Měření zrychlení volného pádu

Online: <http://www.sclpx.eu/lab1R.php?exp=10>

Pro tento experiment si nejprve musíme vyrobit hřeben se dvěma zuby, které budou mít stejnou šířku (např. 1 cm) a budou umístěny symetricky podle podélné osy tělesa hřebenu. Druhý zub by měl být od spodního konce ve větší vzdálenosti než první zub od horního konce, aby byl dolní konec těžší a hřeben držel po dobu volného pádu stabilitu.

**Úvod**

I v tomto z experimentu využijeme již nabytých znalostí z úlohy 1.1. Víme, že volný pád je rovnoměrně zrychlený pohyb, takže rychlost tělesa lineárně roste. Padá-li hřeben z libovolné výšky, můžeme ve dvou různých okamžicích zaznamenat monogatem průchod prvního a druhého zubu. Při stejné šířce zubů pak můžeme vypočítat hodnotu okamžité rychlosti každého zubu $v\_{1}$, resp. $v\_{2}$, z jednoduchého vztahu $v\_{n}=\frac{d}{t\_{n}}$, kde *d* je šířka zubu (v našem případě $d=1$ cm = 0,01 m), $t\_{n}$ je čas, za který $n-$tý zub projde monogatem. Tyto časy zjistíme pomocí FAE. Zrychlení potom určíme z jeho definice: $a=\frac{∆v}{∆t}$, kde $∆v=v\_{2}-v\_{1}$a $∆t$ určíme přímo v záznamu signálu pomocí FAE jako časový interval mezi prvním a druhým píkem, viz obr. 1.5.4. Jedná-li se o volný pád v homogenním gravitačním poli Země, měla by se hodnota zrychlení volného pádu blížit hodnotě tíhového zrychlení
$g=9,81 m∙s^{-2}$.

**Pomůcky:** monogate, papírový hřeben se dvěma zuby, stativový materiál

**Postup práce**

Uspořádání experimentu je patrné z obrázku 1.5.1. Pomocí stativového materiálu upevníme optickou bránu do vodorovné polohy tak, aby její výška nad pracovním stolem byla o několik centimetrů větší než délka papírového hřebenu.



Obr. 1.5.1 Uspořádání experimentu – Měření zrychlení volného pádu

 Záznam signálu ve FAE po průchodu hřebenu monogatem je na obr. 1.5.2. Pomocí myši provedeme výběr oblasti, která odpovídá průchodu prvního a druhého zubu monogatem, hodnoty zjistíme v okénku *Length*. Na obr. 1.5.3 je náhled zvětšené části signálu, přičemž modře je označen výběr obou zubů (zde pouze graficky, ve FAE musíme udělat postupně).



Obr. 1.5.2 Oscilogram experimentu – Měření zrychlení volného pádu – celkový náhled



Obr. 1.5.3 Oscilogram experimentu – Měření zrychlení volného pádu – výběr 1. a 2. Zubu



Obr. 1.5.4 Oscilogram experimentu – Měření zrychlení volného pádu – časový interval mezi
 1. a 2. zubem

Obrázek 1.5.4 zobrazuje výběr časového intervalu mezi průchodem prvního a druhého zubu optickou bránou. Výběr je kvůli přesnosti časového odečtu dobré provádět mezi nulovými body oscilogramu (tam, kde zelená křivka protíná pomyslnou osu *x*).

Získané hodnoty zapíšeme do tabulky a vypočítáme odpovídající okamžité rychlosti obou zubů a jejich rozdíl $∆v$. Pak pomocí FAE určíme ještě časový interval $∆t$ mezi průchodem prvního a druhého zubu monogatem, viz obr. 1.5.4. Z poměru $∆v$ a $∆t$ pak vypočítáme hodnotu zrychlení. Měření provedeme desetkrát. Námi naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1.5. Na závěr ještě v programu MS Excel určíme nejistoty měření jednotlivých měřených i počítaných veličin a vytvoříme graf zjištěných hodnot zrychlení, který doplníme o chybové úsečky se standardní chybou a regresní analýzu (Přidat spojnici trendu). Graf vytvořený na základě tabulky 1.5 je na obrázku 1.5.5.

**Tabulka 1.5** Měření zrychlení volného pádu

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t*1 (s) | *t*2 (s) | *v*1 ($m∙s^{-1}$) | *v*2 ($m∙s^{-1}$) | Δ*v* ($m∙s^{-1}$) | Δ*t* (s) | *g* ($m∙s^{-2}$) |
| 0,008  | 0,005 | 1,250  | 2,000  | 0,75  | 0,072  | 10,4 |
| 0,008  | 0,005  | 1,250  | 2,000  | 0,75  | 0,071  | 10,6 |
| 0,007  | 0,005  | 1,429  | 2,000  | 0,57  | 0,069  | 8,3  |
| 0,007  | 0,005  | 1,429  | 2,000  | 0,57  | 0,069  | 8,3  |
| 0,007  | 0,005  | 1,429  | 2,000  | 0,57  | 0,069  | 8,3  |
| 0,008 | 0,005 | 1,250 | 2,000 | 0,75 | 0,068 | 11,0 |
| 0,008 | 0,005 | 1,250 | 2,000 | 0,75 | 0,069 | 10,9 |
| 0,008 | 0,005 | 1,250 | 2,000 | 0,75 | 0,069 | 10,9 |
| 0,008 | 0,005 | 1,250 | 2,000 | 0,75 | 0,068 | 11,0 |
| 0,007 | 0,005 | 1,429 | 2,000 | 0,57 | 0,067 | 8,5 |

Hodnoty $t\_{1}$ a $t\_{2}$ určujeme ve FAE na tři desetinná místa. Považujeme-li pro jednoduchost šířku zubů za absolutně přesnou, mají okamžité rychlosti stejnou relativní i absolutní nejistotu měření jako časy $t\_{1}$ a $t\_{2}$. Proto hodnoty $v\_{1}$ a $v\_{2}$zaokrouhlíme také na tři desetinná místa. Provedeme-li v programu MS Excel statistickou analýzu dat (Data ⭢ Analýza dat ⭢ Popisná statistika) z tabulky 1.5, zjistíme, že nejistota střední hodnoty po zaokrouhlení na jednu platnou číslici činí 0,03 $m∙s^{-1}$ a hodnoty $∆v$ v pátém sloupci tabulky 1.5 tedy zaokrouhlíme na dvě desetinná místa. Absolutní nejistotu měření pro zrychlení *g* potom určíme podle vztahu (1.1.1) jako: $∆g=9,815∙\left(\frac{0,03}{0,68}+\frac{0,001}{0,069}\right)≐0,6$ $m∙s^{-2}$. Hodnoty zrychlení v posledním sloupci tabulky 1.5 tedy zaokrouhlíme na jedno desetinné místo a stejně tak průměrnou hodnotu zrychlení vypočítanou z jednotlivých hodnot.

Obr. 1.5.5 Graf hodnot zrychlení podle tabulky 1.5 – Měření gravitačního zrychlení na povrchu Země

**Závěr**

Hodnota tíhového zrychlení naměřená na povrchu Země má velikost
$g=\left(9,8\pm 0,6\right)$ $m∙s^{-2}$. Relativní nejistota měření je $δg=\frac{0,6}{9,8}≐0,06122≐6 \%$.

Lineární regresní funkce (její konstantní část), která je na grafu 1.1.5 vyznačena červenou barvou, poskytuje hodnotu zrychlení $g≐9,491 m∙s^{-2}≐9,5 m∙s^{-2}$. Nalezená hodnota je v dobré shodě s tabulkovou hodnotou tíhového zrychlení $g=9,81 m∙s^{-2}$.

**Otázky na závěr**

1. Vypočítejte, jakou hodnotu gravitačního zrychlení bychom měli naměřit na Sněžce
(*h* = 1662 m). Pozorovali bychom nějaký významný rozdíl v rámci nejistoty měření?

2. V jaké minimální výšce bychom museli provést měření, abychom naměřili významně jinou hodnotu (lišící se minimálně o 20 %)?