

# System pre dostredivú silu

(Kód CFA)

System pre dostredivú silu (CFA) uľahčuje štúdium otáčavého pohybu. Umožňuje študentom jednoducho a presne sledovať vzťahy medzi dostredivou silou, tangenciálnou rýchlosťou (alebo uhlovou rýchlosťou), polomerom a hmotnosťou.

Tradičná metóda, napríklad otáčanie gumenej zátky v horizontálnej rovine je poučná v tom zmysle, že študentom dáva s uvedenými vzťahmi pohybovú

skúsenosť. Môžu napríklad cítiť zmenu sily pri zmene polomeru. CFA umožňuje študentom robiť priame merania premenných veličín a získavať tak výborné kvantitatívne dáta.

Študenti môžu s týmto systémom študovať vzťahy medzi

- Dostredivou silou a hmotnosťou zrýchľujúceho sa telesa
- Dostredivou silou a polomerom dráhy pohybu
- Dostredivou silou a tangenciálnou rýchlosťou zrýchľujúceho sa telesa
- Dostredivou silou a uhlovou rýchlosťou zrýchľujúceho sa telesa
- Uhlovým zrýchlením, momentom sily a momentom zotrvačnosti

## Čo obsahuje balenie systému pre dostredivú silu?

- Pravouhlý rám
- Podporné nožičky (2)
- Otáčavú zostavu, ktorá pozostáva z osi otáčania, disku dekodovania, 3-stupňovej kladky, otáčavého nosníka a telesa ložiska
- Posuvný vozík na testované závažia
- Vozík protizávažia na vyváženie otáčavého nosníka
- Otočnú zostavu (obrtlík), ktorou sa pripája posuvný vozík k dvojrozsahovému senzoru sily
- Kladku z nízkym trením
- Svorku kladky s nízkym trením (predinštalovanú na zostave systému)
- Svorku upevnenia fotobrány so skrutkou 1/4 x 20 (predinštalovanú na zostave systému)
- Svorku dvojrozsahového senzora sily (predinštalovanú na zostave systému)
- 100 gramové závažia (6)
- Háčik (na upevnenie bezdrôtového dynamického sensorového systému (WDSS) na posuvný vozík)
- Skrutku upevnenia WDSS a T drážku na zabezpečenie WDSS

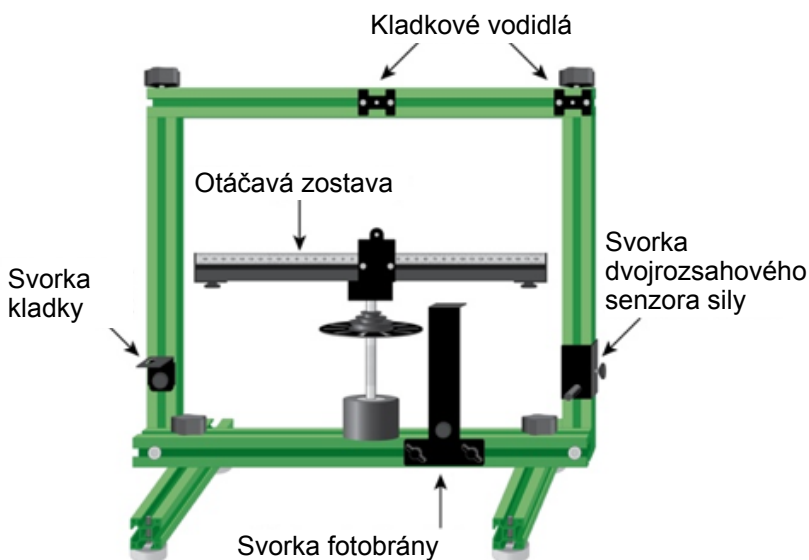




## Bližší popis súčastí

### Pravouhlý rám

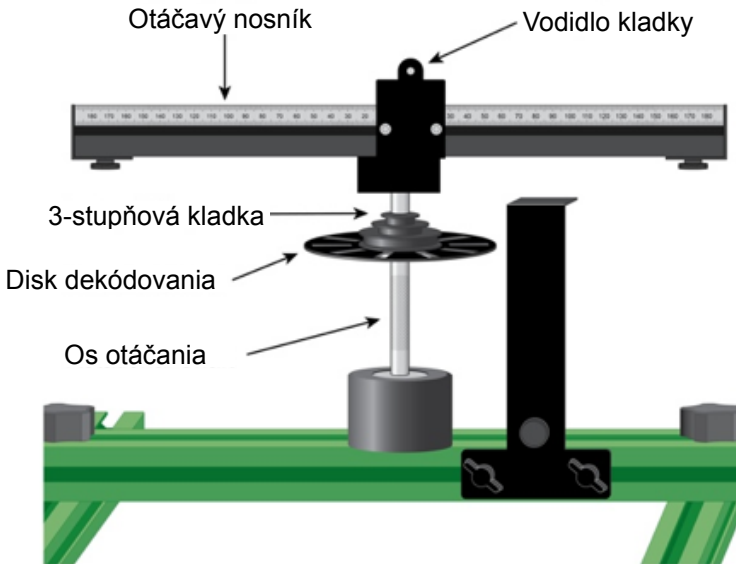
Nosný rám otáčavej zostavy a upevnenia rozličných senzorov. Dve kladkové vodidlá, ktoré sú hore na ráme, umožňujú spojiť dvojrozsahový senzor sily s vozíkom, ktorý sa posúva po otáčavom nosníku.



## Otáčavá zostava

Otáčavá zostava pozostáva z otáčavého nosníka, osi otáčania, telesa ložiska, disku dekódovania a 3-stupňovej kladky. Na otáčavom nosníku sú vozíky. Na 3-stupňovú kladku sa dá upevniť lanko a vyvinúť ním na os otáčania moment sily.

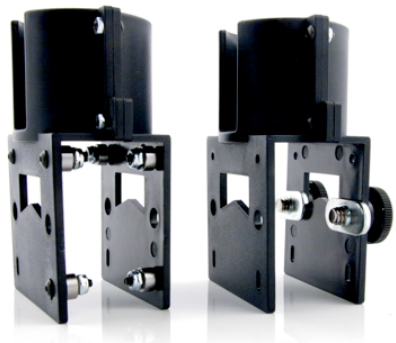
V strede otáčavého nosníka je kladkové vodidlo. Lanko od dvojrozsahového senzora sily vedené cez toto vodidlo sa dá upevniť na posuvný vozík.



## Vozíky

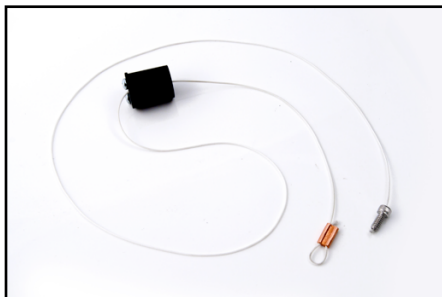
Počas zberu dát sa na otáčavom nosníku pohybujú dva vozíky. Posuvný vozík (vyobrazovaný vľavo) má ložiská s nízkym trením, ktoré umožňujú počas experimentu jeho posúvanie po nosníku.

Posuvný vozík sa pripája na senzor sily (napr. dvojrozsahový senzor sily alebo bezdrôtový dynamický senzorový systém). Vozík protizávažia (vyobrazovaný vpravo) sa upevňuje na druhú stranu nosníka pomocou skrutiek a T-matic. Keď sa nosník otáča, senzor sily meria dostredivú silu pôsobiacu na posuvný vozík. Samostatný senzor (napr. Vernierova fotobrána) meria uhlovú polohu a rýchlosť nosníka.



## Zostava obrtlíka

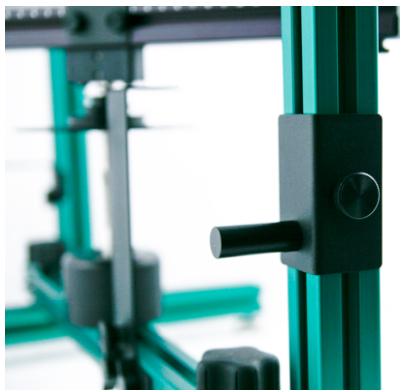
Zostava obrtlíka pozostáva z dvoch laniek a obrtlíka. Zostava sa používa na spojenie posuvného vozíka s dvojzrosahovým senzorom sily. Malá skrutka na jednom konci zostavy sa pripája na koniec senzora sily. Na druhom konci zostavy obrtlíka je slučka, ktorá sa nasadzuje na háčik posuvného vozíka.



*Zostava obrtlíka*

## Svorka dvojzrosahového senzora sily

Táto svorka sa upevňuje na pravú stranu rámu. Posuňte dvojzrosahový senzor sily na miesto a pomocou plastovej skrutky 1/4 x 20, ktorá sa dodáva so senzorom sily, ho upevnite do svorky. Skrutka, ktorá je na pravej strane svorky, umožňuje posúvať svorku hore a dole, čo umožňuje zmenu polomeru otáčania posuvného vozíka cez zostavu obrtlíka.



## Svorka fotobrány

Táto svorka, ktorá sa nachádza dole na ráme, umožňuje pripojiť na rám Vernierovu fotobránu. Dole na svorke je skrutka 1/4 x 20.



## Kladka s nízkym trením a svorka kladky

Kladka s nízkym trením a svorka kladky umožňujú vyvíjať na os otáčania moment sily. Kladku s nízkym trením upevníte na svorku pomocou priloženej skrutky 1/4 x 20. Jeden koniec lanka upevníte na 3-stupňovú kladku namontovanú na osi otáčania. Na druhý koniec lanka upevníte malé závažia. Lanko prevedíte cez kladku. Pádcom závažia vyviniete na os otáčania moment sily.



*Kladka s nízkym trením*



*Svorka kladky*

## Skrutka a sponka WDSS

Skrutka WDSS umožňuje upevniť na otáčavý nosník WDSS. Pomocou sponky spojíte WDSS s háčikom posuvného vozíka.



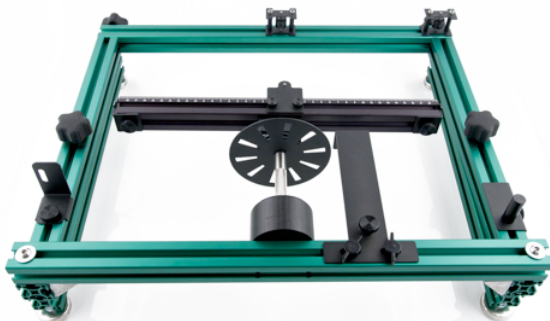
## Závažia

K systému sa dodáva šesť 100 g závaží. Nasúvajú sa do vozíkov a umožňujú meniť ich hmotnosti.



## Zmontovanie a ukladanie rámu a podporných nožičiek

Systém sa dodáva v plochom balení a takto je možné ho aj skladovať, keď sa nepoužíva. Otáčavá zostava a pravouhlý rám sa dodávajú zmontované. Predinštalované sú tiež svorky pre dvojrozsahový senzor sily, Vernierovu fotobránu a Vernierovu kladku s nízkym trením. Na boku rámu sú uložené podporné nožičky. Odstráňte hlavice skrutiek upevňujúce jednotlivé nožičky a skrutky s hlavicami použite na upevnenie nožičiek na spodok rámu. Keď chcete systém odložiť, zopakujte túto procedúru v opačnom poradí.



*Plocho uložený pravouhly rám. Podporné nožičky namontované na spodku bočných súčastí vertikálneho rámu.*

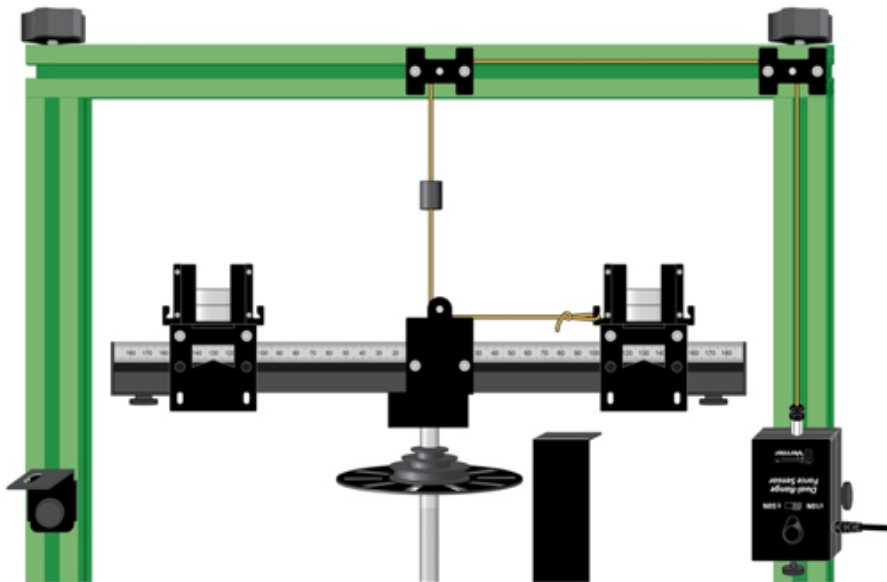
### **Vyváženie systému**

Vyvážte systém nasledujúcim postupom.

1. Na vonkajší koniec otáčavého nosníka upevnite vozík protizávažia.
2. Položte na vozík tri závažia.
3. Pomocou skrutkovača s plochou hlavou dajte jednotlivé nožičky CFA systému do ich najnižšej výšky.
4. Dajte otáčavému nosníku malý otáčavý impulz a pozorujte jeho otáčanie. Nosník sa bude snažiť ustáliť v jeho najnižšej polohe. Potvrďte bod najnižšej polohy opakovaným otáčaním nosníka.
5. Zvýšte polohu najnižšieho bodu systému zvýšením výšky najbližšej nožičky alebo nožičiek.
6. Opakujte kroky 4 a 5, až kým sa nosník neotáča bez sústavného návratu do najnižšieho bodu.

### **Namontovanie vozíkov na otáčavý nosník**

Vozíky je potrebné namontovať na otáčavý nosník so správnou orientáciou. Nosník nie je symetrický vzhľadom na kladkové vodidlo umiestnené približne v jeho strede. Otočte nosník tak, aby strana s pravítkom smerovala k vám, posuvný vozík dajte na pravú stranu a vozík protizávažia na ľavú stranu.



*Vozík protizávažia na ľavej strane. Posuvný vozík na pravej strane.*

Aby ste mohli nasadiť vozíky, odstráňte koncové časti otáčavého nosníka. Pri pohľade na stranu otáčavého nosníka s pravítkom nasadíte posuvný vozík na pravú stranu takto:

1. Všímnite si zostavy ložísk, na ktorých sa vozík posúva. Dve ložiská sú hore na vozíku a jedno na spodku.
2. Pri nasúvaní posuvného vozíka na nosník otočte vozík tak, aby sa ako prvý nasúval koniec vozíka s jednou spodnou zostavou ložísk. (Pozrite na druhej strane.) Ak vozík otočíte opačne, nebude môcť dosiahnuť maximálny polomer na nosníku (~16 cm).
3. Na druhý koniec nosníka nasuňte vozík protizávažia.





*Nasunutie posuvného vozíka na otáčavý nosník*

### **Použitie senzorov na systéme**

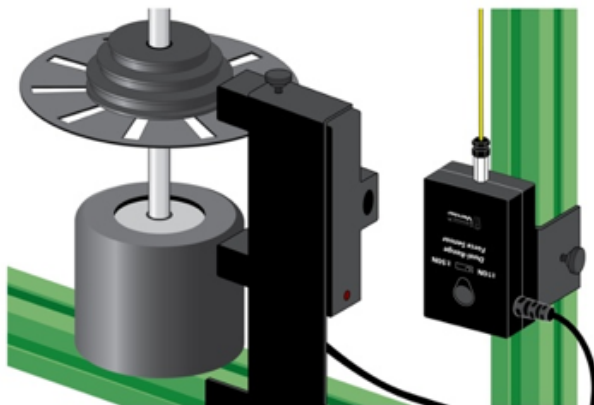
Pri štúdiu dostredivej sily na tomto systéme, študenti používajú na meranie sily a uhlovej rýchlosti senzory. *Odporúčame používať na meranie sily dvojrozsahový senzor sily a na meranie uhlovej rýchlosti Vernierovu fotobránu.* Na meranie sily sa dá použiť aj bezdrôtový dynamický senzorový systém. V nasledujúcom texte je popis pripájania jednotlivých senzorov na systém CFA.

### **Pripojenie dvojrozsahového senzora sily k rámu**

Dvojrozsahový senzor sily sa upevňuje na pravú vertikálnu stranu systému. Pri upevňovaní postupujte podľa nasledujúcich pokynov.

1. Pri normálnom použití je na dvojrozsahovom senzore sily namontovaný háčik alebo nárazník. Ak je namontovaný háčik alebo nárazník, odstráňte ich.
2. Hore na ráme sú namontované dve kladky. Pri orientácii, keď kladky smerujú k vám, namontujte dvojrozsahový senzor sily do svorky senzora sily na pravej strane.
3. Koniec obrtlíka so skrutkou vedzte cez strednú kladku hore na ráme a potom cez kladku, ktorá je vpravo na ráme.
4. Namontujte koniec obrtlíka so skrutkou na senzor sily podľa nasledujúceho obrázku.
5. Koniec obrtlíka so slučkou vedzte pod kladkou, ktorá je v blízkosti stredu nosníka a slučku upevnite na koniec posuvného vozíka podľa väčšieho obrázku na str.7. Posuvný vozík má byť pri polohe nosníka s pravítkom smerom k vám na pravej strane.





*Dvojzrakový senzor sily namontovaný na ráme a koniec obrtlika so skrutkou namontovaný na ňom. Skrutka vertikálneho nastavovania vpravo.*

### **Namontovanie fotobrány**

Fotobrána sa dá namontovať do svorky Vernierovej fotobrány, ktorá sa nachádza vedľa dekodéra namontovaného na osi otáčania. Postupujte podľa nasledujúcich pokynov:

1. Lokalizujte svorku fotobrány na dolnej horizontálnej časti rámu.
2. Upevnite fotobránu na miesto pomocou statívovej skrutky 1/4 x 20. Fotobrána bude v tejto polohe prerušovaná diskom dekodovania.



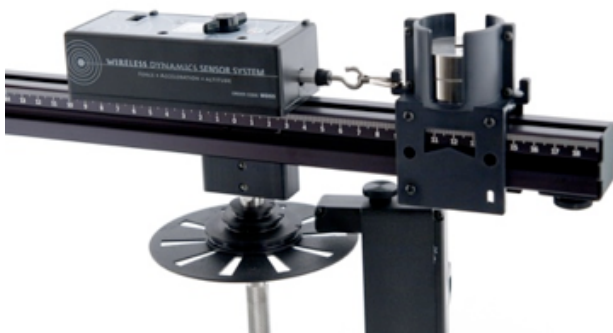
### **Upevnenie bezdrôtového dynamického senzorového systému (WDSS)**

Namiesto dvojzrakového senzora sily sa dá použiť WDSS, ktorý sa upevňuje na horizontálny otáčavý nosník. Postupujte podľa nasledujúcich pokynov:

1. V strede otáčavého nosníka nájdete kladkové vodidlo, ktoré sa používa, keď je obrtlík pripravený k dvojzrakovému senzoru sily. Uvoľnite krídlové skrutky vodidla a odmontujte ho z nosníka.
2. Ak ešte nie je namontovaný na otáčavom nosníku posuvný vozík, namontujte ho.
3. Odstráňte koncovú časť a vozík protizávažia, ak je namontovaný na otáčavom nosníku.
4. Namontujte upevňovaciu skrutku a T-maticu na WDSS, nasuňte WDSS na otáčavý nosník tak, že koniec s háčikom bude pri posuvnom vozíku.
5. Namontujte malý koniec spony WDSS na koniec WDSS s háčikom.
6. Pripojte druhý koniec spony WDSS na posuvný vozík.
7. Posuňte posuvný vozík do polohy požadovaného polomeru. Tesne natiahnite spojenie s WDSS a upevnite ho na nosník pomocou upevňovacej skrutky.



*Odmontujte kladkové vodidlo z otáčavého nosníka*



*WDSS namontovaný na nosník a posuvný vozík*

**Poznámka:** pri použití WDSS nebude nosník dokonale vyvážený, pretože vozík protizávažia sa nedá umiestniť priamo oproti posuvnému vozíku. Os a ložiská sú dostatočne tuhé, takže malé nevyváženie nebude mať vplyv na výsledky.

### **Zber dát a kompatibilita so softvérom**

Zber dát s CFA je možný pomocou nasledujúcich kombinácií interfejsov a softvéru.

- **Logger Pro 3** Tento počítačový program sa používa s interfejsmi LabQuest® 2, LabQuest, LabQuest Mini a LabPro®.
- **LabQuest App** Tento program sa používa na LabQueste 2 a na originálnom LabQueste, keď je LabQuest 2 alebo originálny LabQuest použitý ako samostatné zariadenie.
- **DataQuest App** Táto aplikácia sa používa so zariadeniami TI-Nspire™ Technology a TI-Nspire™ Lab Cradle.
- **LabVIEW** Softvér National Instruments LabVIEW™ je grafický programovací jazyk, ktorý predáva National Instruments. Používa so zariadením SensorDAQ a so senzormi kompatibilnými s CFA. Ak potrebujete ďalšie informácie o kompatibilite, kontaktujte Vernier.

## Prehľad zberu dát a kompatibilita so softvérom

Senzory, ktoré sa používajú s CFA dávajú informácie o sile, potrebnej na udržanie posuvného vozíka na svojom mieste (dostredivá sila) a o uhlovej rýchlosti otáčavého nosníka. Dáta je možné zbierať z obidvoch senzorov súčasne, avšak voľba režimu zberu dát závisí od vášho cieľa a od konkrétneho výberu senzorov. Prv než prediskutujeme všeobecné režimy zberu dát, ktoré sa používajú pri tomto systéme, preberme niekoľko súvisiacich experimentov.

Experimenty sa delia na dve veľké triedy: skúmanie vzťahov okolo dostredivej sily ( $F=mv^2/r$ , kde  $v$  je tangenciálna sila, alebo  $F=m\omega^2$ , kde  $\omega$  je uhlová rýchlosť) a experimenty okolo momentu zotrvačnosti. Sústreďme sa na dostredivú silu.

Aj keď sa zo vzťahom  $v^2/r$  obvykle stretávame najprv v osnovách fyziky, základným sensorovým meraním je uhlová rýchlosť. Softvérová konfigurácia, ktorá udáva tangenciálnu rýchlosť sa implementuje zložitejšie, pretože študenti musia mať aj informáciu o polomere, aby mohol softvér vypočítať z uhlovej rýchlosti tangenciálnu rýchlosť ( $v=\omega r$ ).

Ďalšou špecialitou zberu dát je chovanie sa zberu dát na základe údajov z fotobrány oproti zberu dát na základe času. Pri senzoroch sa najčastejšie používa zber dát na základe času, dáta zo senzora sa zapisujú v rovnakých časových intervaloch, napríklad každých 0,02 sekundy alebo 50 krát za sekundu. Zber dát na základe údajov z fotobrány je na rozdiel od uvedeného záznamom časov, kedy dochádza k zmenám stavu fotobrány. Tieto časy nie sú v pravidelných časových intervaloch.

Ak sa zaznamenávajú dáta o sile, v momente keď dochádza k zmene stavu fotobrány (známe ako režim digitálnych udalostí v *Logger Pro*), dáta nebudú od seba časovo rovnomerne vzdialené. Pri väčšine analýz nerobí nerovnomerné rozmiestnenie bodov žiadny problém. Ak sa zbierajú dáta o sile v rovnomerných časových intervaloch, pre vytvorenie grafu sily v *v závislosti* od rýchlosti alebo od rýchlosti<sup>2</sup> bude potrebné interpolovať buď dáta sily alebo rýchlosti.

Najlepší spôsob zberu dát bude závisieť od kombinácií senzorov a interfejsov. Fotobrány vždy vedú na zber dát na základe udalostí, aj keď zber ostatných dát je na základe času. WDSS a dvojzrosahový senzor sily sa dajú na LabQueste použiť buď v režime zberu na základe času alebo na základe udalostí, v *Logger Pro* však WDSS musí byť v režime zberu na základe času.

V nasledujúcich častiach sú príklady nastavenia pre jednotlivé experimenty, dostredivá sila vs. rýchlosť (alebo rýchlosť<sup>2</sup>), za použitia rôznych senzorov a interfejsov a merania buď uhlovej rýchlosti alebo komplexnejšie, za merania tangenciálnej rýchlosti. Navrhujeme začať s jedným z našich experimentálnych súborov pre *Logger Pro*, ktoré si môžete stiahnuť z [www.vernier.com/accessories/cfa/](http://www.vernier.com/accessories/cfa/). Navrhujeme začať prvým príkladom, pretože obsahuje najviac vysvetľujúcich informácií.

## Uhlová rýchlosť - Logger Pro 3 s dvojzrosahovým senzorom sily a Vernierovou fotobránu

Otvorte súbor CFA-DFS-Photogate-angular.cmb. Tento súbor je pripravený pre dvojzrosahový senzor sily a Vernierovu fotobránu. Súbor obsahuje nastavenie a niekoľko vypočítaných stĺpcov, ktoré uľahčujú zber dát. Režim zberu dát je režim na základe času, hodnoty sily budú odčítavané s frekvenciou 50 Hz a dáta z fotobrány budú odčítavané na základe otáčania disku dekódovania. Výsledkom bude, že údaje sily budú prázdne, keď dôjde k odpočtu rýchlosti a opačne. Tento spôsob odčítavania zabráni priamemu zobrazovaniu na grafe dovedy, kým nedôjde k jednoduchému výpočtu, ktorý poskytne interpolované hodnoty sily medzi pravidelne rozmiestnenými hodnotami.

Stĺpec s označením „Force“ obsahuje nespracované hodnoty zo senzora sily. Vypočítaný stĺpec „Force interpolated“, v skratke „F-i“ dopĺňa chýbajúce hodnoty. Keď chcete vidieť ako sme naštudovali tento stĺpec, podržte kurzor myši nad hlavičkou stĺpca F-i v tabuľke dát a zobrazí sa vám definícia. Každý graf zobrazujúci závislosť medzi silou a rýchlosťou musí používať stĺpec F-i.

Fotobrána sa používa na zber dát o pohybe objektu, stĺpec „Distance“ pritom spočítava konštantné prírastky medzi jednotlivými párami impulzov fotobrány od zablokovaného do zablokovaného stavu. Keďže disk dekódovania má desať štrbín, prírastok predstavuje 0,628 radiána, teda  $2\pi/10$ . Jednotkou stĺpca rýchlosti ( $\omega$ ) je teda radián/s.

Súbor obsahuje aj vypočítaný stĺpec nazvaný „angular velocity<sup>2</sup>“, v skratke  $\omega^2$ . Tento stĺpec je užitočný pri analýze dát, keďže graf  $F$  vs.  $\omega^2$  je priamo úmerný sklonu  $mr$ , zo vzťahu  $F=m\omega^2 r$ .

Zapojte interfejs, Vernierovu fotobránu a dvojzrosahový senzor sily a znovu otvorte súbor CFA-DFS-Photogate-angular.cmb. Dajte rovnaké závažia na posuvný vozík aj na vozík protizávažia. Nastavte polohu senzora sily tak, že posuvný vozík sa bude pohybovať po kružnici s polomerom asi 10 cm, a vozík s protizávažím nastavte na približne rovnaký polomer.

Logger Pro ukazuje hodnoty zo senzora sily v reálnom čase. Otáčajte nosníkom tak, aby sila presiahla 5 N. Ľahko to urobíte otáčaním osi medzi palcom a ukazovákom. Spustíte záznam dát.

Sledujte graf Force-Interpolated vs. Time a potom zobrazte graf Force-Interpolated vs. Angular Velocity. Vytvorte tiež graf Force-Interpolated vs. Angular Velocity<sup>2</sup>.

Grafy ukazujú, ako sa mení dostredivá sila v závislosti od uhlovej rýchlosti. Zobierajte teraz ďalšie dáta s inými závažiami a polomerami.

## Uhlová rýchlosť - LabQuest App s dvojzrosahovým senzorom sily a Vernierovou fotobránu

Zber dát s dvojzrosahovým senzorom sily a Vernierovou fotobránu je tu zjednodušený, pretože LabQuest App automaticky počíta interpolovanú silu. Aby ste dostali uhlovú rýchlosť, musíte nakonfigurovať pohybový režim časovania fotobrány pomocou informácie o uhlovej polohe podľa nasledujúcich detailov.

1. Spustíte LabQuest App a nechajte ho automaticky identifikovať senzory.
2. Na záložke merania LabQuest App sa dotknite položky Režim (Mode).
3. Dotknite sa voľby „Definované užívateľom“.
4. Ako užívateľom zadanú hodnotu zadajte  $1/10$  celkového obvodového uhla, čo je časť celkového uhla pripadajúca na jednu štrbinu disku dekódovania, teda  $2\pi/10$ . Pri zmene polomeru nemusíte túto hodnotu meniť, pretože uhlová rýchlosť nezávisí od polomeru.
5. Na tej istej obrazovke ešte zvolíte možnosť „Ukončenie zberu dát pomocou tlačidla Stop“.
6. Dotknite sa OK.

Zobierajte dáta a vyšetrite grafy. Pre ďalšiu analýzu zmeňte jeden z grafov na graf Sila vs. rýchlosť alebo sila vs. rýchlosť<sup>2</sup>.

## Tangenciálna rýchlosť - Logger Pro 3 s dvojzrosahovým senzorom sily a Vernierovou fotobránu

Ak je to potrebné, môžete do súboru Logger Pro doplniť výpočty tangenciálnej rýchlosti a použiť na grafoch túto veličinu namiesto uhlovej rýchlosti. Ukážeme si, ako pridať tieto výpočty do súboru CFA-DFS-Photogate-tangential.cmb1. Tento súbor je pripravený pre dvojzrosahový senzor sily a Vernierovu fotobránu a obsahuje niekoľko vypočítaných stĺpcov.

Prvý stĺpec predstavuje interpolovanú silu, tak ako v predchádzajúcom príklade. Druhý výpočet je potrebný na stanovenie tangenciálnej rýchlosti. Tangenciálna rýchlosť otáčajúceho sa závažia je funkciou jeho polomeru otáčania  $v=\omega r$ .

Fotobrána je nastavená na zber dát o pohybe ako predtým a na výpočet súčinu uhlovej rýchlosti a momentálneho polomeru sa používa stĺpec „Tangenciálna rýchlosť“. Súbor obsahuje užívateľom zadaný parameter „Radius“. Pri každom priebehu merania musí študent zadať tento parameter podľa aktuálneho polomeru. Všimnite si, že keď pri nasledujúcom priebehu zmeníte tento parameter, aktualizujú sa všetky stĺpce, ktoré od neho závisia. Týka sa to aj uložených priebehov, zmenou polomeru sa môžu preto znehodnotiť predchádzajúce výpočty, vrátane ich preložení krivkami.

Urobte zber dát ako predtým a sledujte graf Force-Interpolated vs. Time a potom zobrazte graf Force-Interpolated vs. Tangential Velocity. Vytvorte a analyzujte tiež graf Force-Interpolated vs. Velocity<sup>2</sup>.

Grafy ukazujú, ako sa mení dostredivá sila v závislosti od tangenciálnej rýchlosti. Zozbierajte teraz ďalšie dáta s inými závažiami a polomerami. Sklon čiar grafu závislosti od rýchlosti<sup>2</sup> bude úmerný hmotnosti závaží a nepriamo úmerný polomeru podľa  $F=mv^2/r$ .

## Tangenciálna rýchlosť - LabQuest App s dvojzrosahovým senzorom sily a Vernierovou fotobránu

Zber dát s dvojzrosahovým senzorom sily a Vernierovou fotobránu je tu zjednodušený, pretože LabQuest App automaticky počíta interpolovanú silu. Aby ste dostali tangenciálnu rýchlosť, musíte nakonfigurovať pohybový režim časovania fotobrány pomocou informácie o kruhovom pohybe podľa nasledujúcich detailov.

1. Spustíte LabQuest App a nechajte ho automaticky identifikovať senzory.
2. Na záložke merania LabQuest App sa dotknite položky Režim (Mode).
3. Dotknite sa voľby „Definované užívateľom“.
4. Ako užívateľom zadanú hodnotu zadajte  $1/10$  kruhovej dráhy závažia, teda zadajte  $2\pi r/10$ . Túto hodnotu musíte zmeniť vždy, keď zmeníte polomer.
5. Na tej istej obrazovke ešte zvolte možnosť „Ukončenie zberu dát pomocou tlačidla Stop“.
6. Dotknite sa OK.
- 7.

Zozbierajte dáta a vyšetrite grafy. Pre ďalšiu analýzu zmeňte jeden z grafov na graf Sila vs. rýchlosť alebo sila vs. rýchlosť<sup>2</sup>.

## Logger Pro 3 s bezdrôtovým dynamickým senzorovým systémom (WDSS)

Spustíte softvér *Pro* a nadviažete Bluetooth spojenie s WDSS podľa jeho návodu na obsluhu.

Ak chcete na zber dát o polohe a dát o tangenciálnej rýchlosti použiť fotobránu, použite jeden z nasledujúcich súborov Logger *Pro*.

- a. Súbor CFA-WDSS-Photogate.cmbl, ktorý je súčasťou súborov na web stránke CFA.
- b. Vernierova zbierka úloh *Advanced Physics with Vernier – Mechanics* obsahuje experiment s názvom „12A Centripetal Acceleration“, v ktorom sa na prieskum kruhového pohybu používa CFA. Zbierka obsahuje aj Logger *Pro* súbor s názvom „12A Centripetal Acceleration.cmbl“, ktorý tiež môžete použiť. Súbor nájdete v priečinku „Supplemental Materials“, ktorý je na CD dodanom so zbierkou.

Zozbierajte dáta a zmeňte graf Force-Interpolated vs. Time na Force-Interpolated vs. Velocity. Vytvorte a analyzujte tiež graf Force-Interpolated vs. Velocity<sup>2</sup>. Zozbierajte dáta a vyšetrite grafy. Pre ďalšiu analýzu zmeňte jeden z grafov na graf Force vs. Angular Velocity ( $\omega$ ). Súbor obsahuje vypočítaný stĺpec nazvaný Angular velocity<sup>2</sup> ( $\omega^2$ ). Vytvorte a analyzujte graf Force vs. Angular Velocity<sup>2</sup> ( $\omega^2$ ).

## LabQuest s bezdrôtovým dynamickým senzorovým systémom (WDSS)

Spustite LabQuest App a nechajte ho automaticky identifikovať fotobránu. Nadviažte Bluetooth spojenie s WDSS.

Pri použití fotobrány musíte nastaviť v časovaní fotobrány prírastok polohy buď na  $1/10$  obvodu kruhu (pri tangenciálnej rýchlosti) alebo na  $2\pi/10$  (pri uhlovej rýchlosti).

1. Na záložke merania LabQuest App sa dotknite položky Režim (Mode).
2. Dotknite sa voľby „Definované užívateľom“.
3. Ako užívateľom definovanú hodnotu zadajte príslušný prírastok polohy.
4. Na tej istej obrazovke ešte zvolte možnosť „Ukončenie zberu dát pomocou tlačidla Stop“.
5. Dotknite sa OK.

Zobierajte dáta sily pomocou WDSS a vyšetrite grafy. Pre ďalšiu analýzu zmeňte jeden z grafov na graf Sila vs. rýchlosť alebo sila vs. rýchlosť<sup>2</sup>.

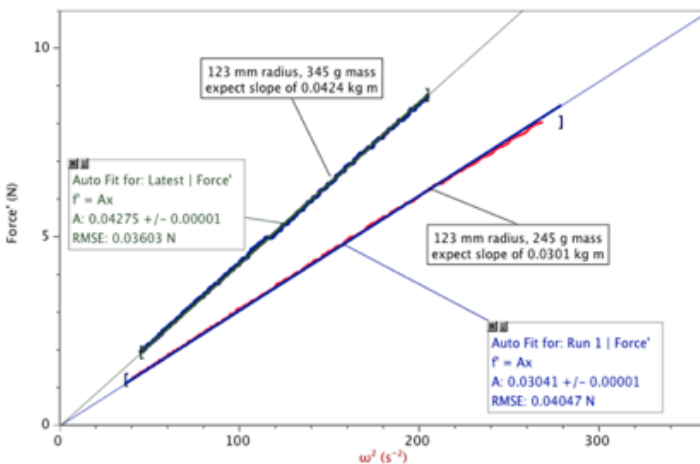
### Vzorové dáta z CFA

Prehľad experimentov, ktoré môžete robiť pomocou systému pre dostredivú

#### Dostredivá sila pri otáčaní

Na ilustráciu možností CFA uvádzame rýchly experiment s použitím iného pohľadu, ako sa bežne používa. Dostredivá sila sa často vyšetruje s použitím rovnice  $F=mv^2/r$ , kde  $F$  = dostredivá sila,  $m$  = hmotnosť,  $v$  = tangenciálna rýchlosť, a  $r$  = polomer pohybu; porovnateľnou rovnicou je však  $F=m\omega^2$  kde  $\omega$  je uhlová rýchlosť závažia. To ponúka experiment, ktorý umožní sledovať pri jednom priebehu rozličné rýchlosti za pomoci veľmi jednoduchého grafického výsledku. Ak roztočíte nosník rukou a necháte ho spomaľovať po dobu 30 alebo 40 sekúnd, dostanete závislosť sily ako funkcie uhlovej rýchlosti. Grafom sily vs. druhá mocnina uhlovej rýchlosti je priama úmera, kde sklon predstavuje súčin hmotnosti a polomeru, pretože  $F=(mr)\omega^2$ .

Na nasledujúcom grafe sú dve kombinácie hmotnosti a polomeru. V každom z prípadov je sklon násobkom hmotnosti a polomeru a funkčná závislosť je priama úmera. Použili sme pritom fotobránu a dvojzrosahový senzor sily, pretože tieto senzory sú najbežnejšie k dispozícii.



## Dostredivá sila pri otáčaní - detailný pohľad

Vernierova zbierka úloh Advanced Physics with Vernier – Mechanics obsahuje vynikajúci experiment, ktorý vyšetruje  $F=mv^2/r$  spôsobom riadeného skúmania. Tento experiment sa podobá na predchádzajúci experiment, pri ktorom študenti roztočia otáčavý nosník a zmerajú dáta počas jeho spomaľovania. Graf  $F$  vs.  $v^2$  predstavuje lineárnu závislosť. Potom študenti menia hmotnosť a stanovujú, že  $F$  je priamo úmerná  $m$ . Ďalej porovnávajú priebehy s rozličnými polomerami a uvidia, že sila je nepriamo úmerná polomeru. Úloha s názvom „12A Centripetal Acceleration“ sa tiež nachádza na našej web stránke [www.vernier.com/accessories/cfa/](http://www.vernier.com/accessories/cfa/)

## Moment zotrvačnosti

Pomocou CFA môžete merať aj moment zotrvačnosti. Úvodným experimentom je nájdenie momentu zotrvačnosti celej otáčavej zostavy. Toto meranie sa robí tak, že sa na lanko cez kladku s nízkym trením (ktorá sa dá namontovať na bok rámu) zavesí závažie a lanko sa upevní na 3-stupňovú kladku na otáčavej zostave. Keď necháte závažie padať, vyvinie sa systém otáčavý moment. Pomocou Vernierovej fotobrány zmeráte uhlové zrýchlenie systému a vypočítate moment zotrvačnosti.

Potom môžete na nosník namontovať vozíky, zopakovať predchádzajúci experiment, nájsť moment zotrvačnosti systému a potom nájsť moment zotrvačnosti vozíkov idealizovaných ako bodové závažia.

## Technické údaje

Disk dekodovania	10 lúčov
Priemery kladiek na 3-stupňovej kladke na osi otáčania	20 mm, 29 mm, 48 mm



## **Ďalšie výrobky použiteľné s touto súpravou**

### **Dvojrozsahový senzor sily (DFS-BTA)**

Tento cenovo výhodný senzor sily má dva rozsahy:  $-10$  až  $+10$  N a  $-50$  až  $+50$  N. Dá sa ľahko namontovať na laboratórny stojan alebo na vozík dynamickej lavice, alebo použiť ako náhrada pružinovej váhy. Dá sa použiť na štúdium trenia, jednoduchého harmonického pohybu, sily pri nárazoch alebo dostredivej sily.

### **Vernierova fotobrána (VPG-BTD)**

Fotobrány sa dajú použiť na štúdium voľného pádu, rolujúcich telies, zrážok na vzduchovej lavici, kyvadla a iných. Fotobrána sa dá ľahko namontovať na laboratórny stojan.

### **Bezdrôtový dynamický senzorový systém (WDSS)**

Bezdrôtový dynamický senzorový systém obsahuje 3-osový senzor zrýchlenia, výškomer a senzor sily zabudované v jednom zariadení, ktoré komunikuje s počítačom bezdrôtovo pomocou Bluetooth® technológie. Dá sa použiť aj ako samostatné zariadenie na zber dát.

### **Záruka**

Záručné podmienky na území Slovenska sa riadia podmienkami vydanými distribútorom výrobkov Vernier na Slovensku, ktoré sú súčasťou dodávky výrobku, a ostatnými platnými zákonmi. Vylúčenie zo záruky: Záruka predpokladá normálne používanie výrobku v súlade s jeho návodom na použitie za bežných laboratórnych podmienok. Pod zárukou nespadá nesprávne použitie výrobku, jeho poškodenie vonkajšími vplyvmi, zmena jeho konštrukcie užívateľom a podobné udalosti. Záruka sa tiež nevzťahuje na bežné opotrebovanie a spotrebný materiál, ak takýto materiál výrobok obsahuje. Vylúčenie zo záruky: Záruka predpokladá normálne používanie výrobku v súlade s jeho návodom na použitie za bežných laboratórnych podmienok. Pod zárukou nespadá nesprávne použitie výrobku, jeho poškodenie vonkajšími vplyvmi, zmena jeho konštrukcie užívateľom a podobné udalosti. Záruka sa tiež nevzťahuje na spotrebný materiál, ak takýto materiál výrobok obsahuje.



**Vernier Software & Technology**  
13979 SW Millikan Way  
Beaverton, OR 97005-2886  
[www.vernier.com](http://www.vernier.com)

**Slovensko: PMS Delta s,r,o,**  
Fándlyho 1  
07101 Michalovce  
[www.pmsdelta.sk](http://www.pmsdelta.sk)



Preklad: Peter Spišák, 2012

Revidované 17.9.2012

Logger *Pro*, LabPro, LabQuest, a grafické vyobrazenie loga Vernier a posuvného meradla sú našimi registrovanými obchodnými značkami. Všetky ostatné tu uvedené značky, ktoré nie sú našim vlastníctvom, sú majetkom svojich vlastníkov, ktorí môžu alebo nemusia s nami súvisieť, byť s nami v spojení alebo byť nami sponzorovaní.

Vytlačené na recyklovanom papieri.