

# Zákon zachování hybnosti

Co se děje při srážce aut?

## Obsah

Úvod .....	2	Příprava úlohy (praktická příprava) .....	8
Cíle .....	2	Postup práce .....	9
Teoretický úvod .....	3	Příprava měření .....	9
Motivace studentů .....	3	Nastavení HW a SW .....	9
Doporučený postup .....	4	Vlastní měření (záznam dat) .....	9
Příprava úlohy .....	4	Analýza naměřených dat .....	10
Materiály pro studenty .....	4	Pracovní list učitele .....	11
Záznam dat .....	4	Slovníček pojmů .....	11
Analýza dat .....	5	Teoretická příprava úlohy .....	12
Syntéza a závěr .....	5	Vizualizace naměřených dat .....	12
Hodnocení .....	5	Vyhodnocení naměřených dat .....	13
Internetové odkazy a další zdroje .....	5	Závěr .....	13
Pracovní návod .....	7	Pracovní list studenta .....	15
Zadání úlohy .....	7	Slovníček pojmů .....	15
Pomůcky .....	7	Teoretická příprava úlohy .....	16
Bezpečnost práce .....	8	Vizualizace naměřených dat .....	16
Teoretický úvod .....	8	Vyhodnocení naměřených dat .....	17
		Závěr .....	18

 **Zařazení do výuky**

Experiment je vhodné zařadit v rámci učiva o dynamice pohybu. Newtonovy pohybové zákony.

 **Časová náročnost**

Dvě hodiny (2 × 45 minut)

## Úvod

V tomto laboratorním cvičení studenti ověří platnost zákona zachování hybnosti (ZZH). Během experimentu budou měřit vzájemnou rychlost dvou aut před a po vzájemné srážce. Z naměřených dat vyvodí závěr o platnosti ZZH.

## Cíle

Studenti by měli zvládnout:

- používat senzory k objasnění pojmu hybnost,
- číst a analyzovat data z grafů,
- měřit rychlosti před a po srážce, z naměřených rychlostí vypočítat příslušné hybnosti,
- srovnávat tyto hybnosti a na základě výsledků rozhodovat, zda platí zákon zachování hybnosti,
- pomocí daných poznatků aplikovat ZZH na další typy kolizí.

## Teoretický úvod

Dvě auta na sebe působí při srážce silami akce a reakce. Pokud na ně nepůsobí jiná tělesa silou nebo pokud vliv těchto sil můžeme zanedbat, tvoří auta izolovanou soustavu. V izolované soustavě působí na tělesa jen vnitřní síly (vzájemné silové působení mezi tělesy této soustavy), nikoli však vnější síly (síly, kterými působí okolní tělesa).

V izolované soustavě dochází působením vnitřních sil mezi tělesy ke změně jejich hybnosti. Změní-li se za dobu  $\Delta t$  působením síly  $F_1$  hybnost jednoho auta o  $\Delta p_1$  a působením síly  $F_2$  hybnost druhého auta o  $\Delta p_2$ , pak celková změna hybnosti dané soustavy

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2.$$

Po úpravě

$$\Delta p = F_1 \Delta t + F_2 \Delta t = (F_1 + F_2) \Delta t.$$

Protože jsou síly  $F_1$  a  $F_2$  stejně veliké a opačného směru, platí  $F_1 = -F_2$  a celková změna hybnosti  $\Delta p = 0$ . Nulová změna hybnosti znamená, že se celková hybnost soustavy dvou aut při vzájemné srážce nezměnila a platí

$$p = p_1 + p_2 = \text{konst.}$$

Tento závěr platí pro izolovanou soustavu libovolného počtu těles, nazývá se **zákon zachování hybnosti (ZZH)** a je důsledkem třetího Newtonova pohybového zákona.

**Celková hybnost izolované soustavy těles se vzájemným silovým působením nezmění.**

ZZH při srážce dvou aut se dá vyjádřit matematickou rovnicí

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = m_1 \mathbf{v}_1' + m_2 \mathbf{v}_2'$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 - m_1 \mathbf{v}_1' = m_2 \mathbf{v}_2' - m_2 \mathbf{v}_2$$

$$m_1 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_1') = -m_2 (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_2')$$

$$m_1 \Delta \mathbf{v}_1 = -m_2 \Delta \mathbf{v}_2$$

## Motivace studentů

Zeptáme se studentů na Newtonovy pohybové zákony. A k čemu můžeme dané poznatky prakticky využít?

Objasníme pojmy pružná a nepružná srážka. Názorně předvedeme dané typy srážek na dráze.

### Slovníček pojmů

PRUŽNÁ SRÁŽKA

NEPRUŽNÁ SRÁŽKA

HYBNOST

IMPULS SÍLY

II. NPZ

III. NPZ

ZZH

### Přehled pomůcek

- PASPORT Xplorer
- 2 PASPORT Motion Senzors
- 1,2 m PASCO Track
- 2 GO Cars
- digitální váha
- vodováha
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

### Radar

Mikrovlnná energie (používané frekvence se podle určení radiolokátoru pohybují od 30 MHz až po desítky GHz) jsou vysílány ve velmi krátkých impulzech o velkém výkonu (výkon je určující pro dosah a vlastnosti) a v pauzách jsou přijímány odražené vlny. Vyslané vlny se při šíření prostorem mohou odrážet od objektů (cílů) nebo od rozhraní jednotlivých prostředí (oblačnost, rozhraní teplého a studeného vzduchu atd.). Vzdálenosti detekovaných předmětů jsou určovány pomocí časové korelace vyslaného a přijímaného signálu. Zvláštním případem je pak radiolokátor se stálou vlnou, který negeneruje impulsy, nýbrž vyzařuje neustále a umožňuje tak jednoznačné měření délky jen na vzdálenost danou vlnovou délkou. Využívá se především k měření rychlosti, kde vzdálenost objektu není důležitá.

**Dopplerův posun**

Popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu, způsobenou nenulovou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače. Jev byl poprvé popsán *Christianem Dopplerem* v roce 1842. Jestliže pohyblivý zdroj vysílá signál s frekvencí  $f_0$ , pak stojící pozorovatel jej přijímá s frekvencí  $f$ :

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}}$$

kde  $v$  je rychlost vln v dané látce a  $v_{s,r}$  relativní radiální rychlost zdroje vůči pozorovateli (kladná rychlost znamená přibližování, záporná vzdalování). Pro stacionární zdroj a pohyblivý přijímač je situace obdobná.

$$f = f_0 \left( 1 + \frac{v_0}{v} \right),$$

kde  $v_0$  je rychlost přijímače a pro přibližující se přijímač je kladná, pro vzdalující se je pak záporná. Jedním z nejběžnějších příkladů, jak lze Dopplerův jev pozorovat, je změna výšky tónů vydávaných sirénou na vozidle projíždějícím okolo pozorovatele. Dopplerova jevu využívá řada měřicích přístrojů a zařízení, např. radary pro měření rychlosti vozidel nebo lékařské sonografy.

**Seznámení s úlohou**

Studentům je potřeba zdůraznit, aby byla dráha v absolutní rovině, pro přesnější měření. K vyvážení dráhy použít vodováhu.

 **Tip**

*Pokud jsou hmotnosti obou aut totožné, změny rychlosti při kolizi jsou lépe měřitelné.*

Zopakujeme pojem impuls síly a zákon zachování hybnosti.

Pro náš experiment zvolíme nejprve pružnou srážku.

**Doporučený postup**

1. Každá pracovní skupina obdrží „pracovní návod“ a každý student dostane „pracovní list“. Studenti si nejprve přečtou návod a teprve pak začnou s přípravou vlastního experimentu.
2. Dopoučujeme, aby každý člen pracovní skupiny dostal svůj specifický úkol. Pro čtyřčlennou skupinu například:
  - *student 1* – vedoucí týmu – ručí za to, že skupina bude při práci postupovat podle pracovního návodu,
  - *student 2* – koordinuje vyplňování pracovních listů a vyplněné pracovní listy vybírá (každý student si vyplní svůj pracovní list),
  - *student 3, 4* – mají na starosti sestavení/nastavení a obsluhu použitých přístrojů.

**Příprava úlohy**

Nechte studenty vyplnit (za domácí úkol nebo na začátku práce) slovníček v „pracovním listě“. Je nezbytné, aby studenti tyto části vypracovali před vlastní experimentální činností.

Zjistěte, jak studenti přípravnou část úlohy vypracovali.

**Materiály pro studenty**

„Pracovní návod“ postupně provede studenty („krok za krokem“) celou úlohou.

„Pracovní list“ slouží studentům k zaznamenání získaných dat, jejich analýze a pochopení.

**Záznam dat**

Postup při zaznamenávání dat je popsán v „pracovním listu“. Upozorněte studenty na to, že před vlastním započítáním měření je třeba úloze opravdu porozumět.

## Analýza dat

Naměřená data použijí studenti k zodpovězení otázek v „pracovním listu“.

V učitelské verzi pracovního listu jsou uvedeny typické odpovědi studentů.

## Syntéza a závěr

Poté, co studenti vyplní své „pracovní listy“, společně shrneme získané poznatky k vyslovení platnosti či neplatnosti ZZH v daném experimentu. Uvedeme, které skutečnosti mohly ovlivnit výsledek naměřených hodnot (tření, nakloněná rovina).

## Hodnocení

*(Viz dříve uvedené cíle.)*

- Sestavili a použili studenti laboratorní zařízení správně?
- Postupovali korektně podle pracovního postupu?
- Pochopili studenti ZZH při vzájemných srážkách?
- Vypracovali studenti správně své „pracovní listy“?
- Stanovili výsledné hybnosti správně?
- Jsou studenti schopni zdůvodnit případné rozpory v platnosti ZZH?

## Internetové odkazy a další zdroje

### Zákon zachování hybnosti

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kon\\_zachov%C3%A1n%C3%AD\\_hybnosti](http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kon_zachov%C3%A1n%C3%AD_hybnosti)

### Radary

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Port%C3%A1l:Radary>

### Dopplerův jev

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Doppler%C5%AFv\\_jev](http://cs.wikipedia.org/wiki/Doppler%C5%AFv_jev)



### Pasco zdroje

Na stránkách [www.pasco.com](http://www.pasco.com) a [www.pasco.cz](http://www.pasco.cz) naleznete řadu dalších zdrojů.



**FYZIKA**

laboratorní cvičení č. 3

**3**

• FYZIKA

**Zákon zachování hybnosti (návod)****Zadání úlohy**

Bude platit zákon zachování hybnosti (ZZH) při pružné a nepružné srážce? Změní se celková hybnost soustavy? Ověř platnost ZZH na základě naměřených hodnot rychlostí dvou aut před a po vzájemné srážce. Dané hodnoty použij k výpočtu hybností před a po kolizi.

**Pomůcky**

- PASPORT Xplorer
- 2 PASPORT Motion Sensors
- 1,2 m PASCO Track
- 2 GO Cars
- digitální váha
- vodováha
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

PRACOVNÍ NÁVOD



## Bezpečnost práce

*Pracujte pečlivě a v souladu s pracovním návodem. V laboratoři používejte laboratorní plášť a případně další pomůcky v souladu se správnou laboratorní praxí.*

## Teoretický úvod

Dvě auta na sebe působí při srážce silami akce a reakce. Pokud na ně nepůsobí jiná tělesa silou nebo pokud vliv těchto sil můžeme zanedbat, tvoří auta izolovanou soustavu. V izolované soustavě působí na tělesa jen vnitřní síly (vzájemné silové působení mezi tělesy této soustavy), nikoli však vnější síly (síly, kterými působí okolní tělesa).

V izolované soustavě dochází působením vnitřních sil mezi tělesy ke změně jejich hybnosti. Změní-li se za dobu  $\Delta t$  působením síly  $F_1$  hybnost jednoho auta o  $\Delta p_1$  a působením síly  $F_2$  hybnost druhého auta o  $\Delta p_2$ , pak celková změna hybnosti dané soustavy

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2.$$

Po úpravě

$$\Delta p = F_1 \Delta t + F_2 \Delta t = (F_1 + F_2) \Delta t.$$

Protože jsou síly  $F_1$  a  $F_2$  stejně veliké a opačného směru, platí  $F_1 = -F_2$  a celková změna hybnosti  $\Delta p = 0$ . Nulová změna hybnosti znamená, že se celková hybnost soustavy dvou aut při vzájemné srážce nezměnila a platí

$$p = p_1 + p_2 = \text{konst.}$$

Tento závěr platí pro izolovanou soustavu libovolného počtu těles, nazývá se *zákon zachování hybnosti (ZZH)* a je důsledkem třetího Newtonova pohybového zákona.

**Celková hybnost izolované soustavy těles se vzájemným silovým působením nezmění.**

ZZH při srážce dvou aut se dá vyjádřit matematickou rovnicí

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = m_1 \mathbf{v}_1' + m_2 \mathbf{v}_2'$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 - m_1 \mathbf{v}_1' = m_2 \mathbf{v}_2' - m_2 \mathbf{v}_2$$

$$m_1 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_1') = -m_2 (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_2')$$

$$m_1 \Delta \mathbf{v}_1 = -m_2 \Delta \mathbf{v}_2$$

## Příprava úlohy (praktická příprava)

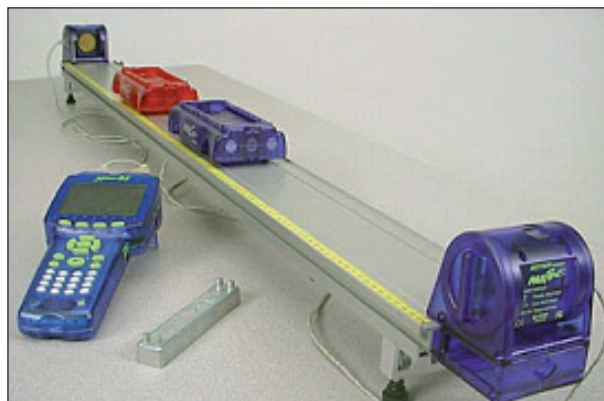
Nejprve zpracujte slovníček a teoretickou přípravu na „pracovním listě“ a teprve potom začněte pracovat v laboratoři.



## Postup práce

### Příprava měření

1. Postavte dráhu tak, aby se auta nepohybovala a byla v klidu.
2. Upevněte senzory na opačné konce dráhy.
3. Určete hmotnost každého auta.

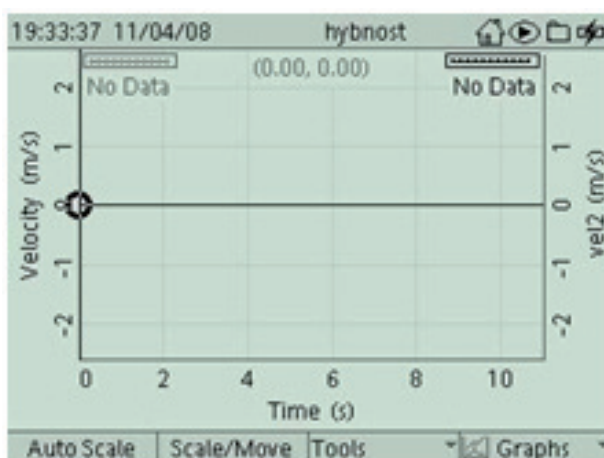


Obrázek 1

### Nastavení HW a SW

#### Nastavení GLX

1. Zapněte GLX (☺) a otevřete soubor nazvaný „hybnost“. Měření je nastaveno s frekvencí 20 Hz. Na svislé ose se zobrazí rychlost, na vodorovné ose čas. V grafu se budou zobrazovat měření z obou senzorů.
2. Připojte první senzor do portu 1, druhý senzor do portu 2.
3. Na senzoru zvolte ikonu vozíčku (viz obr. 3).



Obrázek 2



Obrázek 3

### Vlastní měření (záznam dat)

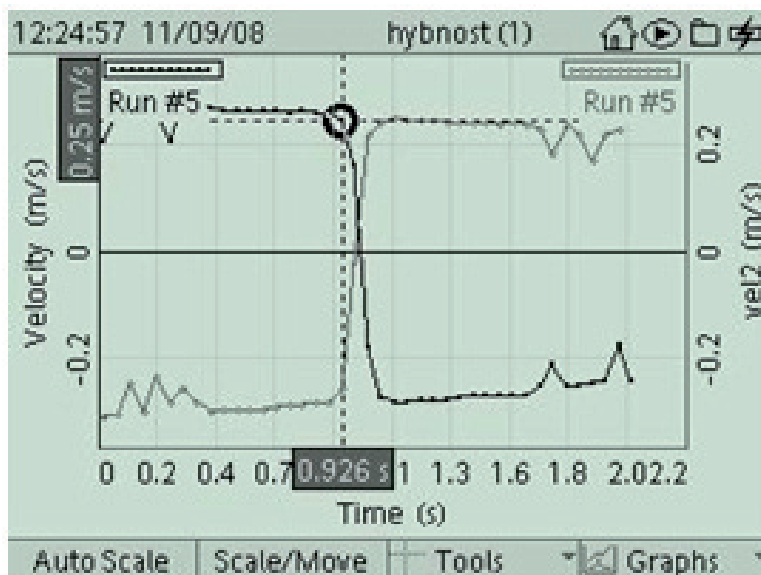
1. Postavte obě auta na dráhu. Červené auto umístěte před senzor zapojený do portu 1, měřené hodnoty označte #1 a modré auto umístěte před senzor zapojený do portu 2 a naměřené hodnoty označte #2. Auta umístěte nejméně 15 cm před senzory.
2. Stiskněte **Start** (▶) a začněte měřit.
3. Uvedte do pohybu proti sobě obě auta.
4. Po návratu aut do výchozí pozice ukončete měření opětovným stiskem tlačítka **Start** (▶).

## Analýza naměřených dat

1. Změnu velikosti zobrazených dat proveďte stiskem tlačítka **F1**.
2. K určení rychlosti auta před senzorem #1 použijte nástroj **Smart tool**. Stiskněte **F3** a v menu zvolte „Smart tool“, stiskněte  pro potvrzení volby. Použijte šipky k pohybu po grafu a odečtěte rychlost před srážkou. Hodnotu zapište do tabulky. Stejným způsobem určete rychlost po srážce. A vše opakujte pro určení hodnot před senzorem #2.



Obrázek 4



Obrázek 5

3. Z naměřených hodnot vypočítejte hybnosti každého auta před a po srážce.
4. Určete celkovou hybnost soustavy aut před srážkou a porovnejte ji s celkovou hybností po srážce.
5. Měření opakujte 10×.
  - V jednotlivých měřeních změňte hmotnosti aut,
  - vyzkoušejte různé typy srážek (např. jedno auto v klidu),
  - vyzkoušejte pružné a nepružné srážky.

### Poznámka:

První body zobrazené v grafu po nepružné srážce mohou odrážet vzájemnou interakci suchého zipu na autech a mít vlastnosti pružné deformace, proto použijte k určení rychlosti bod, ve kterém už není zahrnuta vibrace při srážce a rychlost se stabilizuje (přibližně pátý bod po kolizi).

## FYZIKA

laboratorní cvičení č. 3

3

• FYZIKA

## Zákon zachování hybnosti pracovní list (učitel)

### Slovníček pojmů

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.



#### Pružná srážka:

*typ srážky, při které auta po kolizi nezůstanou spojena suchým zipem. Pokud na soustavu nepůsobí vnější síly, platí ZZH.*

#### Nepružná srážka:

*typ srážky, při které zůstanou auta po kolizi spojena suchým zipem. Pokud na soustavu nepůsobí vnější síly, platí ZZH.*

#### Hybnost:

*hybnost tělesa  $\mathbf{p}$  je vektor, definovaný jako součin hmotnosti  $m$  a okamžité rychlosti tělesa  $\mathbf{v}$ , tedy*

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}.$$

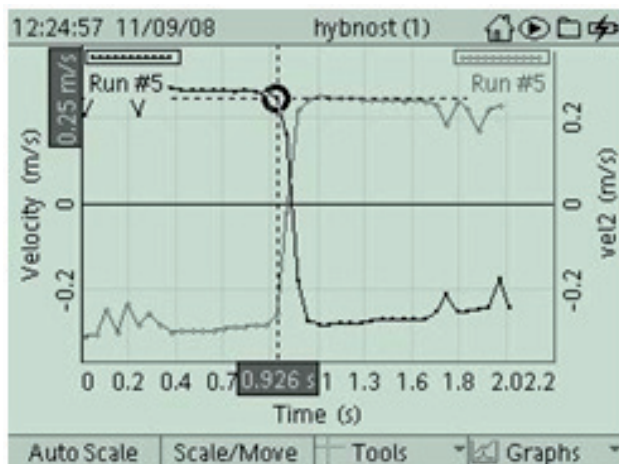
## Teoretická příprava úlohy

### Hypotéza

Bude platit ZZH při pružné a nepružné srážce? Změní se celková hybnost soustavy?

*Odpověď (může se lišit): Ano, změní se, pokud na soustavu působí vnější síly. Pokud nepůsobí vnější síly je celková hybnost soustavy před a po srážce stejná.*

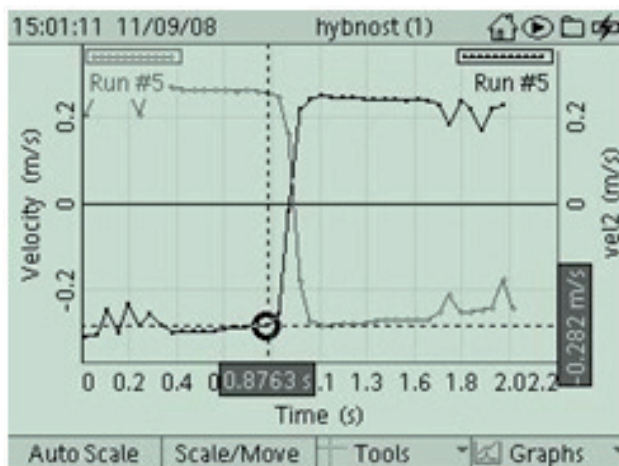
## Vizualizace naměřených dat



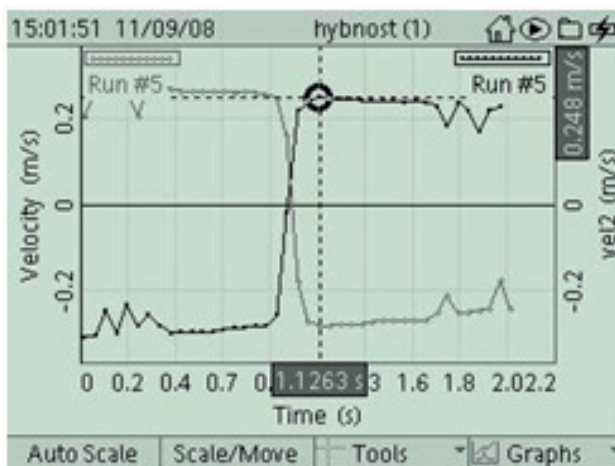
Obrázek 6



Obrázek 7



Obrázek 8



Obrázek 9

## Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

	hmotnost [kg]		rychlost před srážkou [m/s]		rychlost po srážce [m/s]	
	auto #1	auto #2	auto #1	auto #2	auto #1	auto #2
1	0,250	0,250	0,25	-0,248	-0,28	0,282

Výpočty:

	celková hybnost před srážkou [kg·m/s]	celková hybnost po srážce [kg·m/s]
1	0,0005	0,0005

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = m_1 \mathbf{v}_1' + m_2 \mathbf{v}_2'$$

$$0,25 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot (-0,248) = 0,25 \cdot (-0,28) + 0,25 \cdot 0,282$$

## Závěr

1. Jak se změnila celková hybnost soustavy po srážce?

*Celková hybnost soustavy se nezměnila.*

2. Pokud jsou hodnoty celkové hybnosti soustavy před a po srážce různé uveďte, co je příčinou.

*Tření, odpor vzduchu, aj.*

3. Byla vaše hypotéza správná?

*Odpovědi na otázky se mohou lišit.*



## Pracovní list studenta

skupina:.....

jméno:..... třída:..... datum:.....

### Slovníček pojmů

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.

#### Pružná srážka:

#### Nepružná srážka:

#### Hybnost:

## **Teoretická příprava úlohy**

### *Hypotéza*

Bude platit ZZH při pružné a nepružné srážce? Změní se celková hybnost soustavy?

## **Vizualizace naměřených dat**



## Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

	hmotnost [kg]		rychlost před srážkou [m/s]		rychlost po srážce [m/s]	
	auto #1	auto #2	auto #1	auto #2	auto #1	auto #2
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Výpočty:

	celková hybnost před srážkou [kg·m/s]	celková hybnost po srážce [kg·m/s]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

## Závěr

1. Jak se změnila celková hybnost soustavy po srážce?

2. Pokud jsou hodnoty celkové hybnosti soustavy před a po srážce různé uveďte, co je příčinou.

3. Byla vaše hypotéza správná?