s.

Částečnou analýzu naměřených dat lze provést v programu LoggerLite, sofistikovanější analýzu lze provést pak s využitím plnohodnotného programu LoggerPro. V případě, že profesionální program LoggerPro není k dispozici, můžeme použít libovolný tabulkový editor nebo systém Mathematica.

Data získaná při reálném měření spolu s nalezenými aproximačními polynomy pro závislost dráhy na čase, pro závislost velikosti rychlosti na čase a pro závislost velikosti zrychlení na čase jsou zobrazena postupně v grafech na obr. 5, obr. 6 a obr. 7.

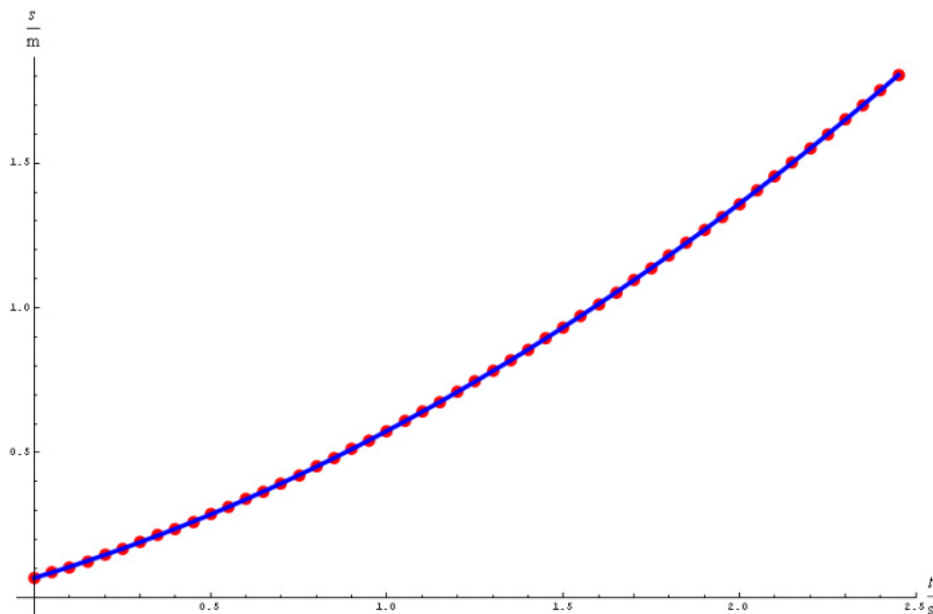
Kvadratická funkce, která popisuje v tomto případě graf závislosti dráhy na čase, je popsána rovnicí

$$s(t) = 0,14t^2 + 0,37t + 0,07 \quad (1)$$

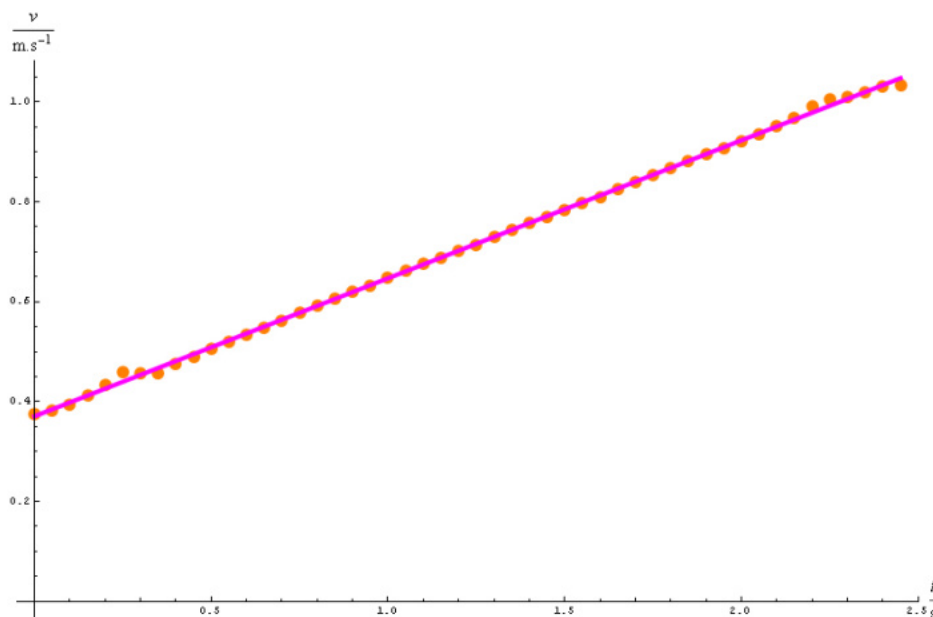
a lineární funkce popisující závislost velikosti rychlosti na čase je popsána rovnicí

$$v(t) = 0,28t + 0,37 \quad (2)$$

Hledat funkci popisující závislost velikosti zrychlení na čase nemá smysl. Data jsou, jak je vidět na obr. 7, natolik nepřesná, že není možné časový průběh velikosti zrychlení nahradit konstantní funkcí, jak by odpovídalo rovnoměrně zrychlenému pohybu. Příčinou nepřesných hodnot zrychlení v závislosti na čase jsou numerické metody, kterými je velikost zrychlení na základě změřené polohy přímo LabQuestem dopočítávána. Jistou chybou je zatížen již výpočet velikosti okamžité rychlosti a tato chyba při dalším výpočtu velikosti zrychlení narůstá. Přesto je na středním úseku sledovaného časového intervalu velikost zrychlení přibližně konstantní.



obr. 5

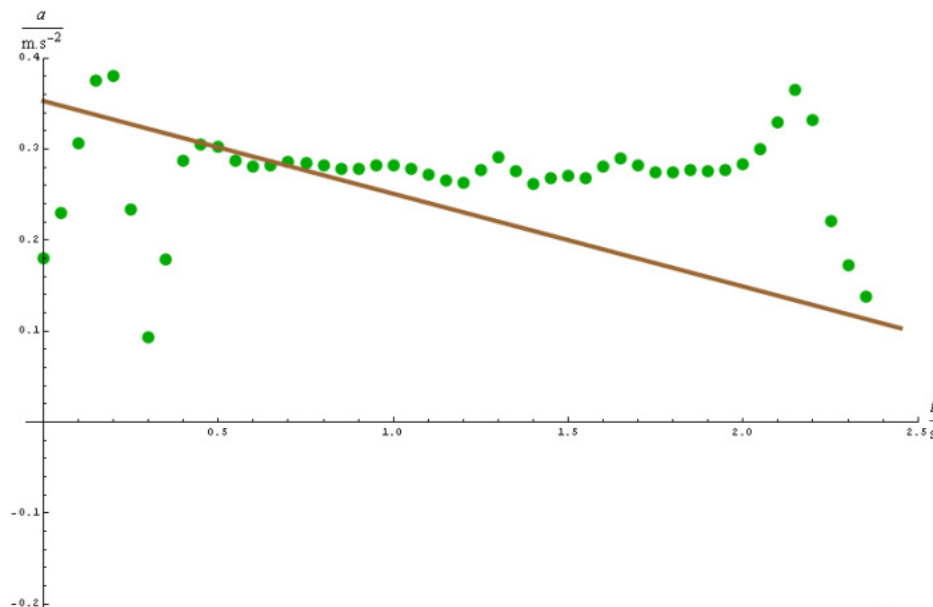


obr. 6

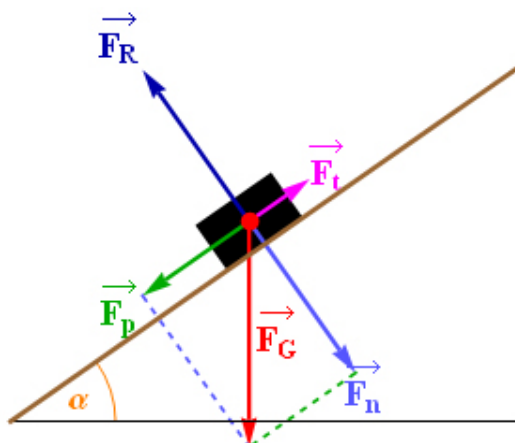
Teoretická závislost dráhy, kterou urazí těleso pohybující se rovnoměrně zrychleným pohybem, na čase je dána předpisem

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0, \quad (3)$$

kde a je velikost zrychlení, v_0 je velikost počáteční rychlosti a s_0 je počáteční úsek dráhy.



obr. 7



obr. 8

Kvadratickou funkcí (1), jejíž předpis lze nalézt pomocí software (LoggerPro, Mathematica, ...), lze srovnat s teoretickou závislostí (3). Tak zjistíme, že

$$a = 0,28 \text{ m.s}^{-2} \quad (4)$$

a

$$v_0 = 0,37 \text{ m.s}^{-1}. \quad (5)$$

Velikost rychlosti rovnoměrně zrychleného pohybu v závislosti na čase je popsána funkcí

$$v(t) = at + v_0. \quad (6)$$

Srovnáním teoretické závislosti (6) velikosti rychlosti na čase se závislostí (2) naměřenou při experimentu, zjistíme stejné hodnoty velikosti zrychlení a počáteční rychlosti jako na základě rozboru závislostí (1) a (3) pro dráhu (viz hodnoty (4) a (5)).

Velikost zrychlení pohybujícího se tělesa je možné najít i jiným způsobem: z bilance sil, které působí na těleso nacházející se na nakloněné rovině svírající s vodorovnou rovinou úhel

α . Na těleso působí tíhová síla Země \vec{F}_G , kterou lze rozložit na dvě složky: pohybovou složku \vec{F}_p , která způsobuje vlastní pohyb tělesa, a normálovou složku \vec{F}_n , na níž je závislá třecí síla \vec{F}_t (viz obr. 8). Sílou \vec{F}_R působí nakloněná rovina na těleso. Nebudeme-li tření mezi kolečkem vozíku nakloněnou podložkou uvažovat, pak můžeme psát

$$\vec{F} = \vec{F}_p. \quad (7)$$

Pro velikosti sil, které vystupují ve vztahu (7), můžeme psát $ma = mg \sin \alpha$, kde g je velikost tíhového zrychlení. Pro velikost zrychlení a tedy dostáváme

$$a = g \sin \alpha. \quad (8)$$

Změříme-li dráhu s , kterou vozík urazil (tj. délku nakloněné roviny), a vzdálenost h místa startu vozíku od vodorovné roviny, můžeme psát

$$\sin \alpha = \frac{h}{s} \quad (9)$$

a tedy s využitím vztahu (8) pro velikost zrychlení dostáváme

$$a = \frac{h}{s} g. \quad (10)$$

Velikost zrychlení určenou na základě vztahu (10) můžeme porovnat s velikostí zrychlení (4). Obě tyto hodnoty by měly být stejné.

Odkazy:

Součástí tohoto textu je [notebook](#) vytvořený v programovém systému *Mathematica*, který načítá naměřená data převedená do formátu tabulkového procesoru Excel.