Střední škola automobilní a informatiky
Weilova 4, Praha 10 - Hostivař

Experimenty s interaktivní stavebnicí
a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

6A. Rotační pohyb

M. Jílek & T. Feltl

EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND
PRAHA & EU: INVESTUJEME DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

Tyto materiály vznikly v rámci projektu OPPA č. CZ.2.17/3.1.00/36080,
Experimenty s interaktivní stavebnicí a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu.

- **A. Měření rotačního pohybu** **6A-A-01**
  - Úvod 6A-A-02
  - Co budeme potřebovat? 6A-A-03
  - Příprava a sestavení experimentu 6A-A-04
  - Provedení experimentu – záznam dat 6A-A-05
  - Analýza naměřené závislosti – úkoly 6A-A-06
  - Řemenový převod – úkol 6A-A-07
- **B. Dostředivá síla** **6A-B-01**
  - Úvod 6A-B-02
  - Co budeme potřebovat? 6A-B-03
  - Příprava a sestavení experimentu 6A-B-04
  - Postup práce – záznam dat 6A-B-05
  - Analýza naměřené závislosti – teorie 6A-B-06
  - Analýza naměřené závislosti – úkoly 6A-B-07
- **Závěr** **6A-Z-01**
- **Použité materiály a zdroje informací** **6A-I-01**
- **Metodické komentáře** **6A-M-01**

A. Měření rotačního pohybu

Úvod

K zajištění pohybu automobilu je potřeba přenést **otáčivý pohyb motoru** na **rotaci poloos spojených s koly**. **Převodový systém**, který plní tento úkol, navíc umožňuje měnit výslednou rychlost i směr otáčení kol (při couvání) vzhledem k otáčkám motoru. Rychlost otáčení kol vzhledem k rychlosti otáčení motoru měníme zařazením různých **rychlostních stupňů**. Vyšší rychlostní stupeň znamená větší rychlost otáčení kol potřebnou pro rychlejší jízdu. Zároveň se však na kola přenáší menší síla, takže například při jízdě do kopce musíme zařadit nižší rychlostní stupeň, při kterém se kola otáčí pomaleji, ale působí na vozovku větší silou.

Převody jsou nejčastěji tvořeny soustavou ozubených převodových koleček, která se vzájemně dotýkají (zuby při otáčení zapadají do sebe), nebo soustavou alespoň dvou kladek (řemenic), které se vzájemně nedotýkají, ale jsou propojeny řemenem napnutým přes kladky.

V následujícím pokusu se pokusíme prozkoumat, **jak souvisí rychlosti a směr rotace** s **rozměry převodových kol** u ozubeného soukolí, nebo kladek u řemenového převodu.

Foto: **Wikipedia** (wikipedia.org)

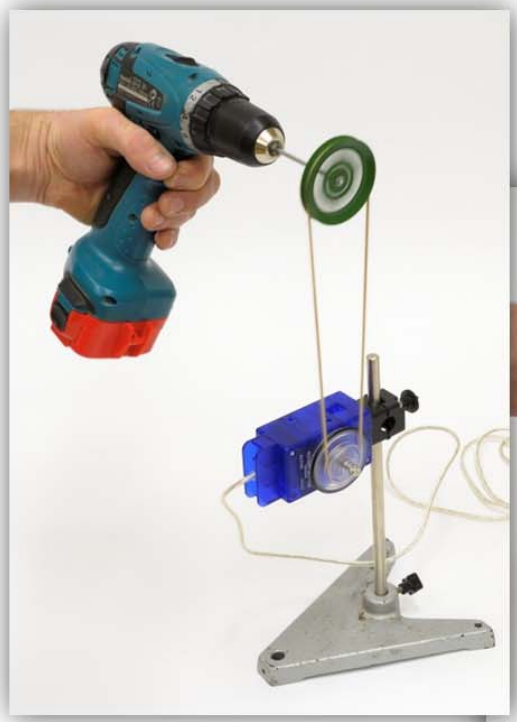
V následujícím pokusu se pokusíme prozkoumat, jak souvisí **rychlosti a směr rotace** s **rozměry převodových kol** u ozubeného soukolí, nebo kladek u řemenového převodu.

Co budeme potřebovat?

- senzor rotačního pohybu
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- akumulátorový šroubovák
- kolečka a kladky různých průměrů na hřídelích (například ze stavebnice Merkur, nebo podobné)
- laboratorní stojan
- větší gumičku (případně smyčku z provázku)
- posuvné měřítko

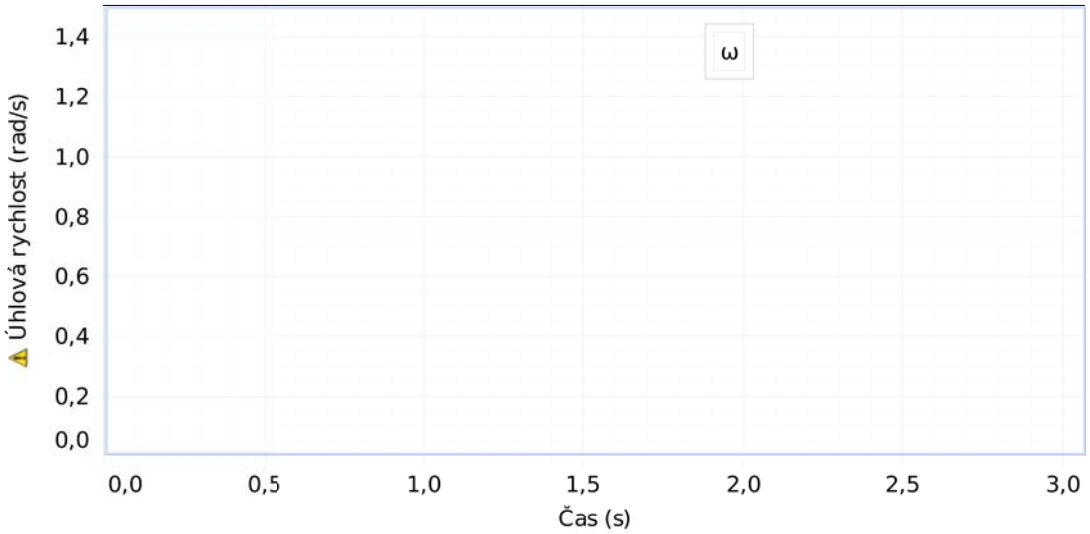
Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor rotačního pohybu upneme do laboratorního stojanu a připojíme ho k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. Velkou kladku senzoru rotačního pohybu opatříme gumovým kroužkem.



Provedení experimentu – záznam dat

1. Posuvným měřítkem změříme vnější průměr kladky senzoru s gumovým kroužkem a zapíšeme ho do prvního řádku tabulky.
2. Akumulátorový šroubovák upneme přímo na osu senzoru rotačního pohybu, roztočíme šroubovák, spustíme měření a po několika sekundách ho ukončíme, zastavíme šroubovák.
3. V naměřeném grafu časové závislosti úhlové rychlosti označíme výběrem konstantní část průběhu a pomocí tlačítka statistika určíme průměrnou naměřenou hodnotu, kterou zapíšeme do prvního řádku tabulky. Ve vedlejším sloupci se přitom automaticky dopočítá frekvence otáčení.
4. Měření opakujeme s tím, že do šroubováku vždy upneme připravené kolečko na hřídeli, které přitlačíme k velké kladce senzoru rotačního pohybu a po roztočení soustavy spustíme měření.
5. Naměřené hodnoty úhlové rychlosti (uvažujeme absolutní hodnoty bez ohledu na znaménko) zapíšeme spolu s naměřenými průměry koleček do tabulky.



Rychlost otáčení při různých převodech

	Řada průměr kola (mm)	Řada hodnota úhlové rychlosti (rad/s)	Řada frekvence otáčení (1/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Analýza naměřené závislosti – úkoly

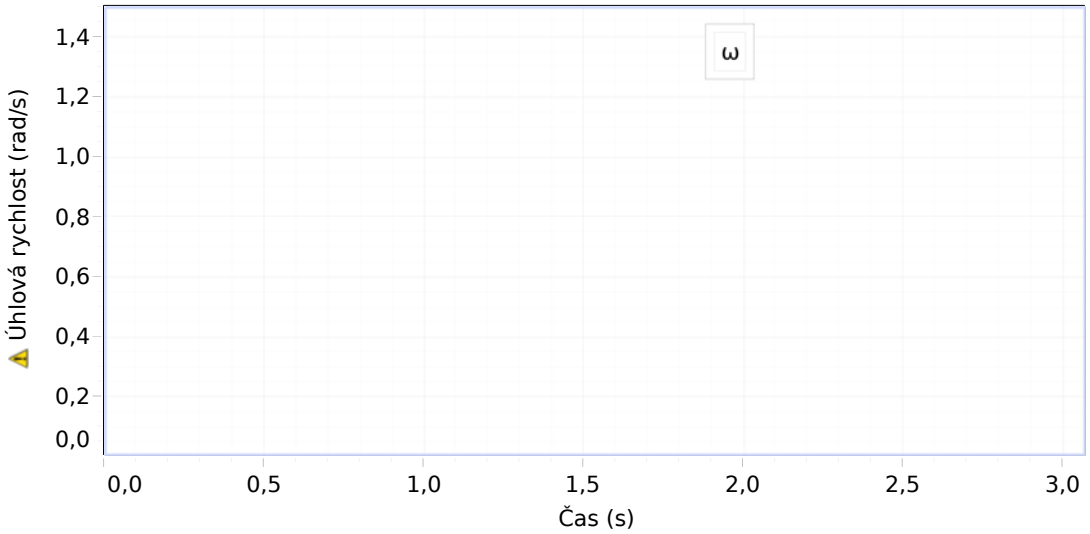
1. V prvním řádku tabulky je naměřena frekvence f_1 otáčení samotného šroubováku. V dalších řádcích jsou potom zaznamenány frekvence f_2 upravené pomocí převodu tvořeného dvěma koly – první (takzvané hnací) kolo o průměru d_1 je spojeno se šroubovákem, druhé (hnané) kolo o průměru d_2 tvoří velká kladka s gumovým kroužkem spojená se senzorem rotačního pohybu. Oproti použití ozubených kol u reálného převodu zajišťuje v tomto modelu přenos síly mezi koly pouze tření.
2. Porovnáním naměřených hodnot stanovte, jak souvisí frekvence f_1 hnacího kola a frekvence f_2 hnaného kola s průměry d_1 hnacího a d_2 hnaného kola – porovnávejte vždy hodnoty z prvního řádku (d_2 a f_1) s hodnotami v dalších řádcích (d_1 a f_2). Pokud je to možné, pokuste se daný vztah vyjádřit matematicky.

Rychlost otáčení při různých převodech

	Řada průměr kola (mm)	Řada hodnota úhlové rychlosti (rad/s)	Řada frekvence otáčení (1/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			

Řemenový převod – úkol

1. Zopakujte celé měření s tím, že místo hnacích kol budete používat různé kladky na hřídelích upnuté do akumulátorového šroubováku. Tyto hnací kladky budou propojeny gumičkou nebo smyčkou z provázku s prostřední kladkou na senzoru rotačního pohybu, která bude sloužit jako hnaná kladka.
2. Ověřte, zda pro frekvence f_1 hnací a f_2 hnané kladky a pro průměry d_1 hnací a d_2 hnané kladky platí stejný vztah jako v předchozím případě převodu tvořeného dotýkajícími se koly. Čím mohou být způsobeny případné odchylky?
3. Objasněte, co platí pro směry rotace hnacího a hnaného kola v prvním typu převodu a co pro směry rotace kladek u řemenového převodu.



Rychlost otáčení při různých převodech

	Řada průměr kladky (mm)	Řada hodnota úhlové rychlosti (rad/s)	Řada frekvence otáčení (1/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

B. Dostředivá síla

Úvod

Při průjezdu automobilu zatáčkou působí vozovka na automobil prostřednictvím kol silou, která je kolmá ke směru jízdy a způsobuje neustálé stáčení směru okamžité rychlosti automobilu. Tato **síla** se nazývá **dostředivou**, protože působí směrem do středu kruhové dráhy (kolmo ke směru pohybu). Pokud je dostředivá síla potřebná k zatočení automobilu větší než třecí síla mezi koly a vozovkou, dostane se automobil do smyku a pokračuje dále původním směrem.

Ze stejného důvodu odlétají kapky vody od mokré pneumatiky v okamžiku, kdy začne být dostředivá síla potřebná k udržení jejich rotačního pohybu společně s pneumatikou větší než jejich přilnavost k pneumatice.

Obecně je potom pohyb jakéhokoli tělesa nebo jeho části po kruhu způsoben dostředivou silou, která neustále mění směr okamžité rychlosti tělesa a udržuje ho tak na kruhové dráze.

Foto: **morgueFile** free photo archive (morguefile.com)

Na čem závisí **velikost dostředivé síly** způsobující pohyb tělesa po kružnici, se pokusíme ověřit v následujícím experimentu.

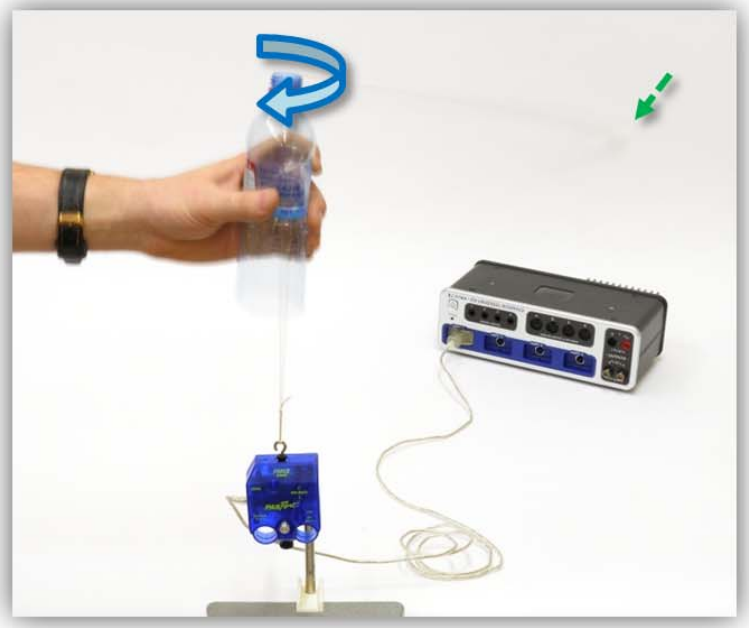
Na čem závisí **velikost dostředivé síly** způsobující pohyb tělesa po kružnici, se pokusíme ověřit v následujícím experimentu.

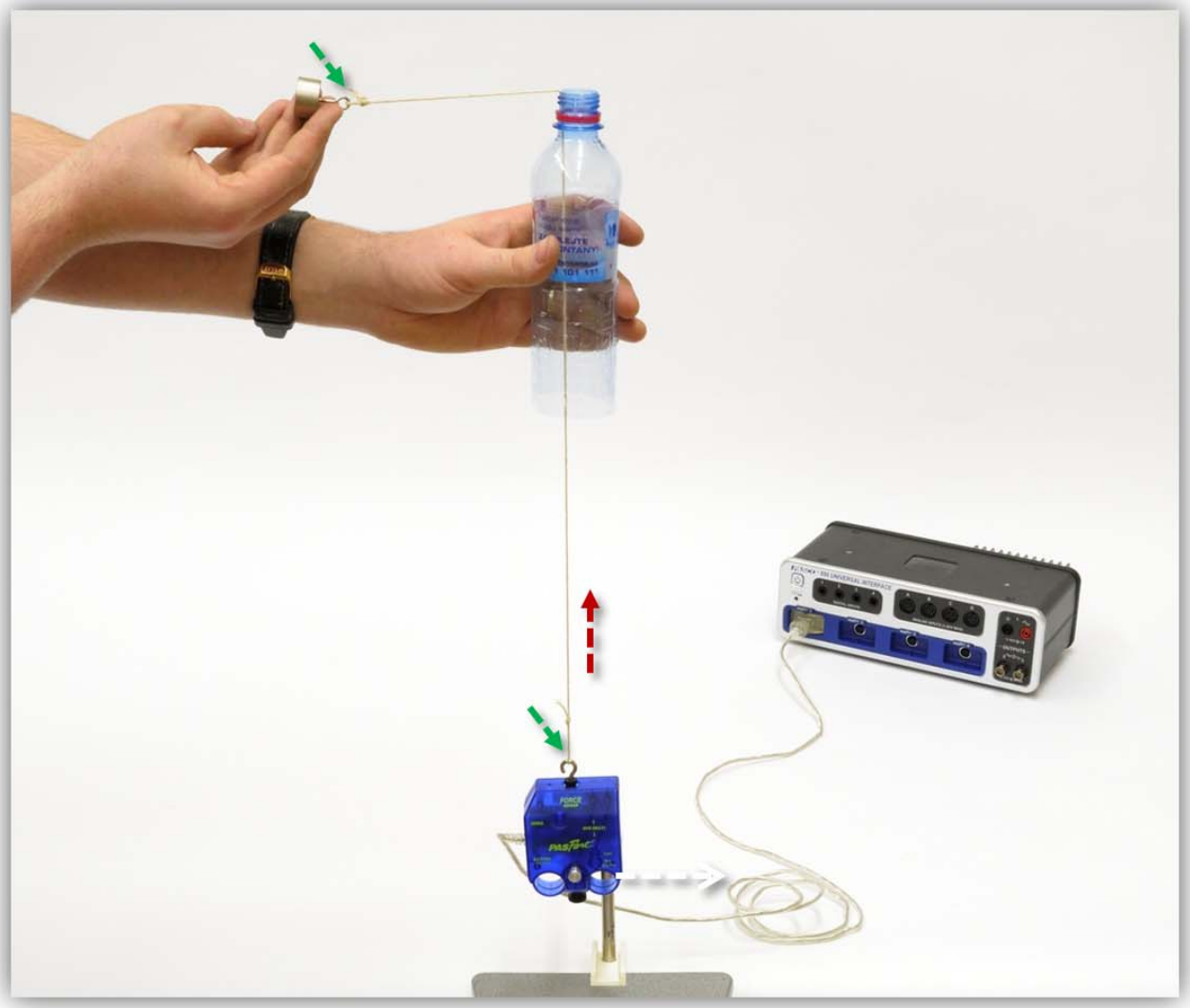
Co budeme potřebovat?

- senzor síly
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- několik závaží (například 50 – 200 g)
- přibližně 1 m dlouhý tenký pevný provázek
- malou plastovou láhev s odříznutým dnem
- délkové měřítko
- svorku na uchycení senzoru síly ke stolu

Příprava a sestavení experimentu

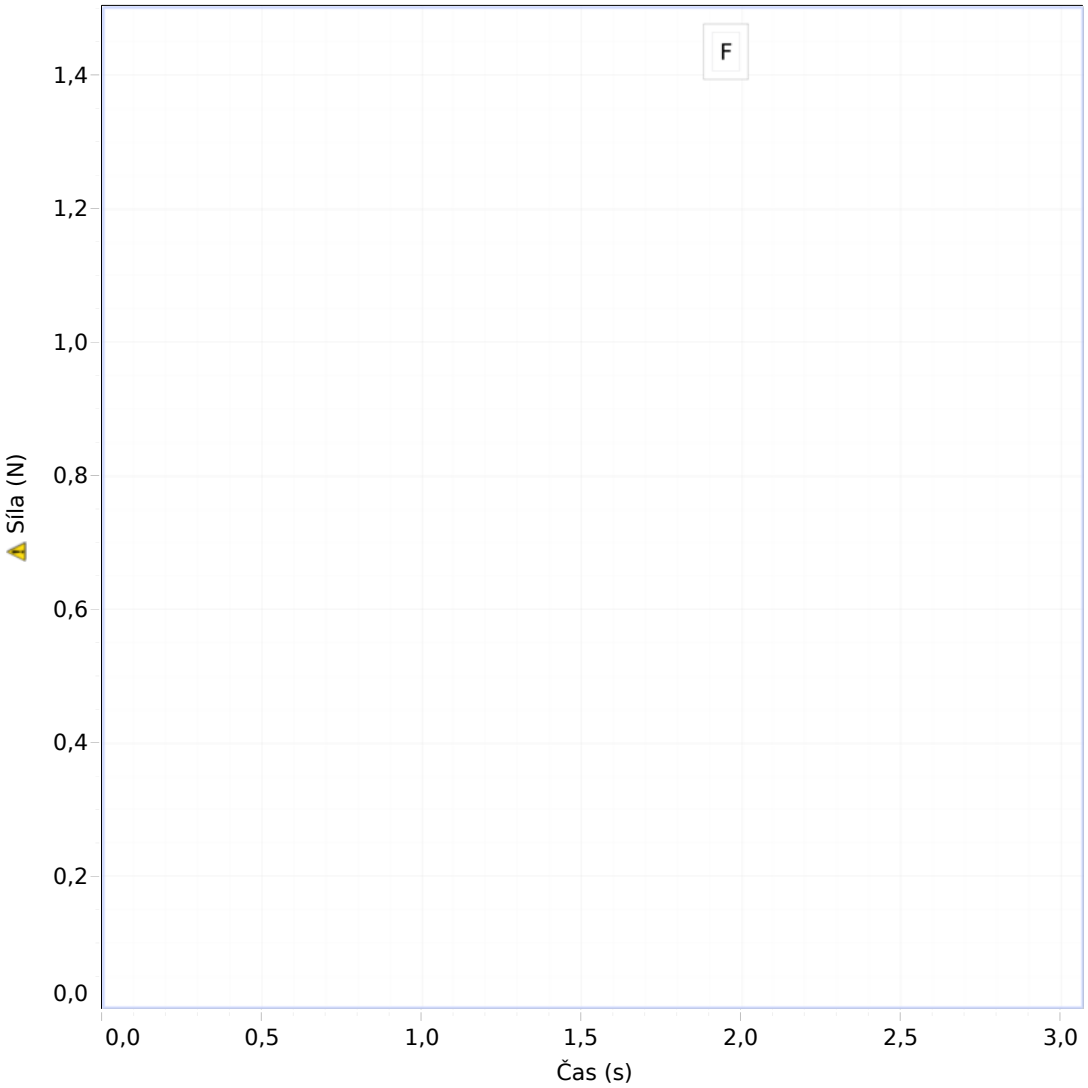
1. Senzor síly upneme ke stolu tak, aby směřoval **zavěšovacím háčkem směrem vzhůru**, a připojíme ho k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. Provázek protáhneme plastovou lahví, jeden konec přivážeme pevně k **háčku senzoru síly** a k druhému konci přivážeme jedno **závaží**.





Postup práce – záznam dat

1. Vynulujeme senzor síly stiskem tlačítka na senzoru.
2. Plastovou láhev podržíme hrdlem vzhůru svisle nad senzorem síly tak vysoko, aby natažený provázek se závažím přesahoval přes horní okraj hrdla například o 40 cm – tuto vzdálenost (od středu hrdla do středu závaží) změříme a zaznamenáme.
3. Závaží na provázku nyní **roztočíme ve vodorovné rovině kolem okraje hrdla**, snažíme se udržovat konstantní rychlost pohybu závaží.
4. Spustíme měření a přibližně po deseti obězích závaží na provázku okolo ruky s lahví měření ukončíme.
   V grafu se přitom zobrazuje časový průběh síly, kterou působí senzor síly prostřednictvím provázku na závaží.



Analýza naměřené závislosti – teorie

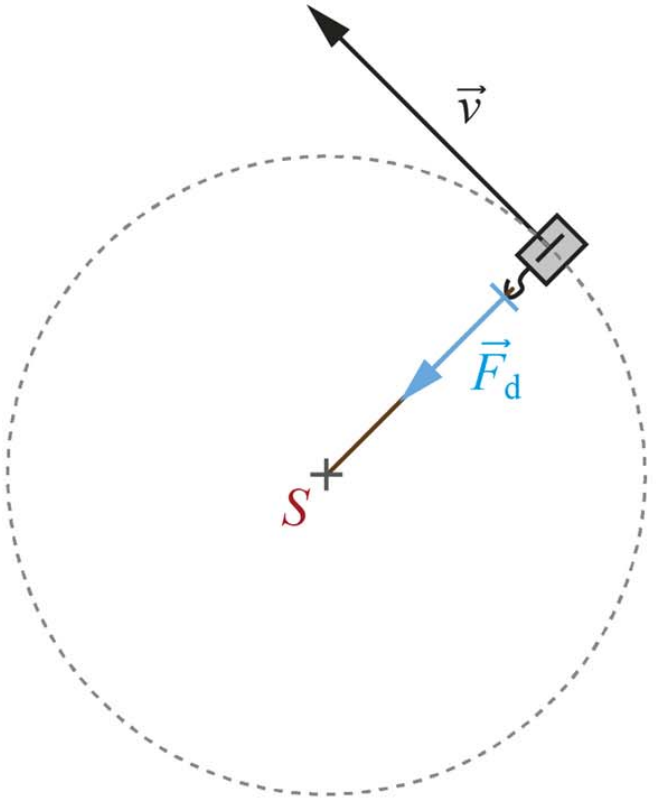
Abychom udrželi závaží v kruhovém pohybu, musíme na něj působit prostřednictvím provázku takzvanou **dostředivou silou** $\boldsymbol{F_d}$ (míří směrem do středu otáčení), která způsobuje neustálé stáčení směru obvodové rychlosti $\boldsymbol{v}$ závaží.

Velikost dostředivé síly se podle Druhého Newtonova pohybového zákona vypočítá jako součin hmotnosti m tělesa a dostředivého zrychlení a_d, které síla danému tělesu udává. Velikost dostředivého zrychlení potom závisí na úhlové rychlosti ω otáčivého pohybu a vzdálenosti r tělesa od osy otáčení vztahem:

$$F_d = ma_d = m\omega^2 r = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$$

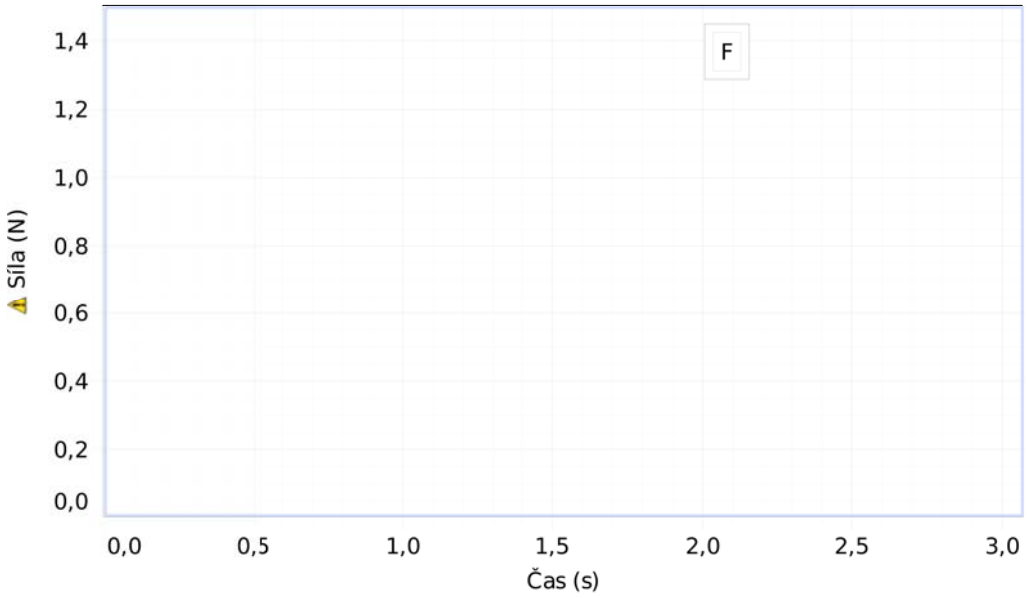
Proměnná T představuje periodu rotačního pohybu – v našem případě dobu jednoho oběhu závaží.

V naměřeném grafu vidíme pravidelné kolísání velikosti dostředivé síly, které je způsobeno ne zcela rovnoměrným kruhovým pohybem (pohybem ruky v pravidelných intervalech dodáváme soustavě drobné impulzy na překonání tření a udržení konstantní rychlosti otáčení). Tyto výchylky nám umožňují odečíst z grafu periodu T jako vzdálenost od jedné k druhé výchylce na ose x (například vzdálenost mezi dvěma sousedními maximy).



Analýza naměřené závislosti – úkoly

1. V grafu zaznamenaného průběhu dostředivé síly změřte pomocí nástroje *delta tool* dobu několika period kruhového pohybu (vzdálenost několika maxim na ose x), vydělte ji počtem period a získanou dobu jedné periody T zapište společně se změřenou vzdáleností r závaží od osy otáčení a se známou hmotností m závaží do prvního řádku tabulky (v případě potřeby je možné hmotnost m určit pomocí senzoru síly, nebo pomocí vhodných vah). Ve vedlejším sloupci se ze zadaných hodnot automaticky dopočítá teoretická velikost dostředivé síly.
2. Nástrojem pro výběr označte naměřené hodnoty odpovídající pravidelnému kruhovému pohybu s výše spočítanou periodou a pomocí tlačítka *statistika* určete průměrnou velikost dostředivé síly působící na závaží, zapište ji také do tabulky.
3. Zopakujte měření pro několik různých dalších rychlostí otáčení, vzdáleností r závaží od plastové trubičky a pro různé hmotnosti m závaží.
4. Po doplnění tabulky porovnejte teoretické a naměřené hodnoty velikosti dostředivé síly a pokuste se objasnit, co může způsobovat případné rozdíly (navrhněte, jak by bylo možné měření zpřesnit).



Teoretická a experimentální velikost dostředivé síly

	▼ Řada hmotnost m (g)	⧗ Řada vzdálenost r (m)	▲ Řada perioda T (s)	■ Řada velikost dostředivé síly vypočtená (N)	■ Řada velikost síly odečtené z grafu (N)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Závěr

Pokuste se najít různé příklady využití ozubených soukolí a řemenových převodů v automobilu a objasněte, k čemu v daných případech slouží. Najdete také nějaký jiný typ používaného převodu?

Ukažte, co ovlivňuje nejvíce velikost dostředivé síly udržující tělesa na kruhové dráze. Vyhledejte vztah mezi velikostí úhlové rychlosti a obvodové rychlosti tělesa při pohybu po kružnici a vyjádřete velikost dostředivé síly v závislosti na velikosti obvodové rychlosti tělesa.

Použité materiály a další informační zdroje

SVOBODA, Emanuel a kol. *Přehled středoškolské fyziky*.
Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-22435-0.

Použité fotografie z externích zdrojů:

morgueFile free photo archive (morguefile.com)

Wikipedia (wikipedia.org)

Metodické poznámky

- V prvním experimentu je vhodné používat pouze jeden směr otáčení šroubováku (povolování nebo utahování), opačný směr může mít o něco jinou velikost obvodové rychlosti.
- Jako hnanou kladku při měření řemenového převodu je možné použít také ostatní dvě kladky na senzoru rotačního pohybu (je samozřejmě potřeba změřit jejich vnitřní průměry). Obecně je potom při analýze třeba dát pozor na to, které kolo či kladka jsou hnací (připojené ke šroubováku) a které hnané (připojené k senzoru rotačnímu pohybu). Hnací frekvenci měříme pouze jednou (hned na začátek připojením šroubováku k senzoru) ostatní měřené frekvence už jsou potom frekvencemi hnaného kola.
- K druhému experimentu můžeme použít jakoukoli plastovou trubičku s hladkým zaobleným okrajem, aby se příliš neprojevovalo tření mezi trubičkou a provázkem. Použitý provázek musí být dostatečně pevný a dobře uvázaný, aby nedošlo k jeho přetržení nebo k uvolnění závaží. Při kruhovém pohybu závažím samozřejmě dbáme na bezpečnost, abychom někomu neublížili.