



Experimenty s interaktivní stavebnicí  
a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

# 8F. Skládání a rozklad sil

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. Skládání sil v jedné přímce** **8F-A-01**
  - Úvod 8F-A-02
  - Co budeme potřebovat? 8F-A-03
  - Příprava a sestavení experimentu 8F-A-04
  - Provedení experimentu – záznam dat 8F-A-05
  - Analýza naměřené závislosti – úkoly 8F-A-06
- **B. Skládání kolmých sil** **8F-B-01**
  - Úvod 8F-B-02
  - Co budeme potřebovat? 8F-B-03
  - Příprava a sestavení experimentu 8F-B-04
  - Postup práce – záznam dat 8F-B-05
  - Skládání kolmých sil – teorie 8F-B-06
  - Analýza naměřených hodnot – úkoly 8F-B-07
- **C. Rozklad sil na nakloněné rovině** **8F-C-01**
  - Úvod 8F-C-02
  - Co budeme potřebovat? 8F-C-03
  - Příprava a sestavení experimentu 8F-C-04
  - Postup práce – záznam dat 8F-C-05
  - Analýza naměřené závislosti – teorie 8F-C-06
  - Analýza naměřené závislosti – úkoly 8F-C-07
- **Závěr** **8F-Z-01**
- **Použité materiály a zdroje informací** **8F-I-01**
- **Metodické komentáře** **8F-M-01**

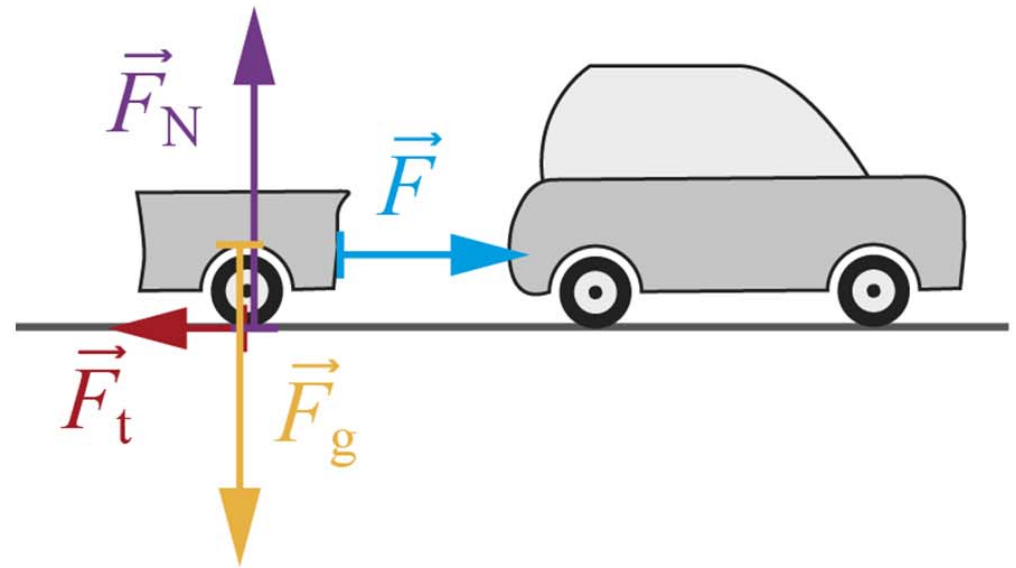
## A. Skládání sil v jedné přímce

## Úvod

Pokud chceme nějakým způsobem **změnit pohyb tělesa**, například zvýšit rychlost automobilu, zabrzdit, nebo zatočit, musíme k tomu vždy **využít nějaké síly**. Ve většině případů je přitom těleso ovlivňováno větším množstvím sil najednou – **přívěsný vozík** například při jízdě táhne k zemi **tíhová síla**, na jeho kola naopak **působí kolmo vzhůru vozovka**, dopředu ho urychluje **tahová síla** automobilu a směrem dozadu na něj působí **třecí síla** a odpor vzduchu. Protože je **síla vektorová veličina** (je určena svou velikostí a směrem působení), znázorňujeme ji pomocí šipky, která začíná v místě, kde síla působí (v působišti), a míří požadovaným směrem. Délka šipky potom ve vhodném zvoleném měřítku určuje velikost síly.

Abychom určili výsledný **vliv většího množství sil** působících na těleso, chceme obvykle **tyto síly složit** – nahradit je jedinou výslednou silou se stejnými účinky.

V prvním experimentu se pokusíme prozkoumat, jaká pravidla platí pro **nejjednodušší případ skládání sil** stejného a opačného směru.



$\vec{F}$  – tahová síla

$\vec{F}_g$  – tíhová síla

$\vec{F}_N$  – (reakce vozovky)  
síla působení vozovky

$\vec{F}_t$  – třecí síla

V prvním experimentu se pokusíme prozkoumat, jaká pravidla platí pro **nejjednodušší případ skládání sil** stejného a opačného směru.

### Co budeme potřebovat?

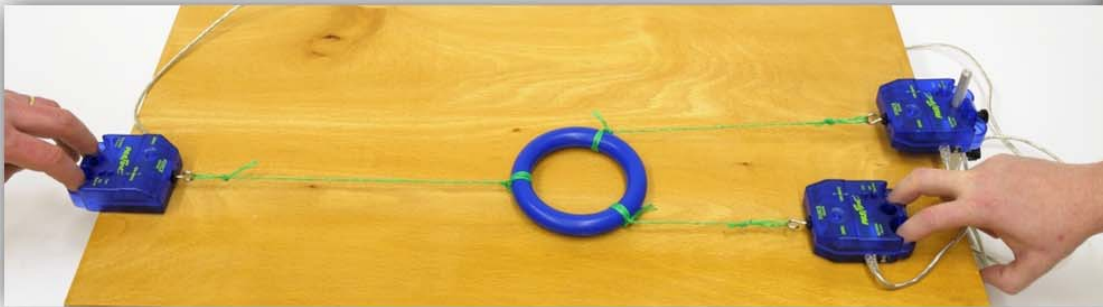
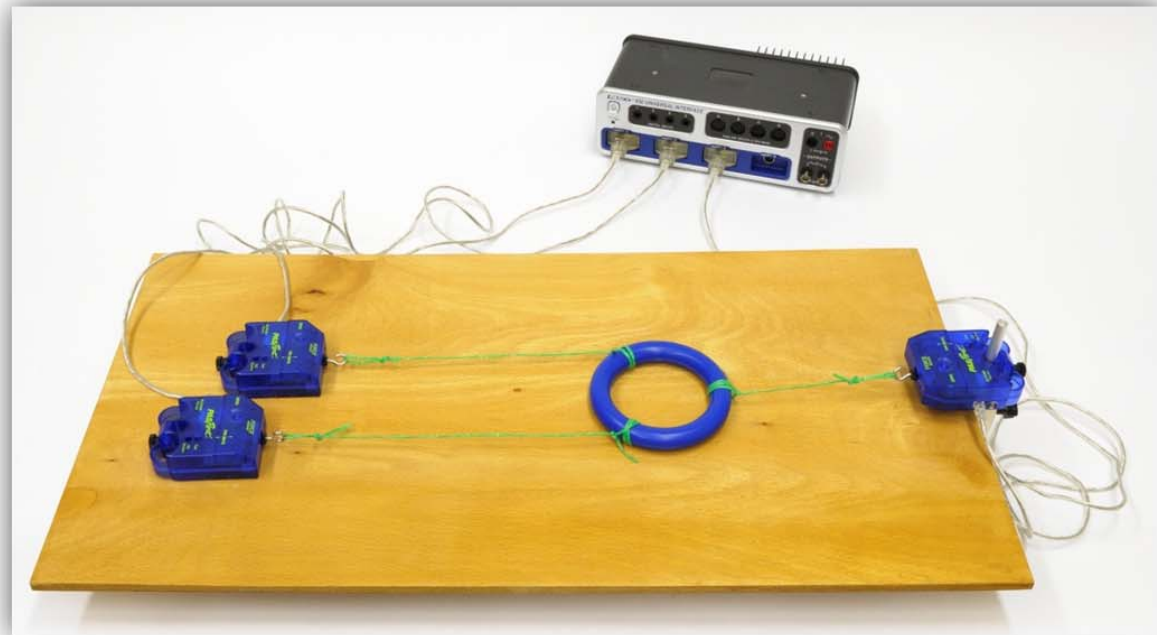
- tři senzory síly
- univerzální měřicí rozhraní 850
- plastový kroužek
- provázek
- svorku na uchycení senzoru síly ke stolu





## Příprava a sestavení experimentu

1. Sensory síly připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. K plastovému kroužku pevně přivážeme přibližně po  $120^\circ$  tři provázky dlouhé přibližně 30 cm. Opačné konce provázek přivážeme k háčkům jednotlivých sensorů síly.
3. Sensor síly připojený ke třetímu vstupu měřicího rozhraní upevníme pomocí svorky k okraji stolu.



## Provedení experimentu – záznam dat

- Spustíme měření a vynulujeme všechny senzory síly ve vodorovné poloze zmáčknutím tlačítka na senzoru (provázek vedoucí od senzoru musí být v okamžiku nulování volný). Uchopíme dva senzory připojené k prvnímu a druhému vstupu měřicího rozhraní a táhneme jimi rovnoběžně proti třetímu, upevněnému senzoru. Tlačítkem se zatržítkem v dolním, ovládacím panelu zaznamenáme aktuální hodnoty velikosti sil na všech třech senzorech. Tyto hodnoty se přitom zapíší do tabulky.
- Opakujeme měření s tím, že měníme velikosti sil, kterými taháme za senzory síly. Na displejích přitom kontrolujeme, aby velikost síly na žádném senzoru nepřekročila 50 N.
- Po zaznamenání alespoň šesti trojic hodnot měření ukončíme.

<p>⚠ Síla, kanál P1 (N)</p>	První siloměr	<Nejsou vybrána žádná data>
		
<p>⚠ Síla, kanál P2 (N)</p>	Druhý siloměr	<Nejsou vybrána žádná data>
		
<p>⚠ Síla, kanál P3 (N)</p>	Třetí siloměr	<Nejsou vybrána žádná data>
		

	<Nejsou vybrána žádná data>	<Nejsou vybrána žádná data>	<Nejsou vybrána žádná data>
	⚠ Síla, kanál P1 (N)	⚠ Síla, kanál P2 (N)	⚠ Síla, kanál P3 (N)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

## Analýza naměřených hodnot – úkoly

1. Nakreslete na papír síly, kterými působí první dva senzory síly na kroužek a jinou barvou výslednou sílu, kterou působí kroužek na třetí, upevněný senzor síly.
2. Na základě naměřených hodnot ukažte, jak souvisí velikost výsledné síly s velikostmi dvou rovnoběžných sil působících na těleso ve stejném směru.
3. Zopakujte měření s tím, že prvním senzorem potáhnete stejně jako v předchozím případě, druhým senzorem potáhnete o něco menší silou v opačném směru – směrem k třetímu siloměru. Naměřte několik kombinací, nakreslete obrázek dvou sil, kterými působíte na kroužek a výsledné síly, kterou působí kroužek na upevněný senzor, a z výsledků odvoďte, jak souvisí velikost výsledné síly s velikostmi sil působících na těleso opačným směrem.

	První siloměr	
⚠ Síla, kanál P1 (N)		<Nejsou vybrána žádná data>
		
	Druhý siloměr	
⚠ Síla, kanál P2 (N)		<Nejsou vybrána žádná data>
		
	Třetí siloměr	
⚠ Síla, kanál P3 (N)		<Nejsou vybrána žádná data>
		

	<Nejsou vybrána žádná data> a>	<Nejsou vybrána žádná data> a>	<Nejsou vybrána žádná data> a>
	⚠ Síla, kanál P1 (N)	⚠ Síla, kanál P2 (N)	⚠ Síla, kanál P3 (N)
1			
2			
3			
4			
5			
6			



## B. Skládání kolmých sil

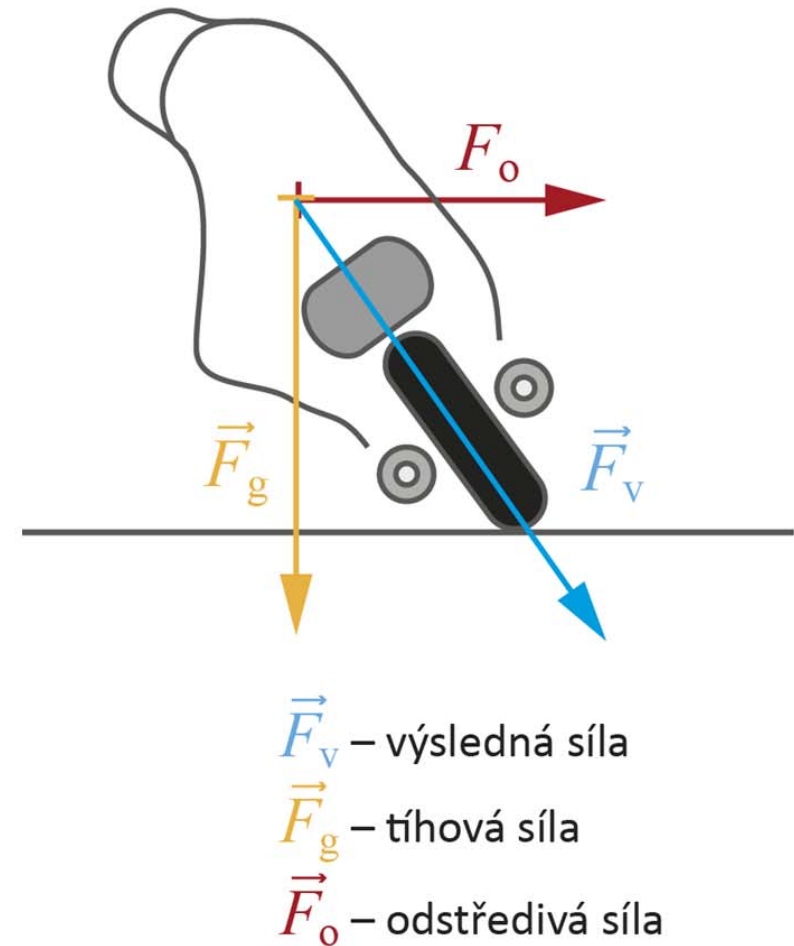
## Úvod

Na **automobil** projíždějící zatáčku působí kromě **tíhové síly** (míří z těžiště automobilu kolmo dolů) také setrvačná **odstředivá síla**, která míří z těžiště vodorovně ven z otáčky. Tyto dvě síly jsou potom kompenzovány silou, kterou působí vozovka na kola.

Při normální jízdě míří výsledná síla (výslednice) tíhové a odstředivé síly směrem pod automobil – mezi kola. Pokud je odstředivá síla například díky rychlé jízdě příliš velká, může se stát, že **výslednice tíhové a odstředivé síly** bude mířit mimo plochu určenou vnějším okrajem kol a automobil se působením této síly převrátí.

**Motocykly** a ostatní jednostopá vozidla potom musí projíždět zatáčku vždy s takovým náklonem, aby **výslednice tíhové a odstředivé síly** svírala s vozovkou stejný úhel jako vozidlo a **mířila tak z těžiště přímo k bodu dotyku pneumatiky s vozovkou**.

Jakým způsobem lze **určit směr a velikost výslednice dvou kolmých sil**, se pokusíme prozkoumat v následujícím experimentu.



Jakým způsobem lze určit směr a velikost výslednice dvou kolmých sil, se pokusíme prozkoumat v následujícím experimentu.

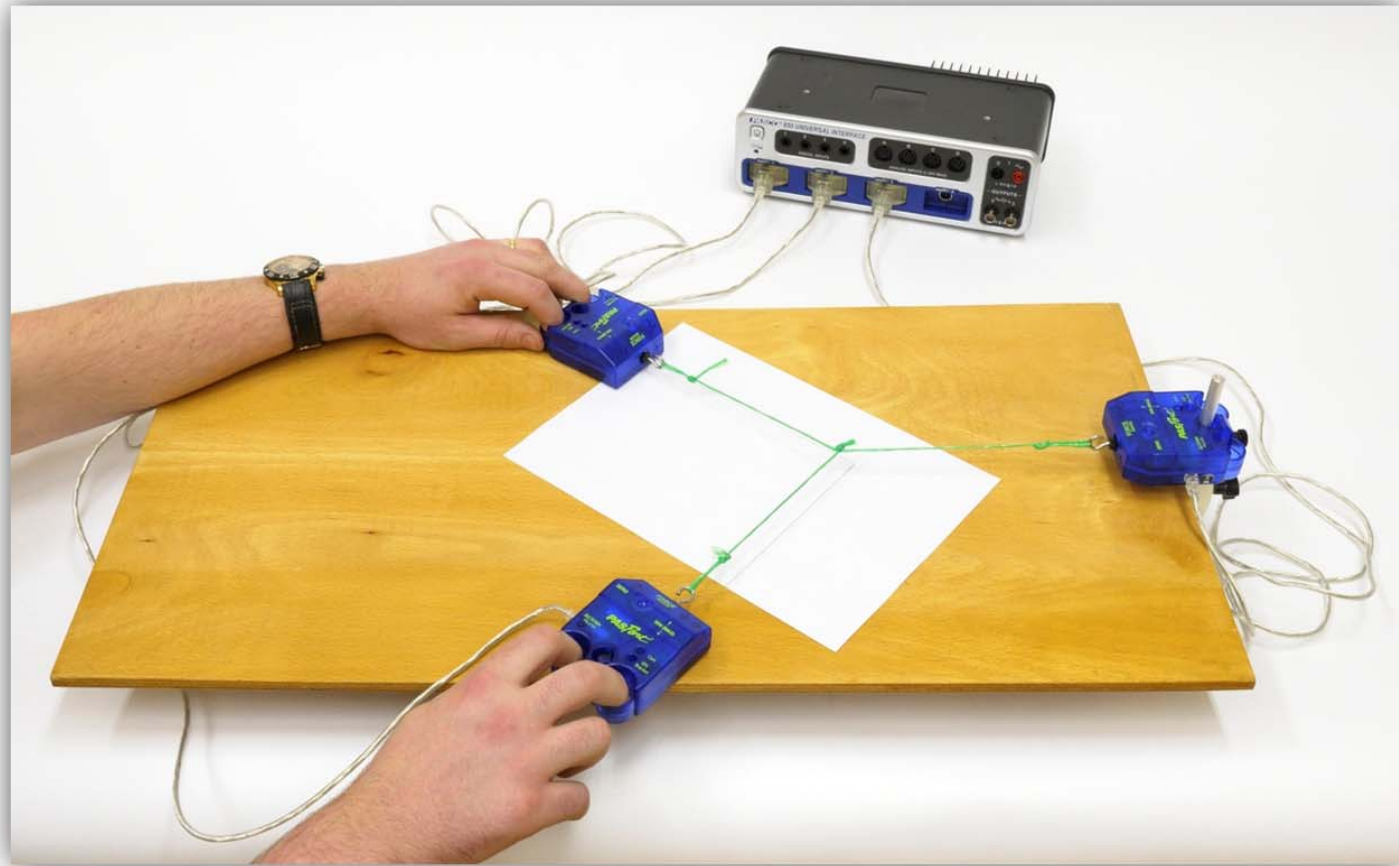
### Co budeme potřebovat?

- tři senzory síly
- univerzální měřicí rozhraní 850
- provázek
- svorku na uchycení senzoru síly ke stolu
- větší papír (min. A4)
- tužku a pravítko



## Příprava a sestavení experimentu

1. Sensory síly připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. Tři provázky délky přibližně 30 cm svážeme jedním koncem k sobě, opačné konce přivážeme k háčkům jednotlivých senzorů síly.
3. Sensor síly připojený ke třetímu vstupu měřicího rozhraní upevníme pomocí svorky k okraji stolu.
4. Na papír narýsujeme dvě polopřímky vycházející ze společného bodu a svírající pravý úhel.





## Postup práce – záznam dat

1. Spustíme měření a vynulujeme senzory síly stiskem tlačítka na senzoru.
2. Dva volné senzory síly táhneme proti třetímu, upevněnému senzoru tak, aby provázky od těchto dvou senzorů svíraly vzájemně pravý úhel, což kontrolujeme papírem s narýsovanými polopřímkami položeným pod spojené provázky. Jakmile dosáhneme požadovaného směru provázek, zaznamenáme hodnoty velikostí sil na jednotlivých senzorech stiskem tlačítka se zatržítkem v dolním ovládacím panelu. Hodnoty velikostí sil, zobrazované na displejích, se v tu chvíli zapíší do tabulky.
3. Měření opakujeme minimálně pro pět dalších různých kombinací působících sil, hlídáme vždy, aby provázky od tažených senzorů svíraly pravý úhel a aby velikost síly na žádném senzoru nepřesáhla 50 N.
4. Ukončíme měření.

<p>⚠ Síla, kanál P1 (N)</p>	První siloměr	<Nejsou vybrána žádná data>
		-, --- N
<p>⚠ Síla, kanál P2 (N)</p>	Druhý siloměr	<Nejsou vybrána žádná data>
		-, --- N
<p>⚠ Síla, kanál P3 (N)</p>	Třetí siloměr	<Nejsou vybrána žádná data>
		-, --- N

	<Nejsou vybrána žádná data> a>	<Nejsou vybrána žádná data> a>	<Nejsou vybrána žádná data> a>
	⚠ Síla, kanál P1 (N)	⚠ Síla, kanál P2 (N)	⚠ Síla, kanál P3 (N)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

## Skládání kolmých sil – teorie

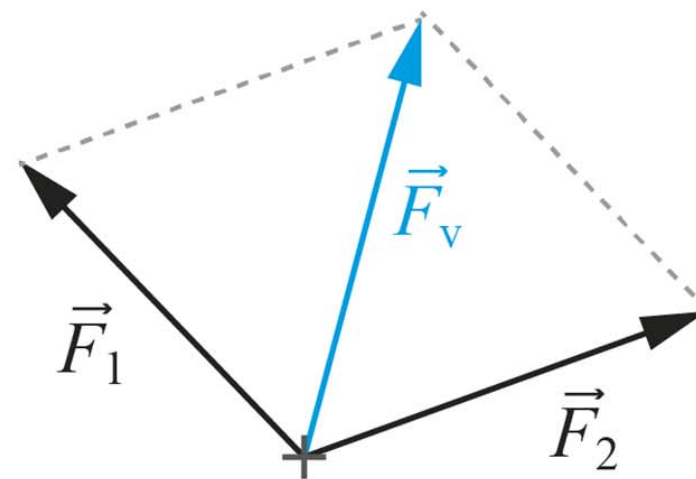
Složít dvě síly působící na jedno těleso znamená nahradit tyto síly jedinou silou, která bude mít na těleso stejný účinek.

V případě dvou různoběžných sil  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  působících na těleso v jednom bodě můžeme výslednou sílu  $\vec{F}_v$  zobrazit pomocí vektorového rovnoběžníku jako na obrázku 1. Směr zobrazených vektorů  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  přitom musí odpovídat směrům působících sil a velikosti těchto vektorů (délky šipek) zobrazíme ve vhodném zvoleném měřítku (například tak, aby délce šipky 1 cm odpovídala síla o velikosti 1 N, nebo jiné vhodné velikosti). Výsledná síla  $\vec{F}_v$  je potom zobrazena úhlopříčkou rovnoběžníku vytvořeného vektory  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ .

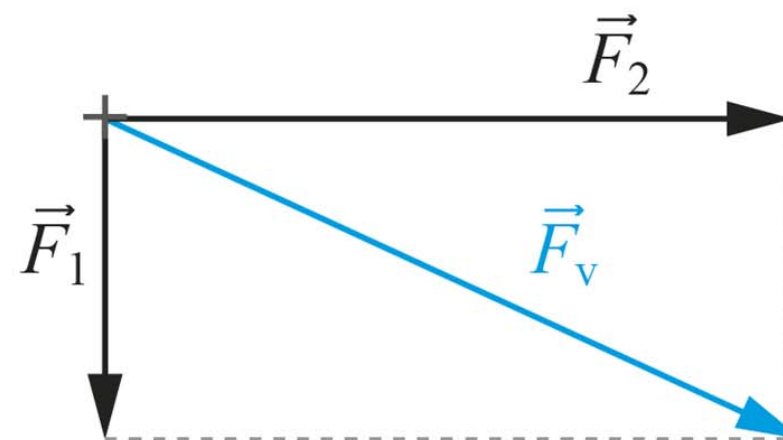
Pokud působí na těleso v jednom bodě dvě kolmé síly  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ , můžeme výslednou sílu  $\vec{F}_v$  určit graficky jako úhlopříčku obdélníku, jehož strany tvoří vektory  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ , viz obrázek 2.

Velikost výsledné síly potom určíme buď přibližně graficky (změřením délky příslušné šipky v daném měřítku), nebo výpočtem pomocí Pythagorovy věty:

$$F_v = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$



Obr. 1



Obr. 2

## Analýza naměřených hodnot – úkoly

- Narýsujte ve vhodném měřítku vektory sil, kterými jste v jednotlivých případech působili v kolmém směru pomocí dvou senzorů síly, zkonstruujte výslednou sílu (jako příslušnou úhlopříčku obdélníku), změřte její velikost a запиšte ji do tabulky vedle odpovídajících naměřených hodnot.
- Určete velikost výsledné síly v jednotlivých případech také početně z naměřených velikostí  $F_1$  a  $F_2$  a запиšte ji do tabulky.
- Porovnejte velikosti naměřené výsledné síly z třetího senzoru s graficky a početně zjištěnou hodnotou, rozhodněte, která metoda určení velikosti výsledné síly je přesnější, a pokuste se vysvětlit případné rozdíly ve výsledcích.

Velikosti sil na siloměrech

	<Nejsou vybrána žádná data>	<Nejsou vybrána žádná data>	◆ Řada	✠ Řada	▼ Řada
	⚠ Síla, kanál P1 (N)	⚠ Síla (N)	experimentální velikost výslednice (N)	graficky zjištěná výslednice (N)	početně zjištěná výslednice (N)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					

## C. Rozklad sil na nakloněné rovině



## Úvod

Automobil jedoucí rovnoměrným pohybem po rovině překonává pouze třecí síly a odpor vzduchu. Při jízdě do kopce však musí navíc překonávat působení tíhové síly.

Můžeme si představit, že tíhová síla působící na automobil v kopci má v podstatě dva účinky. Jednak „pohání“ automobil směrem dolů z kopce (vodorovně s vozovkou) a jednak ho přitlačuje k vozovce. Poměr těchto dvou sil, kterými můžeme nahradit tíhovou sílu, bude zřejmě nějak záviset na sklonu kopce. Ze zkušenosti totiž dobře víme, že síla, která nás urychluje při jízdě z kopce, se zvětšuje s rostoucím úhlem stoupání vozovky.

V posledním experimentu se pokusíme podrobněji prozkoumat, jakým způsobem lze **nahradit jednu sílu dvěma** jinými navzájem kolmými silami.

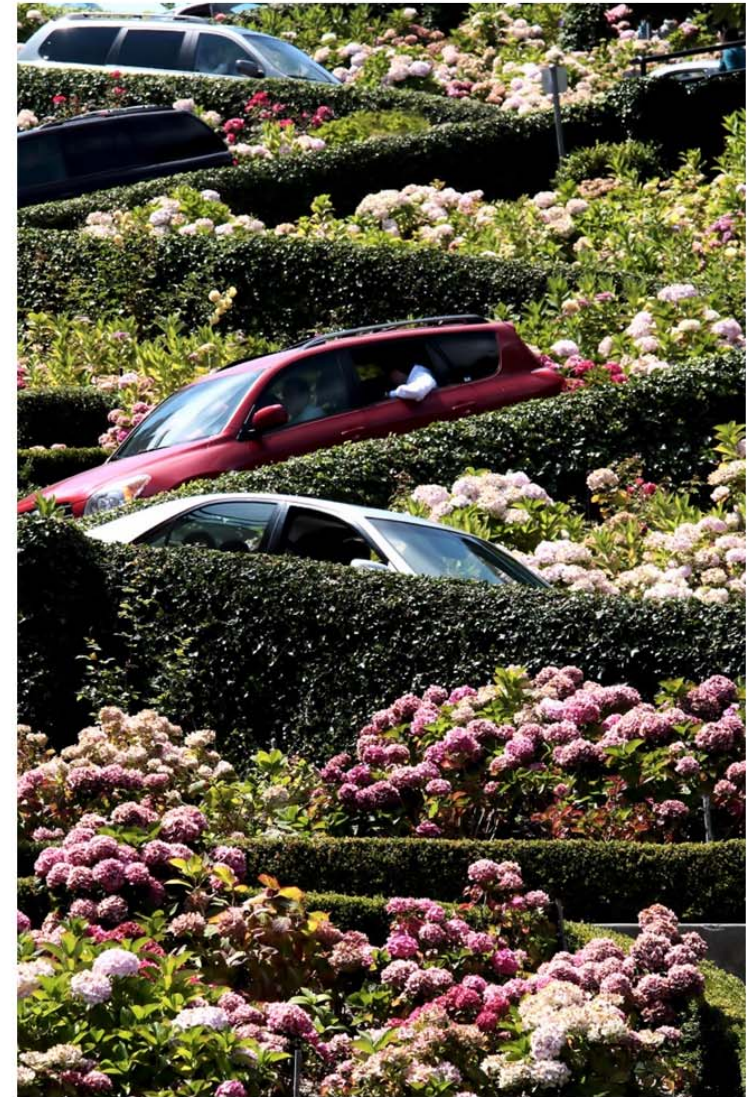


Foto: morgueFile free photo archive (morguefile.com)

V posledním experimentu se pokusíme podrobněji prozkoumat, jakým způsobem lze nahradit jednu sílu dvěma jinými navzájem kolmými silami.

### Co budeme potřebovat?

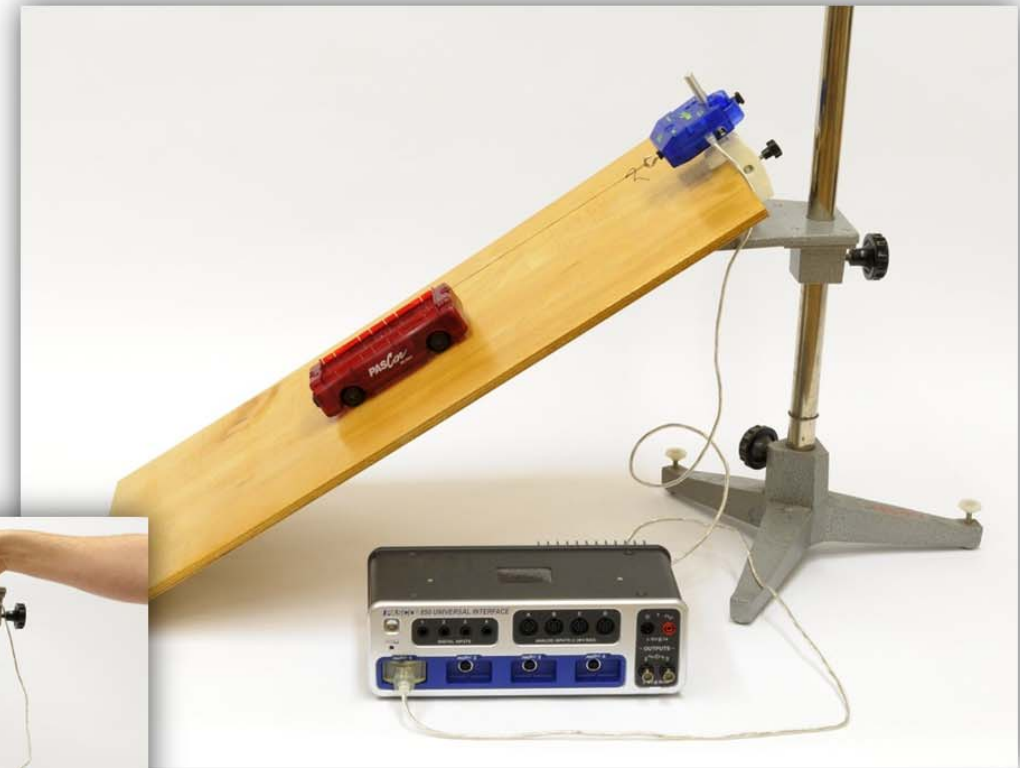
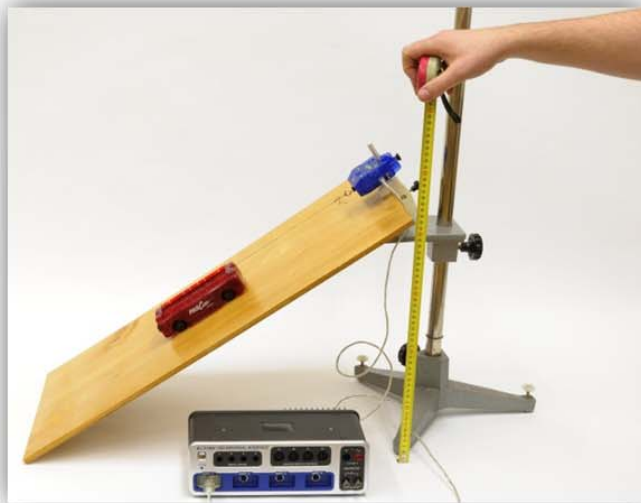
- senzor síly
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- vozík se závažími
- vozíkovou dráhu (případně kratší rovnou desku nebo prkno)
- provázek
- svorku na uchycení senzoru síly k dráze
- délkové měřidlo





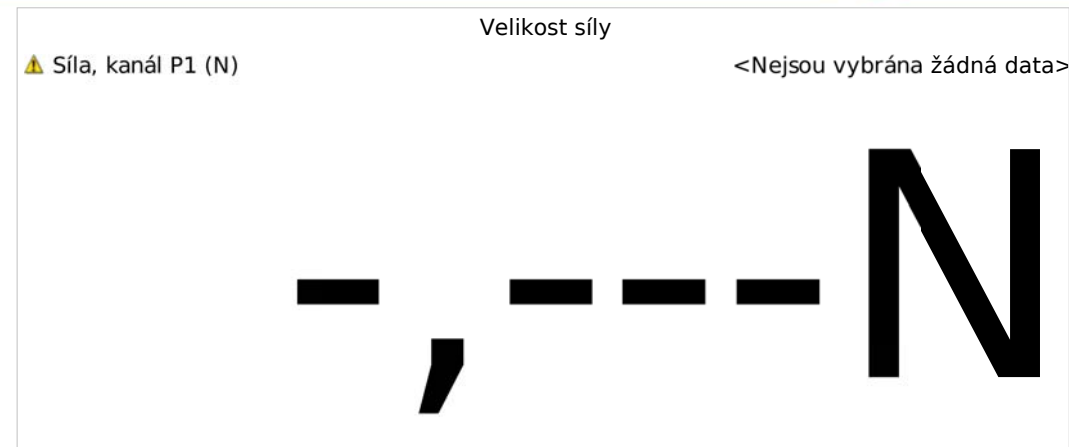
## Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor síly připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. Vozík přivážeme pomocí provázku k senzoru síly a ten upevníme k jednomu konci dráhy.
3. Dráhu na konci s připevněným senzorem síly podložíme (například židlí, velkým stojanem, o okraj stolu apod.), abychom vytvořili nakloněnou rovinu.
4. Vozík položíme na dráhu (nakloněnou rovinu), takže provázek od siloměru k vozíku bude směřovat rovnoběžně s nakloněnou rovinou.



## Postup práce – záznam dat

1. Délkovým měřidlem změříme délku  $l$  použité dráhy a výšku  $h$  jejího horního konce od vodorovné podložky.
2. Spustíme měření, vozík přidržíme rukou tak, abychom uvolnili provázek, a vynulujeme senzor síly stiskem tlačítka na senzoru.
3. Pustíme vozík a na displeji sledujeme velikost tahové síly, kterou působí vozík na provázek. Po ustálení této hodnoty zapíšeme její velikost do tabulky.
4. Senzor síly odděláme od dráhy a podržíme ho kolmo dolů opřený například o okraj stolu nebo zavěšený na vhodném stojanu tak, aby měřil tíhu vozíku visícího na provázku pod ním. Velikost tíhové síly zobrazené na displeji zapíšeme do tabulky a ukončíme měření.



	✂ Řada	▲ Řada	■ Řada	● Řada
	délka roviny $l$ (m)	výška roviny $h$ (m)	velikost tahové síly $F$ (N)	velikost tíhové síly $F_g$ (N)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				



## Analýza naměřené závislosti – teorie

Tíhovou sílu  $\vec{F}_g$ , která působí na vozík, můžeme na nakloněné rovině nahradit dvěma jinými silami – jednou, rovnoběžnou s rovinou a druhou, kolmou k rovině. Tyto dvě síly, které budou mít na vozík stejný celkový účinek, se nazývají složky původní tíhové síly. Říkáme, že jsme původní sílu  $\vec{F}_g$  rozložily na sílu  $\vec{F}$  rovnoběžnou s rovinou a sílu  $\vec{F}_N$  kolmou k rovině (též normálovou).

Velikost složek můžeme určit pomocí vztahů pro goniometrické funkce v pravoúhlém trojúhelníku, pokud známe úhel  $\alpha$ , který svírá nakloněná rovina s vodorovnou podložkou, viz obrázek.

$$F = F_g \sin \alpha$$

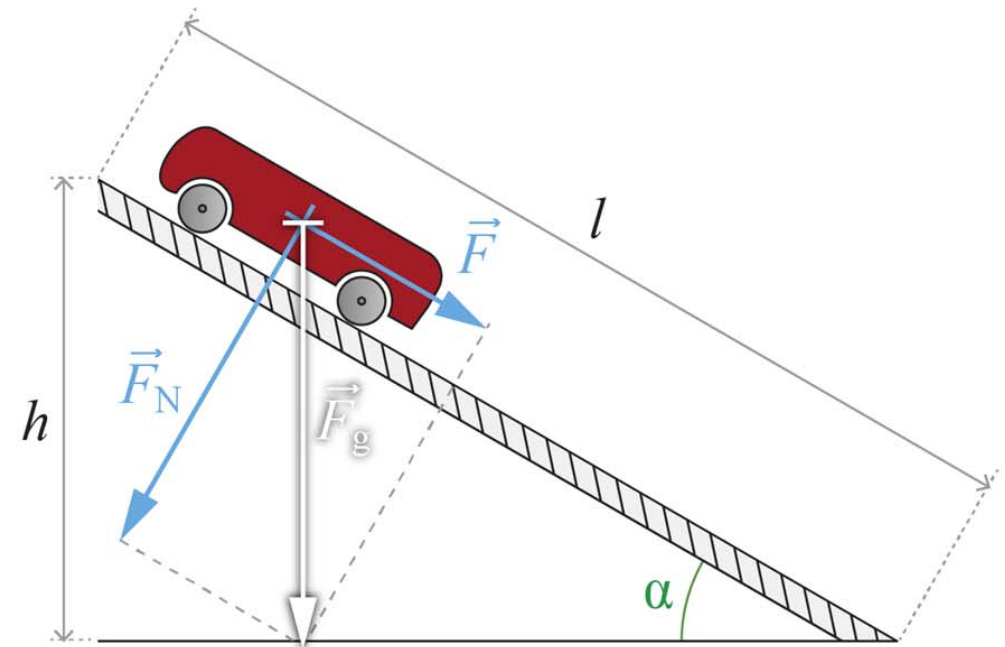
$$F_N = F_g \cos \alpha$$

Známe-li délku nakloněné roviny  $l$  a výšku  $h$  jejího horního okraje nad vodorovnou podložkou, bude platit, že

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}$$

a velikost složky tíhové síly rovnoběžné s nakloněnou rovinou můžeme vyjádřit jako:

$$F = F_g \frac{h}{l}$$



## Analýza naměřené závislosti - úkoly

1. Z naměřené délky  $l$  nakloněné roviny, výšky okraje nad vodorovnou podložkou  $h$  a velikosti tíhové síly  $F_g$  působící na vozík vypočítejte velikost složky tíhové síly rovnoběžné s nakloněnou rovinou  $F$  a запиšte ji do tabulky vedle ostatních hodnot.
2. Zopakujte měření pro několik jiných úhlů naklonění roviny a při různých hmotnostech vozíku po připevnění jednoho, nebo dvou závaží. Naměřené hodnoty запиšte do tabulky a spočítejte teoretické velikosti složky  $F$ .
3. Porovnejte naměřené hodnoty tahové síly, kterou působí vozík na nakloněné rovině na senzor síly, s vypočítanými velikostmi  $F$  složek tíhové síly a pokuste se objasnit, čím mohou být způsobeny případné rozdíly.

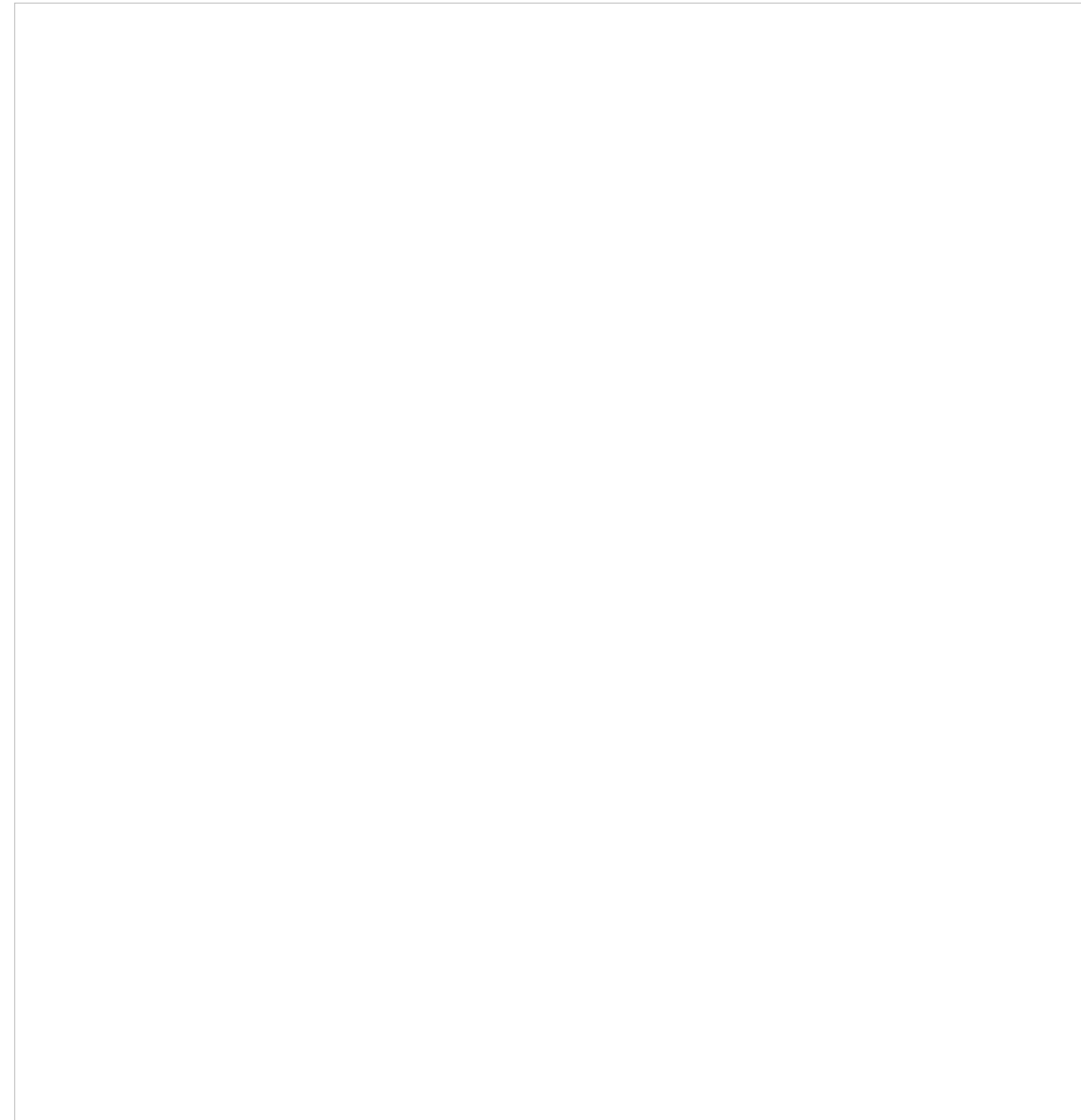
	☒ Řada	▲ Řada	■ Řada	● Řada	◆ Řada
	délka roviny $l$ (m)	výška roviny $h$ (m)	velikost tahové síly $F$ (N)	velikost tíhové síly $F_g$ (N)	vypočítaná velikost složky $F$ (N)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					

## Závěr

Pokuste se zformulovat obecné pravidlo pro určení výslednice dvou sil působících na stejné těleso.

Na základě rozboru sil působících na automobil při jízdě zatáčkou zkuste vysvětlit, co vše má vliv na jeho překlopení.

Jak souvisí rozklad síly na dvě složky se skládáním sil?



## 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](http://morguefile.com))



## Metodické poznámky

- Plastový (případně jakýkoli jiný) kroužek u prvního experimentu je použit z toho důvodu, aby provázky od senzorů síly mohly mířit rovnoběžně, a zároveň působí jako páka, která umožňuje současné působení různých velkých tahových sil proti upevněnému senzoru.
- Druhý experiment je možné doplnit měřením výslednice dvou sil působících v jednom bodě pod různým (nejenom pravým) úhlem a porovnat výsledky s grafickým (případně početním) řešením. Experiment bychom v takovém případě prováděli zcela stejně, pouze bychom si na podložní papír narýsovali příslušné polopřímky svírající požadovaný úhel.
- Pro dosažení přesných výsledků je potřeba nezapomenout před měřením vynulovat senzory síly v uvolněném stavu a při pokusech s nimi vždy táhnout co nejpřesněji ve směru provázku – místo držení senzoru rukou za držadlo je například možné táhnout senzor za upevňovací šroub, nebo za provázek uchycený k tomuto šroubu.