

## 2.9 Zrýchlenie padajúcich telies

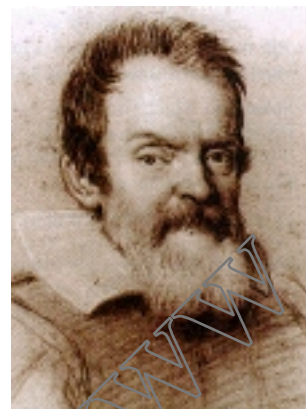
Zo skúsenosti vieme, že telesá voľne pustené z určitej výšky padajú smerom k Zemi zrýchleným pohybom.

### Úloha 1

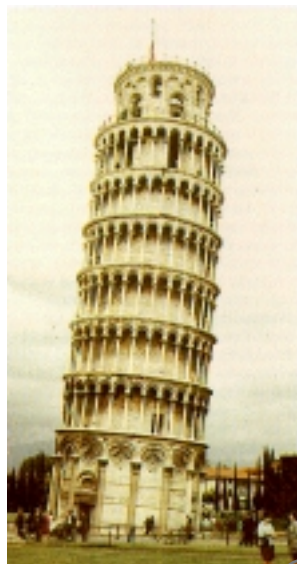
Pripravte si list papiera a kovovú guľôčku. Zdvihnite obidve telesá do rovnakej výšky a súčasne ich uvoľnite. Pozorujte ich pohyb a dopad.



- Ktoré z dvoch telies dopadlo na podlahu ako prvé?
- Ako vysvetľujeme, že voľne pustené telesá padajú na zem?
- Prečo kovová guľôčka padá rýchlejšie ako list papiera?
- Vyslovte svoj predpoklad, ako by mal prebehnúť pokus s dvoma kovovými guľôčkami a presvedčte sa o jeho správnosti.



**Galileo Galilei**  
(1564 - 1642)



Na myšlienku preskúmať pohyb padajúcich telies prišiel ako prvý taliansky prírodovedec a mysliteľ Galileo Galilei. Uvádza sa, že svoje pokusy robil púšťaním telies z naklonenej veže - zvonice v Pise (Taliansko), obr. 54. Meral pritom čas pádu a dráhu pohybu telies pustených z rôznej výšky. Meranie času vyriešil vážením vody, ktorá počas pozorovaného pádu vytiekla otvorom v nádobe.

Potvrdil sa jeho predpoklad, že pri páde rozličných telies sa rôzne uplatňuje odpor vzduchu.

Pád telies s vylúčením vplyvu odporu vzduchu môžeme pozorovať v Newtonovej trubici podľa obr. 55. Trubicu dáme do zvislej polohy a na jej dno uložíme niekoľko drobných predmetov s rôznou hmotnosťou. V trubici znížime tlak odčerpaním vzduchu. Keď ju otočíme o  $180^\circ$  zistíme, že telieska padajú súčasne rovnakou okamžitou rýchlosťou, nezávisle od ich hmotnosti.

Obr 54. Šikmá veža v Pise

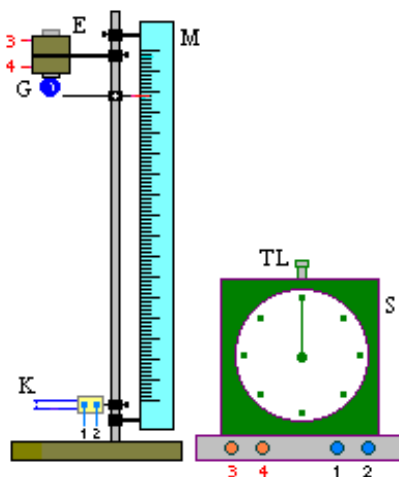
### Úloha 2

Každé teleso si môžeme predstaviť zložené z viacerých častí s rôznou hmotnosťou. Pripusťme, že okamžitá rýchlosť pádu súčasne pustených telies by závisela od ich hmotnosti. Ako by sa to malo prejaviť na okamžitej rýchlosti jednotlivých častí zloženého telesa?



Obr. 55 Pád kameňa a pierka vo vzduchu a v zriedenom vzduchu

Z výsledkov svojich pokusov G. Galilei usúdil, a neskoršie sa to potvrdilo, že dráha pohybu telies padajúcich vo vákuu je priamo úmerná druhej mocnine času. Matematicky to môžeme zapísať rovnicou  $s = kt^2$ , kde  $k$  je konštanta úmernosti. Zodpovedá to rovnomerne zrýchlenému pohybu s nulovou začiatočnou rýchlosťou.



Obr. 56 Zariadenie na štúdium pádu telie

Platnosť uvedeného vzťahu môžeme overiť v laboratóriu meraním dráhy a času pri páde skutočných telies vo vzduchu. Podmienky pokusov treba upraviť tak, aby sa odpor vzduchu a nadľahčovanie telies vo vzduchu prejavili v zanedbateľnej miere. Dosiahneme to, ak zvolíme kovové teleso napr. v tvare gule s malým polomerom (napr. 0,5 cm) a meranie robíme na krátkych úsekoch trajektórie (napr. na celkovej dráhe 1m s odstupňovaním po 20 cm).

Zariadenie znázornené na obr. 56 tvorí zvislý stojan opatrený stupnicou M na meranie dĺžky, elektromagnet E na upnutie oceľovej guľôčky G a stopky S, ktorými meriame čas pádu. Stopky sa v momente stlačenia tlačidlového spínača TL uvedú do chodu a súčasne sa guľôčka uvoľní. V okamihu dopadu guľôčky na spínacie kontakty K umiestnené na konci jej trajektórie, sa stopky zastavia.

V súčasnosti vieme, že príčinou zrýchleného pohybu telies padajúcich na Zem je **gravitačné pole Zeme**. V tomto poli pôsobí na každé teleso **tiažová sila** a spôsobuje jeho zrýchlený pohyb so zrýchlením, ktoré sa nazýva **tiažové zrýchlenie**. Podmienky, pri ktorých sila udeľuje telesu zrýchlenie, budeme študovať v dynamike.

Všetky telesá padajú v blízkosti Zeme vo vákuu s rovnakým a konštantným tiažovým zrýchlením  $g$ . Pohyb voľne padajúcich telies je preto priamočiary rovnomerne zrýchlený, a nazývame ho **voľný pád**. Smerom tiažového zrýchlenia kdekoľvek na zemskom povrchu je určený **zvislý smer**.



Veľkosť  $g$  tiažového zrýchlenia závisí od geografickej šírky daného miesta na zemskom povrchu a na jeho vzdialenosti od stredu Zeme. Pri hladine mora sa mení v intervale približne od  $9,78 \text{ m.s}^{-2}$  do  $9,83 \text{ m.s}^{-2}$ . Medzinárodne dohodnutá štandardná veličina **normálne tiažové zrýchlenie** má hodnotu presne  $g_n = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$ . Pre praktické účely používame približnú hodnotu  $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ , alebo aj  $10 \text{ m.s}^{-2}$ .

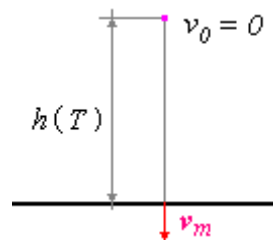
Voľný pád je zvláštnym prípadom rovnomerne zrýchleného priamočiareho pohybu so zrýchlením s veľkosťou  $a = g = \text{konšt.}$  a s nulovou začiatočnou rýchlosťou. Pre okamžitú rýchlosť  $v$  a dráhu  $s$  voľného pádu preto platia vzťahy

$$v = gt \quad s = \frac{1}{2}gt^2$$

### Príklad

Vypočítajte, ako dlho by trval voľný pád telesa z výšky 100 m, a akou rýchlosťou by teleso dopadlo na zem.

Riešenie

 $h = 100 \text{ m}$  (výška nad zemským povrchom) $T = ?$  (čas pádu) $v_d = ?$  (rýchlosť dopadu)

Dráha voľného pádu za čas  $T$  je  $s = h = \frac{1}{2} g T^2$ . Odtiaľ  $T = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ .

Rýchlosť voľného pádu pri dopade je  $v_d = g T$ . Po dosadení za  $T$  a po úprave je  $v_d = \sqrt{2gh}$ .  
Čas pádu

$$T \doteq \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \text{ m}}{10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}} = \sqrt{20 \text{ s}^2} \doteq 4,5 \text{ s}, \quad v_d = \sqrt{2 \cdot 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 100 \text{ m}} \doteq 45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Hmotný bod by padal voľným pádom z výšky 100 m asi 4,5 s. Tesne pred dopadom na zem by mal rýchlosť približne  $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Úloha 3**

Akú rýchlosť nadobudne voľne padajúce teleso po uplynutí prvej, druhej a tretej sekundy svojho pádu? Akú dráhu za tieto časové intervaly prejde?

**Úloha 4**

Určte približný čas pádu skokana, ktorý prekonal latku vo výške 2,1 m. Akou rýchlosťou dopadne na doskočisko?

**Úloha 5**

Vypočítajte z akej výšky by muselo dopadnúť na zem voľným pádom auto, aby deformačný účinok bol rovnaký, ako pri jeho náraze na pevnú prekážku najväčšou dovolenou rýchlosťou pri jazde v obci?

**Úloha 6**

Určte dráhu, ktorú prejde teleso v piatej sekunde svojho voľného pádu.

**Úloha 7**

Navrhňte, ako možno určiť približnú hĺbku studne, keď máme k dispozícii iba stopky a kameň. Čo nemôžeme zanedbať, ak chceme poznať hĺbku studne presnejšie?

**Otázky a úlohy**

1. Aký záver môžeme vysloviť na základe pozorovania pádu rôznych telies v Newtonovej trubici?
2. Aký pohyb vykonáva voľne pustené teleso a) vo vzduchu, vode, b) vo vákuu?
3. Čo je a) tiažové zrýchlenie, b) normálne tiažové zrýchlenie?
4. Čím je v každej zemepisnej polohe daný zvislý smer?
5. Napíšte vzťahy vyjadrujúce závislosť veľkosti rýchlosti a dráhy voľného pádu od času.
6. Načrtnite graf rýchlosti a graf dráhy voľného pádu.
7. Zdôvodnite, prečo pád parašutistu pred otvorením padáka nie je voľný pád.