

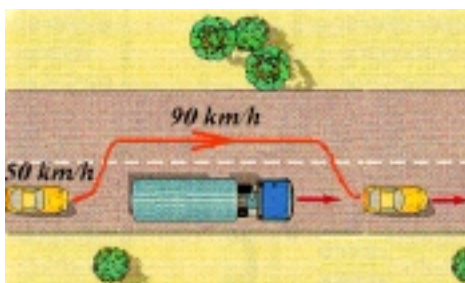
2.7 Nerovnomerný pohyb. Zrýchlenie

Zopakujte si

1. Prečo je rýchlosť vektor?
2. Akú veľkosť a smer má okamžitá rýchlosť pri rovnomernom pohybe a) priamočiariom, b) krivočiariom?
3. Ktorá veličina má pri rovnomernom priamočiariom pohybe konštantnú veľkosť?
4. Ako závisí dráha rovnomerného pohybu od času?
5. Čo je graf dráhy a graf rýchlosti?

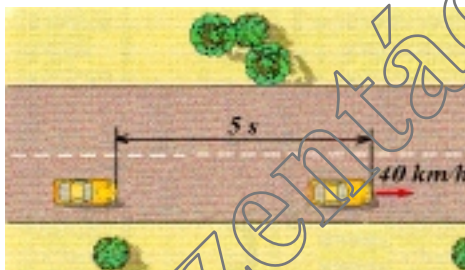


Prezrite si pozorne obr. 39 – 41 a opíšte priebeh pohybu motorových vozidiel v jednotlivých dopravných situáciách z hľadiska veľkosti a smeru ich rýchlosti.



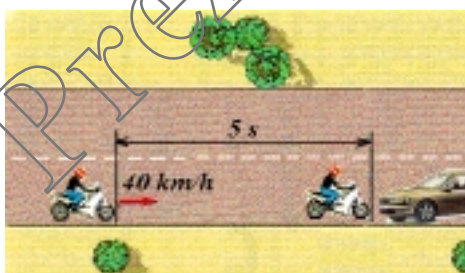
Obr. 39

Osobný automobil sa pohybuje za nákladným autom rýchlosťou $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Rozhodne sa predbiehať. Najprv počas 5 s zväčší svoju rýchlosť na $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Potom odbočí do ľavého jazdného pruhu a uskutoční predbiehanie.



Obr. 40

Automobil sa rozbieha z pokoja a za prvých 5 s svojho pohybu zväčší rýchlosť na $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

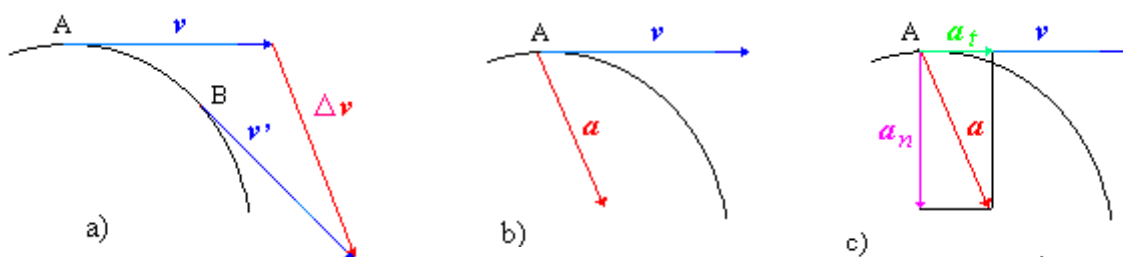


Obr. 41

Motocykel má rýchlosť $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Vodič spozoruje pred sebou prekážku, začne brzdiť a za 5 s tesne pred prekážkou zastane.

Pohyby dopravných prostriedkov, ktoré sme sledovali, sú príkladmi **nerovnomerného pohybu**, pri ktorom sa v priebehu času mení okamžitá rýchlosť. Veličina, ktorou charakterizujeme časovú zmenu rýchlosti nazývame **zrýchlenie**.

Na obr. 42 a sú znázornené vektory \mathbf{v} a \mathbf{v}' okamžitej rýchlosti hmotného bodu, ktorý prechádza v čase t a $t + \Delta t$ bodmi A, B svojej zakrivenej trajektórie. Predpokladáme nerovnomerný pohyb, pri ktorom je $|\mathbf{v}'| > |\mathbf{v}|$. Zmenu rýchlosti za čas Δt vyjadruje vektor $\Delta \mathbf{v}$.



Obr. 42 Zmena rýchlosti pri krivočiarom pohybe

Vektor \mathbf{v}' pritom považujeme za výslednicu skladania vektora rýchlosti \mathbf{v} a vektora $\Delta \mathbf{v}$ (obr.42 a). Zapišeme to symbolickým vzťahom $\mathbf{v}' = \mathbf{v} + \Delta \mathbf{v}$. Z toho vyplýva, že

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}' - \mathbf{v}, \text{ alebo } \Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}' + (-\mathbf{v})$$

Zrýchlenie pohybu budeme posudzovať podľa toho, aká zmena rýchlosti nastane za časovú jednotku. Na určenie okamžitého zrýchlenia \mathbf{a} okolo bodu A zvolíme veľmi malý časový interval Δt , aby sa bod B čo najviac priblížil k bodu A. Na obr.42 b je vektor \mathbf{a} zrýchlenia znázornený pre čas $\Delta t \rightarrow 0$, za ktorý bod B takmer splynie s bodom A.

Zrýchlenie \mathbf{a} v danom bode trajektórie je definované podielom

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \text{ pre } \Delta t \rightarrow 0$$

a nazývame ho **okamžité zrýchlenie**. Zrýchlenie je vektorová fyzikálna veličina, ktorá má smer zmeny $\Delta \mathbf{v}$ vektora rýchlosti.



Veľkosť zrýchlenia je určená podielom

$$|\mathbf{a}| = \frac{|\Delta \mathbf{v}|}{\Delta t} \text{ t. j. } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ pre } \Delta t \rightarrow 0$$

Jednotkou zrýchlenia je $[a] = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

K zmene $\Delta \mathbf{v}$ okamžitej rýchlosti za čas Δt všeobecne prispieva nielen zmena veľkosti rýchlosti, ale aj zmena jej smeru. Aby sme tieto dva príspevky k zrýchleniu od seba odlišili, rozkladáme vektor \mathbf{a} na dve navzájom kolmé zložky (obr. 42 c).

Tangenciálne (dotyčnicové) **zrýchlenie \mathbf{a}_t** má smer okamžitej rýchlosti.

Vzniká ako dôsledok zmeny veľkosti rýchlosti a pri rovnomernom pohybe je nulové.

Normálové zrýchlenie \mathbf{a}_n je kolmé na okamžitú rýchlosť.

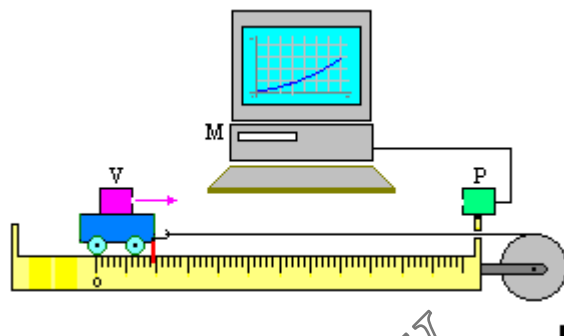
Vzniká ako dôsledok zmeny smeru rýchlosti a pri priamočiarom pohybe je nulové.

Pre zrýchlenie platia vzťahy

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n, \quad a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

Hodnoty rýchlosti a jej časové zmeny pri priamočiarnom pohybe môžeme pokusne pozorovať a zaznamenávať na demonštračnom zariadení podľa obr. 43.

Vozíček (obr. 43) sa pohybuje po koľajničkách, alebo na tzv. vzduchovom vankúši. Pohyb vozíčka je ovplyvňovaný prostredníctvom nite tiahou závažia. Na vozíčku je umiestnený ultrazvukový vysielač. Jeho signál je pre ľudské ucho nepočuteľný. Nehybný ultrazvukový prijímač na ultrazvuk reaguje a dokáže vyhodnotiť rýchlosť a polohu zdroja 20 krát za sekundu. V spolupráci s počítačom získame napr. graf závislosti rýchlosti vozíčka od času. Z grafov môžeme určiť aj hodnoty zmeny rýchlosti v rôznych časových intervaloch.



Obr. 43 Zariadenie na meranie okamžitej rýchlosti

Zo zmeny $\Delta v = v - v_0$ veľkosti rýchlosti za čas $\Delta t = t - t_0$ môžeme vypočítať strednú hodnotu rýchlosti, ktorú budeme nazývať **priemerné zrýchlenie**

$$a_p = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Nerovnomerný pohyb môže byť

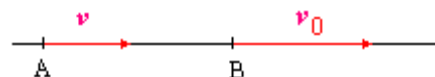
zrýchlený - veľkosť rýchlosti sa zväčšuje (tangenciálne zrýchlenie je $a_t > 0$)

spomalený - veľkosť rýchlosti sa znižuje (tangenciálne zrýchlenie je $a_t < 0$)

Pri **nerovnomernom pohybe priamočiarnom** sa smer okamžitej rýchlosti nemení. Veľkosť rýchlosti však, na rozdiel od rovnomerného pohybu, závisí od času.

Príklad 1

Na obr. 44 je znázornená trajektória priamočiareho pohybu a vektory v , v_0 okamžitých rýchlostí hmotného bodu, ktorý v čase t_0 prechádzal bodom A a v čase $t > t_0$ bodom B. Vyjadrite veľkosť vektora Δv . Aký je smer zrýchlenia ak je a) $v > v_0$, b) $v < v_0$?



Obr. 44 Zrýchlený priamočiary pohyb

Riešenie

Ak sa veľkosť rýchlosti za čas $\Delta t = t_2 - t_1$ zmení z hodnoty v_1 na v_2 , môžeme zmenu veľkosti rýchlosti vyjadriť vzťahom

$$|\Delta v| = |v| - |v_0| = v - v_0$$

Pre $v > v_0$ je pohyb zrýchlený a smer vektorov Δv aj a je zhodný so smerom vektorov v , v_0 .

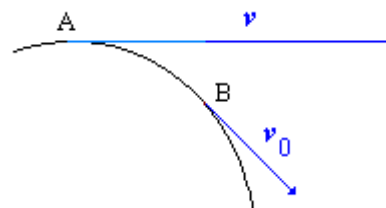
Pre $v < v_0$ je pohyb spomalený a smer vektorov Δv aj a je opačný, ako smer vektorov v , v_0 .

Príklad 2

Použite obr. 45 a

a) vyjadrite veľkosť zmeny rýchlosti medzi bodmi A, B krivočiarej trajektórie a zostrojte vektor Δv ,

b) načrtnite vektor a okamžitého zrýchlenia v bode A a zostrojte jeho zložky a_t , a_n podľa vzoru na obr. 42.



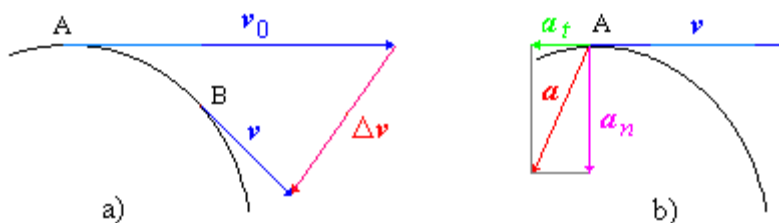
Obr. 45 Spomalený krivočiary pohyb.

Riešenie

a) **Pri krivočiariom pohybe** sa smer vektora rýchlosti mení. Jeho zmena má veľkosť

$$|\Delta v| = |v - v_0|$$

b) Grafické riešenie je na obr. 46.



Obr. 46 a) Zmena rýchlosti je daná vektorom Δv b) Vektor a rozkladáme na zložky a_t a a_n

Pre rovnomerný priamočiary pohyb je tangenciálne aj normálové zrýchlenie nulové. Pre hodnoty $v < v_0$ ide o pohyb spomalený. Tangenciálne zrýchlenie a_t v bode A má opačný smer, ako rýchlosť.

**Úloha 1**

Mesačná sonda sa pohybovala rýchlosťou 9000 km.h^{-1} . Jej pristávacia rýchlosť bola určená na hodnotu $4,8 \text{ km.h}^{-1}$. Aký čas pred pristátím boli zapnuté brzdiace trysky raketového motora, keď priemerné zrýchlenie počas brzdenia malo veľkosť $1,39 \text{ m.s}^{-2}$? [1797,6 s]

**Úloha 2**

Jeden z parametrov uvádzaných výrobcami áut je čas, za ktorý auto zrýchli z pokoja na 100 km.h^{-1} . Automobil Škoda Felícia dosiahla túto rýchlosť za čas 14 s. S akým priemerným zrýchlením sa pri tomto teste pohyboval? [1,98 m.s^{-2}]

**Otázky a úlohy**

1. Ktorou veličinou vyjadrujeme zmenu rýchlosti?
2. Zostrojte vektor zmeny rýchlosti pre a) priamočiary pohyb, b) krivočiary pohyb.
3. Ako sa nazýva vektorová veličina, ktorá vyjadruje časovú zmenu rýchlosti?
4. Napište definčný vzťah pre okamžité zrýchlenie.
5. Čím je daný smer zrýchlenia?
6. Napište vzťah, ktorým je určená veľkosť okamžitého zrýchlenia.
7. Nakreslite vektorovú priamku okamžitého zrýchlenia pri a) priamočiariom pohybe, b) krivočiariom pohybe.
8. Určte jednotku zrýchlenia.
9. Vysvetlite rozdiel medzi tangenciálnym a normálovým zrýchlením.
10. Pomenujte pohyby, pre ktoré a) je niektorá zložka zrýchlenia nulová, b) sú obe zložky zrýchlenia nulové