

**Meno:**

**Ročník a trieda:**

## **Laboratórne cvičenie**

### **Pád ľahkých telies vo vzduchu**

#### **Úlohy:**

- Vyšetrit' zákonitosti pohybu ľahkých telies v zvislom smere v blízkosti zemského povrchu
- Analyzovať pohyb telies v zvislom smere v blízkosti zemského povrchu s odporom vzduchu

**Pomôcky:** systém COACH s panelom COACHLAB II, video pádu ľahkých telies (bedmintonové košíčky, papierové košíčky, kávové filtre)

## Fyzikálny princíp:

Počas pohybu telies v odporujúcom prostredí (napr. vzduch) pôsobia na teleso dve sily: tiažová sila  $F_G = mg$  a odporová sila  $F_0$ , ktorej veľkosť závisí od rýchlosti pohybu. Vo všeobecnosti možno pre veľkosť odporovej sily písať:

$$F_0 = k_1 v + k_2 v^2,$$

V závislosti od veľkosti rýchlosti pritom dominuje prvý člen (pri malých rýchlostiach), resp. druhý člen (pri veľkých rýchlostiach). V každom prípade to teda znamená, že s rastúcou rýchlosťou veľkosť odporovej sily rastie, až dojde k vyrovnaniu odporovej a tiažovej sily a od toho okamihu teleso padá rovnomerným pohybom s konečnou rýchlosťou  $v_0$ .

Sformulovaním pohybovej rovnice pre prvý prípad dostávame:

$$mg - kv = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

Riešením tejto diferenciálnej rovnice dostávame analytické riešenie pre veľkosť rýchlosti, ktoré získame za predpokladu, že v čase  $t=0$  je  $v=0$ :

$$v = \frac{mg}{k} (1 - e^{-\frac{k}{m}t})$$

Pre polohu  $y$  v súradnej sústave s počiatkom v mieste pustení telesa s  $y$ -ovou osou smerujúcou nadol následne dostávame:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{mg}{k} (1 - e^{-\frac{k}{m}t})$$

$$y = \frac{mg}{k} t + \frac{m^2 g}{k^2} (e^{-\frac{k}{m}t} - 1)$$

Z rovnosti gravitačnej a odporovej sily  $mg = k \cdot v_0$  pre konečnú rýchlosť telesa platí:

$$v_0 = \frac{mg}{k}$$

Z rovnice vyplýva, že v tomto prípade je konečná rýchlosť pádu priamoúmerná hmotnosti telesa.

Sformulovaním pohybovej rovnice pre druhý prípad dostávame:

$$mg - kv^2 = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

Riešenie tejto diferenciálnej rovnice vedie k zložitejšiemu analytickému riešeniu.

Z rovnosti gravitačnej a odporovej sily  $mg = k \cdot v_0^2$  pre konečnú rýchlosť telesa platí:

$$v_0 = \sqrt{\frac{mg}{k}}$$

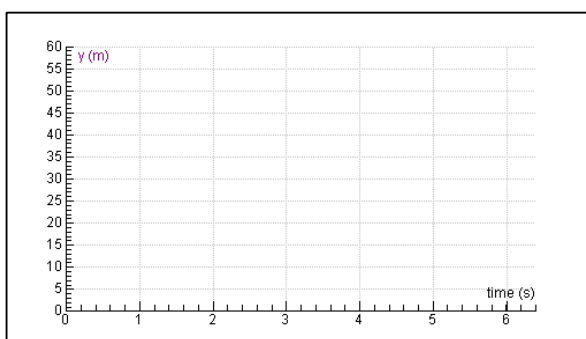
Z rovnice vyplýva, že v tomto prípade je konečná rýchlosť pádu priamoúmerná druhej odmocnine hmotnosti telesa.

## Postup videomerania:

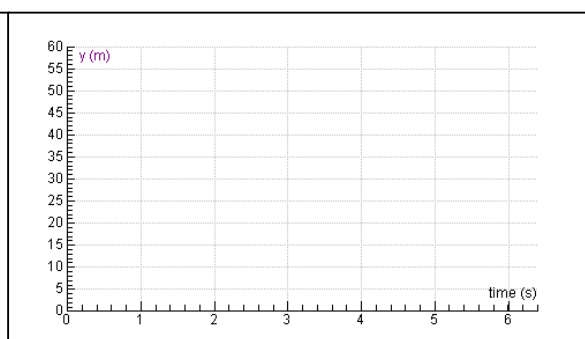
1. Otvorte aktivitu „**pad\_bedminton**“ (alebo „**pad\_kosiky**“). V tejto aktivite budete skúmať, ako sa mení poloha bedmintonového košíka (kávového filtra, papierového košíčka) počas jeho pohybu. Do aktivity vložte postupne video s pádom jedného, dvoch a viacerých bedmintonových košíkov (resp. filtrov alebo košíčkov).

2. Pred začatím si videoklip prehrajte. Popíšte pohyb padajúceho telesa.
3. Súradnicové osi a potrebné grafy sú už pripravené. Stlačením pravého tlačidla myši a kliknutím na ponuku *AXES (Zobraz/Osi)* si ich môžete zviditeľniť. Všimnite si, kde má súradnicová sústava počiatok a aké je škálovanie súradnicových osí.
4. Pokiaľ súradnicové osi nie sú pripravené, v ponuke *CHANGE SCALE (Zmeň mierku!, resp. COORDINATE SYSTEM (Súradnicový systém))* umiestnite počiatok súradnicovej sústavy do miesta, odkiaľ padá teleso, kladnú os y nasmerujte nadol a určte mierku na základe pravítka dĺžky 1m, ktoré je umiestnené na zemi vpravo od padajúceho telesa.
5. Keďže je videoklip nasnímaný s frekvenciou 300 snímok za sekundu, v ponuke *TIME CALIBRATION (Kalibrácia/čas)* nastavte túto frekvenciu.
6. Meranie realizujte automatickým sledovaním bodu *POINT TRACKING (Sledovanie bodu)*.
7. Ešte pred začatím merania sa pokúste predpovedať priebeh závislosti. Svoju predpoveď zakreslite do pripraveného obrázka:

PREDPOVEĎ

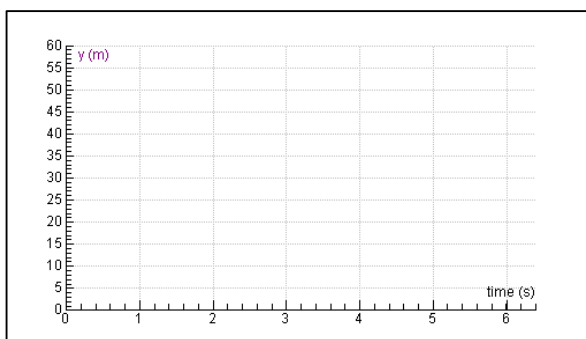


VÝSLEDOK

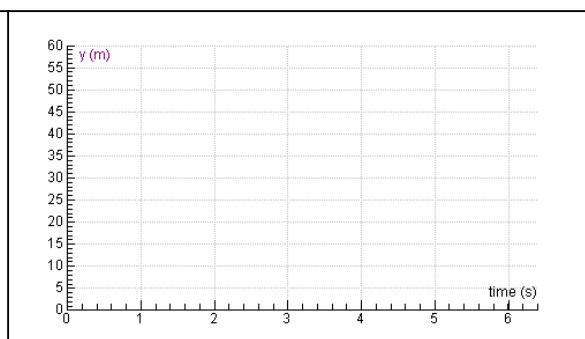


8. Na obrazovke sa zobrazí graf závislosti polohy košíka od času. Porovnajme výsledok merania s vašou predpoveďou a zaznamenajte ho do pripraveného grafu.
9. Meranie opakujte pre iný počet košíkov. Výsledok každého merania uložte.
10. Zakreslite vašu predpoveď o priebehu sledovanej závislosti pre rozličný počet padajúcich košíkov.

PREDPOVEĎ



VÝSLEDOK



## Analýza merania:

### Aktivita 1: Aká padajú vo vzduchu ľahké telesá?

1. Porovnajzte grafy odpovedajúce pádu košíka s grafmi odpovedajúcimi voľnému pádu lopty. Padá košík tiež s konštantným zrýchlením? Ak nie, ako by ste popísali pohyb košíka? Mení sa rýchlosť pohybu počas pádu košíka? Ak áno, ako?
2. Je tiažová sila jedinou silou pôsobiaceou na košík? Ak existuje ešte nejaká iná sila, aký je jej smer a veľkosť v porovnaní s tiažovou silou?.
3. Je výsledná sila pôsobiaca na košík počas pohybu konštantná alebo sa jej veľkosť mení? Zakreslite vektorový diagram síl pôsobiacich na košík počas pádu košíka aspoň pre 3 za sebou nasledujúce okamihy.

## Aktivita 2: Ako závisí odporová sila od rýchlosti pohybu?

1. Pre každý výsledok merania určte konečnú rýchlosť padajúceho telesa (pomocou smernice záverečnej lineárnej časti grafu)

Počet košíkov	Konečná rýchlosť	Hmotnosť
	$v/m/s$	$m/kg$

2. Zistite hmotnosť padajúcich telies
3. Zostrojte graf závislosti konečnej rýchlosti od hmotnosti. Aká je táto závislosť?
4. Aký je vzťah medzi silami pôsobiacimi na teleso od okamihu, kedy teleso dosiahne konečnú rýchlosť? Vyjadrite z rovnice konečnú rýchlosť pádu. Aká je táto závislosť?

5. Fitujte graf závislosti konečnej rýchlosti od hmotnosti vhodnou funkciou. Zapíšte typ závislosti a hodnoty konštánt:

$y =$

6. Ako závisí odporová sila od rýchlosti pre snímané pohyby?

## **Záver**