

## 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.

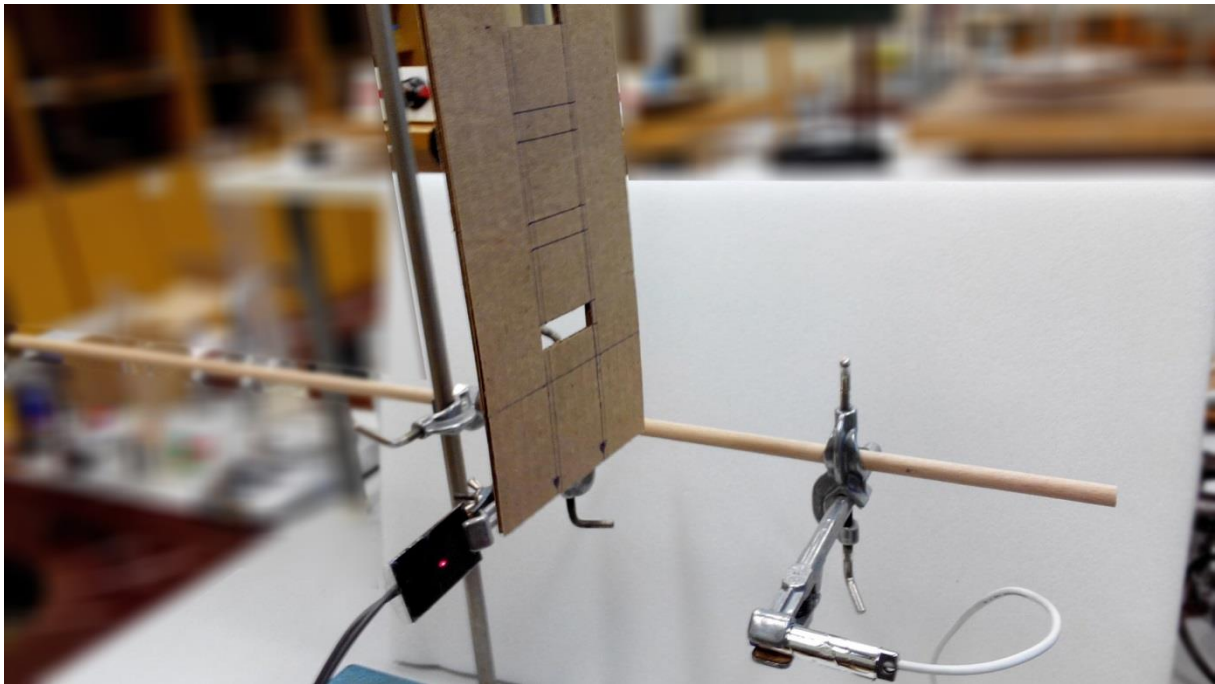
### Úvod

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  $d = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$ ),  $t_n$  je čas, za který  $n$ -tý zub projde monogatem. Tyto časy zjistíme pomocí FAE. Zrychlení potom určíme z jeho definice:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , kde  $\Delta v = v_2 - v_1$  a  $\Delta t$  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  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

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

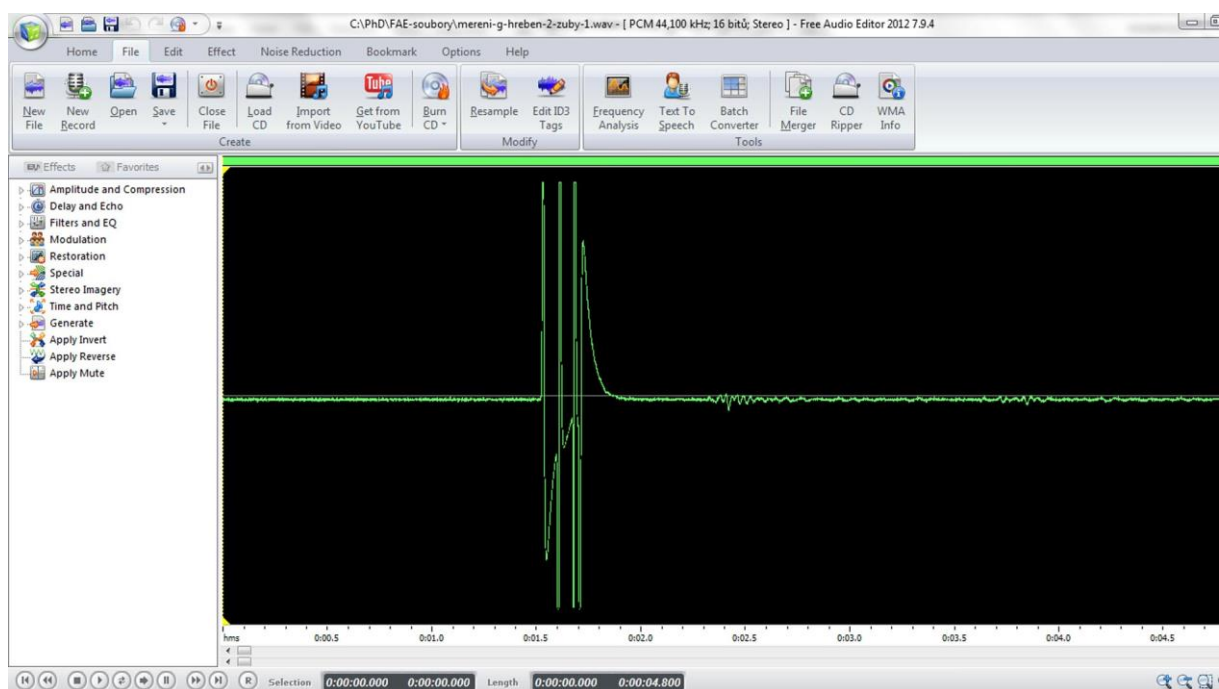
### Postup práce

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.

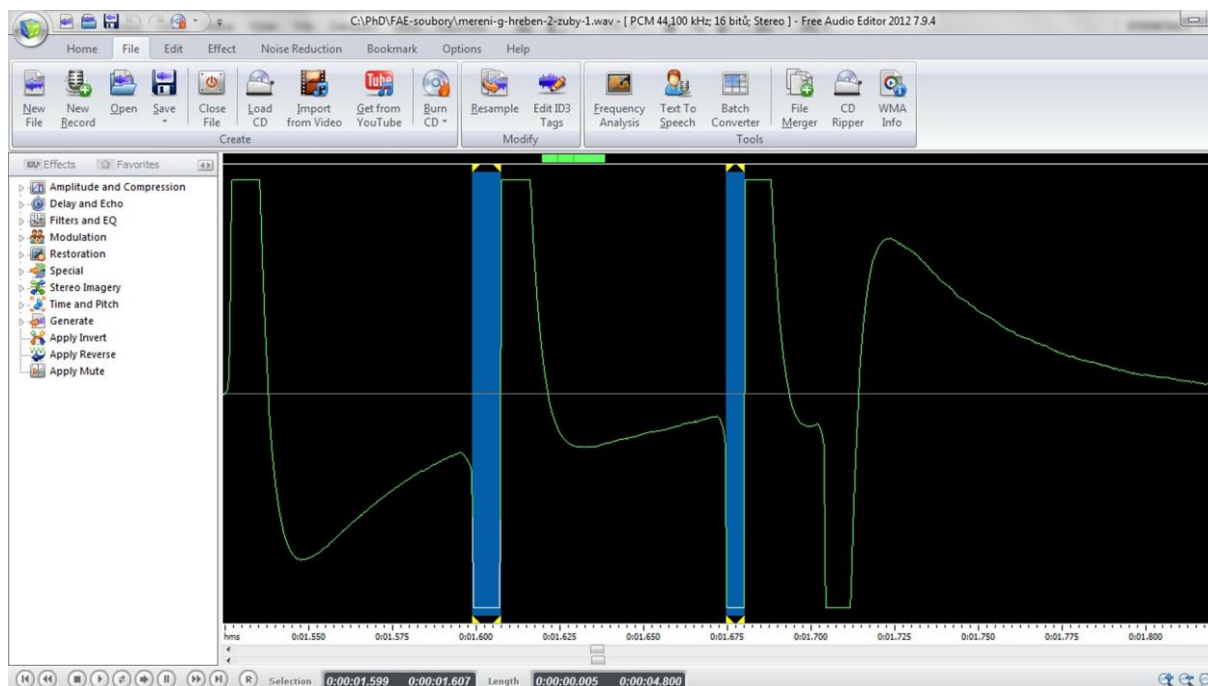


Obr. 1.5.1 Uspořádání experimentu – Měření zrychlení volného pádu

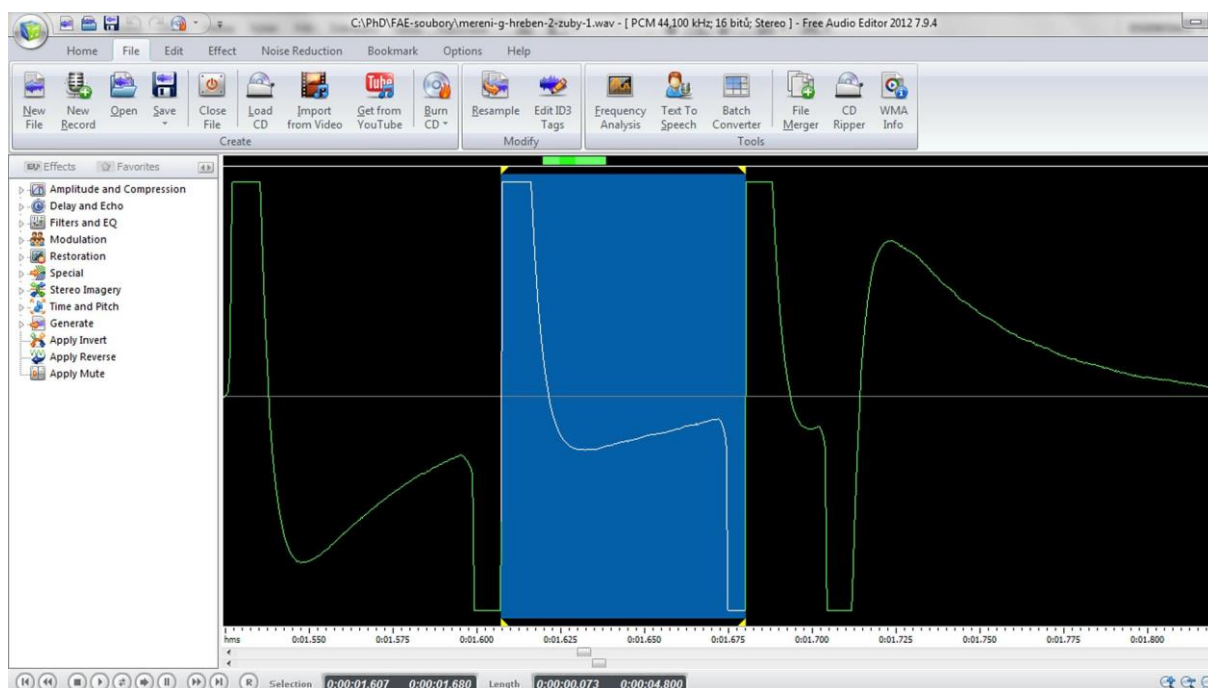
Záznam signálu ve FAE po průchodu hřebenu monogatem je na obr. 1.5.2. Pomocí myši provedeme výběr oblasti, která odpovídá průchodu prvního a druhého zubu monogatem, hodnoty zjistíme v okénku *Length*. Na obr. 1.5.3 je náhled zvětšené části signálu, přičemž modře je označen výběr obou zubů (zde pouze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



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



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



Obr. 1.5.4 Oscillogram 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  $x$ ).

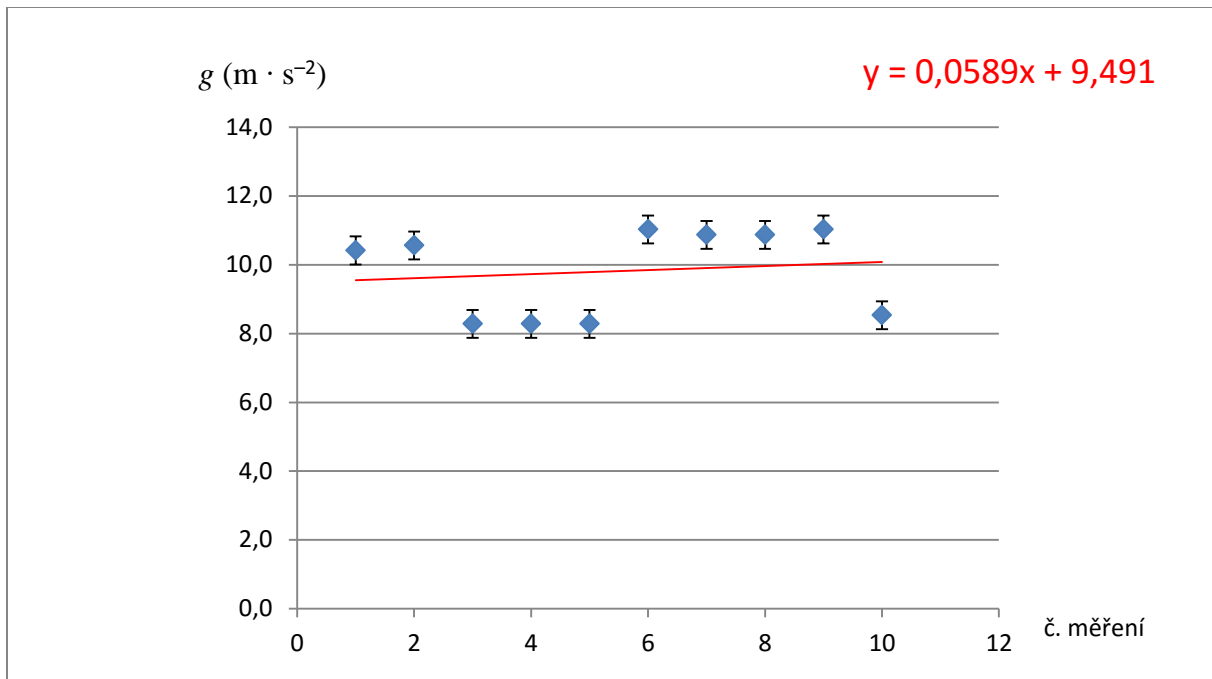
Získané hodnoty zapíšeme do tabulky a vypočítáme odpovídající okamžité rychlosti obou zubů a jejich rozdíl  $\Delta v$ . Pak pomocí FAE určíme ještě časový interval  $\Delta t$  mezi průchodem prvního a druhého zubu monogatem, viz obr. 1.5.4. Z poměru  $\Delta v$  a  $\Delta t$  pak vypočítáme hodnotu 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)	$v_1$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$v_2$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\Delta v$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\Delta t$ (s)	$g$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )
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  $0,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a hodnoty  $\Delta v$  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:  $\Delta g = 9,815 \cdot \left( \frac{0,03}{0,68} + \frac{0,001}{0,069} \right) \doteq 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Hodnoty zrychlení v posledním

sloupce 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  $g = (9,8 \pm 0,6) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Relativní nejistota měření je  $\delta g = \frac{0,6}{9,8} \doteq 0,06122 \doteq 6 \%$ .

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

### Otázky na závěr

1. Vypočítejte, jakou hodnotu gravitačního zrychlení bychom měli naměřit na Sněžce ( $h = 1662 \text{ m}$ ). 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 %)?