

## Odstředivé a dostředivé zrychlení

Materiál vznikl v rámci projektu Gymnázia Cheb s názvem Příprava na Turnaj mladých fyziků.  
Dostupné ze Školského portálu Karlovarského kraje [www.kvkskoly.cz](http://www.kvkskoly.cz).

Autorský tým: Pavel Böhms, Hana Böhmová, Filip Danko, Lucie Filipenská, Petr Kácovský, Věra Koudelková,  
Daniel Novopacký, Ilona Šimánková, Martin Vlach. Děkujeme i všem ostatním lidem, kteří přispěli k tvorbě materiálů.  
Pro případ dalších námětů, komentářů, nalezených chyb a podobně využijte e-mailovou adresu [pavel.bohm@mff.cuni.cz](mailto:pavel.bohm@mff.cuni.cz)

### VIDEO

<http://www.vernier.cz/video/odstredive-zrychleni>

### ZÁMĚR ÚLOHY

Cílem tohoto experimentu je porovnat měřené zrychlení při konkrétní frekvenci a poloměru otáčení s teoretickou hodnotou.

Aktivita je vymyšlena tak, aby byla velmi jednoduchá a názorná na provedení i za cenu o něco nižší přesnosti.

S vybranými žáky lze provést úlohu s vyšší přesností ve fyzikálně i matematicky náročnějším provedení.

### POMŮCKY

- datalogger [Vernier LabQuest 2](#)
- software [LabQuest Viewer](#)

### TEORETICKÝ ÚVOD

Akcelerometr zabudovaný v LabQuestu 2 „cítí“ stejné zrychlení jako samotný přístroj.

Při vhodném natočení přístroje během rotačního pohybu tedy budeme v příslušné ose měřit odstředivé zrychlení. Jedná se o takové natočení, kdy příslušná osa je kolmá na tíhové zrychlení a má radiální směr vzhledem k otáčivému pohybu. V tom případě je průmět tíhového zrychlení do příslušné osy nulový a veškeré měřené zrychlení bude odpovídat odstředivému zrychlení.

Velikost odstředivého zrychlení je stejná jako dostředivé zrychlení, jež uděluje naše ruka LabQuestu, aby se otáčel kolem dokola.

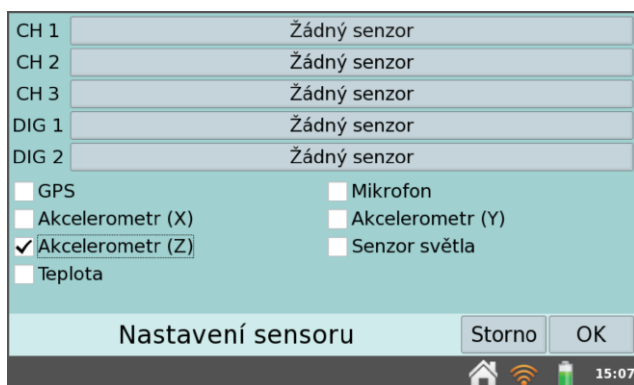
Pro velikost odstředivého/dostředivého zrychlení platí:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}\right)^2}{r} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot r$$

## ÚKOLY

### Příprava

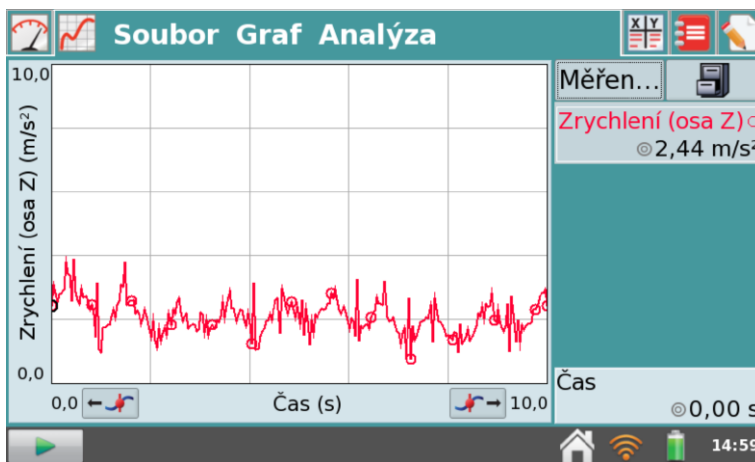
1. Připojte LabQuest přes WiFi k aplikaci LabQuest Viewer
2. Zapněte v LabQuestu 2 osu Z interního akcelerometru – v záložce s okamžitými hodnotami veličin zvolte v menu Senzory → Nastavit senzory...  
(Lze zapnout i jinou osu podle zamýšlené polohy LabQuestu při rotačním pohybu).



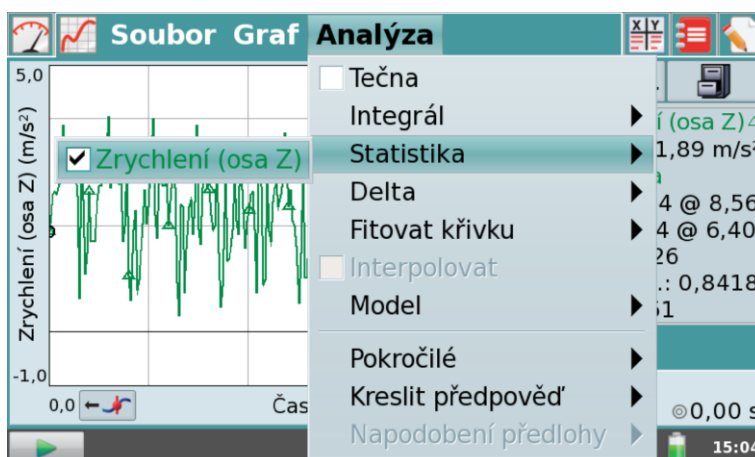
3. Položte LabQuest hranou na stůl tak, aby v ose Z (kolmo na rovinu displeje) nepůsobilo tíhové zrychlení. V této poloze akcelerometr vynulujte kliknutím na okamžitou hodnotu a výběrem „vynulovat“.
4. Vyzkoušejte si, že podle natočení LabQuestu jsou vždy ve dvou směrech kolmých na tíhové zrychlení prakticky nulové hodnoty a ve třetím směru je cca  $10 \text{ m/s}^2$ . Otočte postupně LabQuest do všech tří vzájemně kolmých poloh.
5. Nastavte délku měření na 10 sekund a frekvenci 25 Hz.
6. Vyberte dobrovolníka, který bude s LabQuestem otáčet kolem dokola. V prostoru pro otáčení je potřeba **zajistit dostatek volného prostoru**, aby se dobrovolník mohl volně pohybovat s rukama nataženými před sebe a neublížil si při tom. **Pozor na to, že se při tomto experimentu může zatočit hlava!**

### Provedení

1. Dobrovolník LabQuest uchopí oběma rukama a ty buď natáhne, nebo pokrčí, případně si může vypomoci nějakou prodlužovací pomůckou (jak je ukázáno na videu).
2. Změřte vzdálenost od předpokládané osy otáčení k LabQuestu. Očekávaná neurčitost měření je cca 10 cm – „lidské měřidlo“ je v tomto ohledu méně přesné, ale je to vyváženo jednoduchostí a zábavností experimentu.
3. Dobrovolník se začne pomalu nebo rychle (ale rovnoměrně) otáčet kolem dokola.
4. Na dálku přes aplikaci LabQuest Viewer spusťte měření. Od této chvíle běží deset sekund, během kterých ostatní žáci ve třídě počítají otáčky, aby poté mohla být vypočítána frekvence otáčení. Může vyjít například hodnota 2,5 otáčky za 10 sekund.
5. Typický graf nebývá u tohoto experimentu příliš rovný, protože při držení LabQuestu v ruce dochází k drobným náklonům a otřesům:



6. Pro každé měření určete průměrnou hodnotu naměřeného zrychlení pomocí nástroje Statistika v menu Analýza.



7. Průměrnou hodnotu zrychlení během otáčení si zapište spolu s poloměrem a frekvencí otáčení.
8. Pro každé měření vypočítejte teoretickou hodnotu odstředivého/dostředivého zrychlení a porovnejte s naměřenou hodnotou.

## POZNÁMKY PRO UČITELE

### Zpracování

Při otáčení je potřeba LabQuest co nejpečlivěji držet ve správné poloze a nenaklánět, aby se do osy Z nepromítalo tíhové zrychlení.

### LabQuest Viewer

Pokud aplikaci LabQuest Viewer nemáte, může měření spouštět osoba, která se s LabQuestem otáčí (jak je ukázáno na videu).

V takovém případě doporučujeme provést první otáčku bez měření a spustit teprve v průběhu rovnoměrného otáčení. Tento způsob je vždy o něco méně přesný než spouštění na dálku pomocí LabQuest Vieweru. Otáčející se osoba při spouštění experimentu vždy vnáší do pohybu další nerovnoměrnosti navíc.

### Ukázky výsledků

V tabulce jsou zachyceny výsledky šesti experimentů s různými frekvencemi otáčení (pomalu a rychle) a různými poloměry – 0,3 m odpovídá ruce pokrčené v lokti, 0,6 m natažené ruce a 1,0 m je případ, kdy byl LabQuest položený na vzdáleném konci krabice, kterou experimentátor držel v rukou za bližší konec.

Měřené a teoretické hodnoty spolu velice dobře korespondují a demonstrují, jak závisí dostředivé/odstředivé zrychlení na poloměru a na frekvenci otáčení.

číslo měření	1	2	3	4	5	6
počet otáček za 10 s	5,0	8,5	4,5	8,5	3,0	6,0
frekvence (Hz)	0,50	0,85	0,45	0,85	0,30	0,60
poloměr (m)	0,3	0,3	0,6	0,6	1,0	1,0
měřené zrychlení ( $m/s^2$ )	3,3	8,0	5,0	15,0	2,8	14,4
teoretické zrychlení ( $m/s^2$ )	3,0	8,5	4,8	17,1	3,5	14,2

### Odstředivé zrychlení vs. odstředivá síla

Podle Newtonova zákona je síla součinem hmotnosti a zrychlení:  $F = m \cdot a$ . Můžete tedy s žáky rozebrat, jak se liší síla, kterou se v zatáčce „nalepí na okno“ těžký člověk a lehký člověk; nebo síla, kterou se musí držet tyče v autobusu tito dva lidé při průjezdu zatáčkou.

### Zpřesnění měření

V praxi je nemožné při držení v ruce a otáčivém pohybu dosáhnout toho, abychom LabQuest po celou dobu drželi kolmo k zemi. Přístroj se v ruce drobně chvěje a natáčí, proto se do dané osy promítá částečně i tíhové zrychlení. To pak vede k tomu, že hodnoty jsou i při poměrně rovnoměrném otáčivém pohybu rozkolísané.

Pokud se nespokojíme s tím, že hodnoty prostě zprůměrujeme a příspěvek tíhového zrychlení zanedbáme, můžeme postupovat o něco sofistikovanějším způsobem.

Zrychlení je vektorová veličina. Má tři složky a pro celkovou velikost platí třírozměrná

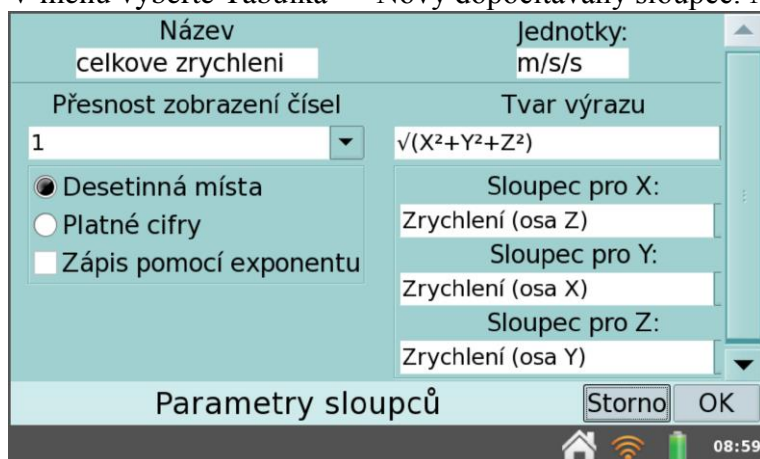
obdoba Pythagorovy věty:  $a = |\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ .

Při rovnoměrném otáčivém pohybu se celkové zrychlení skládá ze dvou kolmých složek: dostředivé zrychlení + tíhové zrychlení. Protože je tíhové zrychlení konstantní, lze snadno dopočítat z naměřeného celkového zrychlení část, která odpovídá dostředivému zrychlení při otáčivém pohybu.

Pro zpřesnění měření je tedy potřeba zapnout všechny tři osy akcelerometru...



... a poté přepnout v LabQuestu do záložky s tabulkou hodnot a vytvořit novou veličinu „Celkové zrychlení“, která se bude dopočítávat ze tří navzájem kolmých složek zrychlení. V menu vyberte Tabulka → Nový dopočítávaný sloupec. Na obrázku je ukázka nastavení.



Mezi celkovým zrychlením  $a_{\text{celk}}$ , tíhovým zrychlením s hodnotou 9,81 a odstředivým/dostředivým zrychlením  $a$  platí pak tento vztah:

$$a = \sqrt{a_{\text{celk}}^2 - 9,81^2}$$

Nedoporučuji toto náročnější rozšíření dělat se studenty, kteří nedokáží na dané vztahy přijít víceméně sami (s pomocí učitele). Domnívám se, že bychom jim prostým sdělením výše uvedeného vše jenom zamlžili a že plně postačí provést s nimi aktivitu v jednodušší (a méně přesné) variantě.