

## 1.1.4 Měření pohybu, změna veličiny

### Předpoklady: 1103

Většina fyzikálních kursů začíná stejně – studiem pohybu - asi nejnápadnějšího fyzikálního jevu. Tato část fyziky se nazývá kinematika (hmotného bodu).

Jako začátečníci si budeme klást nižší cíle a prozkoumáme něco, co se pohybuje opravdu pomalu - šneka.

**Pedagogická poznámka:** Pokud budete provádět pokus se šnekem (což doporučuji, studenty to opravdu zaujme), budete na tuto hodinu potřebovat dvě vyučovací. V první se studenty vymyslíte postup a naměříte pohyb šneka, ve druhé potom začnete pokus zpracovávat.

**Pedagogická poznámka:** K provedení pokusu. Pokud je počasí nepříznivé a šneka nechytíte venku, můžete jej koupit v akvaristice. Šneka položíme fólii a tu na svítící meotar. Teplo, které zahřívá fólii motivuje šneka k pohybu. Na stěnu připevníte papír a podle stínu šneka zaškrtačujeme jeho polohu. Po skončení pokusu můžete promítnout milimetrovou síť a odečítat s její pomocí nebo měřit na papíře pomocí pravítka a pomocí měřítka převádět na skutečných velikostí.

Nejdříve si šneka pustíme bez měření.

Co je pohyb?

pohyb = změna polohy v čase  $\Rightarrow$  musíme měřit polohu (nebo vzdálenost, kterou urazil) a čas

**Nejjednodušší možnost:** Změříme polohu na začátku a na konci pohybu + čas jak dlouho pohyb trval

**Nevýhody:** hodně nám toho uteče. Nepoznáme, jestli šnek lezl pomalu celou dobu, nebo rychle a někde se zastavil. Pokud by lezl se zastávkou, nevíme, zda ji měl na začátku nebo na konci pohybu (nebo uprostřed)  $\Rightarrow$  ve skutečnosti v takovém případě, nevíme nic o tom, co se dělo mezi začátkem a koncem pohybu. Máme jenom nějaké průměrné hodnoty.

**Řešení:** Polohu šneka nebudeme měřit pouze na začátku a konci pohybu, ale v pravidelných intervalech (například po pěti sekundách).

**Př. 1:** Odhadni, jak při pravidelném měření polohy šneka rozeznáme z naměřených výsledků pohybu zmiňované v předchozím odstavci:

- a) rovnoměrný pomalý pohyb
- b) rychlejší pohyb s přestávkou na konci
- c) rychlejší pohyb s přestávkou na začátku

Zkus vymyslet takové dva pohyby, které metoda měření po konstantním časovém úseku nerozliší.

a) rovnoměrný pomalý pohyb  
mezi naměřenými polohami budou neustále malé rozdíly

b) rychlejší pohyb s přestávkou na konci

rozdíly mezi polohami budou větší než při pomalejším pohybu, na konci když šnek zastaví, budou polohy po několik měření stejné

c) rychlejší pohyb s přestávkou na začátku

stejně polohy se budou vyskytovat na začátku pohybu, pak se budou polohy lišit

Naše metoda by selhala v případě, že by šnek udělal zastávku na velmi krátkou dobu a mi mu mezitím nezměřili polohu vícekrát.

Při měření polohy po pravidelných časových intervalech, nezachytíme změny, kterou jsou kratší než tento interval. Tento problém není možné odstranit  $\Rightarrow$  validita výsledků závisí na správně zvoleném intervalu.

Právě proto jsme si vybrali šneka. Nedělá rychlé pohyby a tak nám bude jako časový interval stačit 5 s.

**Poznámka:** Přesně stejný postup se doopravdy používá. Například film je fotografickým zachycením polohy všech předmětů po  $1/24$  sekundy, při nahrávání hudby na CD se měří hladina zvuku za 1 sekundu 44100 krát (tedy po 0,000023 s).

Pravítkem můžeme měřit vzdálenosti s přesností na 1 mm. Co znamená: „Změříme polohu šneka“?

Změříme si vzdálenost šneka od nějakého počátečního místa.

**Problém:** Které místo na šnekovi si vybereme?

**Řešení:** Zvolíme na šnekovi bod, který dobře reprezentuje jeho pohyb a jehož polohu bychom mohli snadno měřit.  $\Rightarrow$  v našem případě jsou obě předchozí podmínky proti sobě. Bylo by vhodné měřit polohu libovolného bodu na ulitě, ale vzhledem k tomu, že šneka promítáme na stěnu a ulitu nevidíme, budeme měřit pohyb konce jeho nohy.

**Př. 2:** Jaké nevýhody může přinést volba konce nohy jako měřeného bodu?

Například ve chvíli, kdy šnek zastaví a schová si nohu do ulity se nám bude zdát, že se hýbá, protože konec nohy se při zasunování hýbá, i když ulita zůstává na místě.

Při měření nezanedbatelně malého předmětu, volíme na něm vhodný bod, jehož pohyb poté sledujeme. Zvolený bod pak reprezentuje pohyb celého předmětu.

$\Rightarrow$  nahradili jsme předmět bodem (říkáme hmotným bodem).

Hmotný bod je zjednodušení a ve skutečnosti žádný neexistuje. Bod už znáš z geometrie. Je to objekt, který nemá žádný rozměr, tečka s nulovým průměrem. Hmotný bod je bod, kterému přepisujeme hmotnost.

Učeně se říká, že jsme provedli idealizaci a nahradili jsme reálný předmět hmotným bodem.

Oprávněnost této idealizace závisí na:

- velikosti předmětu
- velikost dráhy, kterou urazí
- míře detailů, které chceme sledovat

**Př. 3:** Rozhodni, ve kterých z následujících příkladů je možné nahradit pohyb předmětu pohybem hmotného bodu:

a) auto jede z Prahy do Brna

- b) skokan skáče do dálky a my chceme zjistit techniku skoku
- c) moucha létá po místnosti a chceme znát její rychlost
- d) sledujeme let koule vystřelené z děla
- e) Země obíhá kolem Slunce
- f) sledujeme pohyb mouchy z hlediska částí jejího těla (třeba, jak mává křídly)

a) auto jede z Prahy do Brna

Auto je proti vzdálenosti, kterou ujede, strašně malé a žádné detaily jeho pohybu nás nezajímají  $\Rightarrow$  můžeme ho považovat za hmotný bod

b) skokan skáče do dálky a my chceme zjistit techniku skoku

Skokan proti vzdálenosti, kterou skočí docela velký a zajímají nás podrobnosti (Pohyb jednotlivých nohou, rukou atd.)  $\Rightarrow$  nemůžeme ho považovat za hmotný bod

c) moucha létá po místnosti a chceme znát její rychlost

Moucha je poměrně oproti místnosti malá a nezajímají nás podrobnosti  $\Rightarrow$  můžeme ji považovat za hmotný bod

d) sledujeme let koule vystřelené z děla

Koule je malá oproti vzdálenosti, kterou má uletět  $\Rightarrow$  můžeme ji považovat za hmotný bod

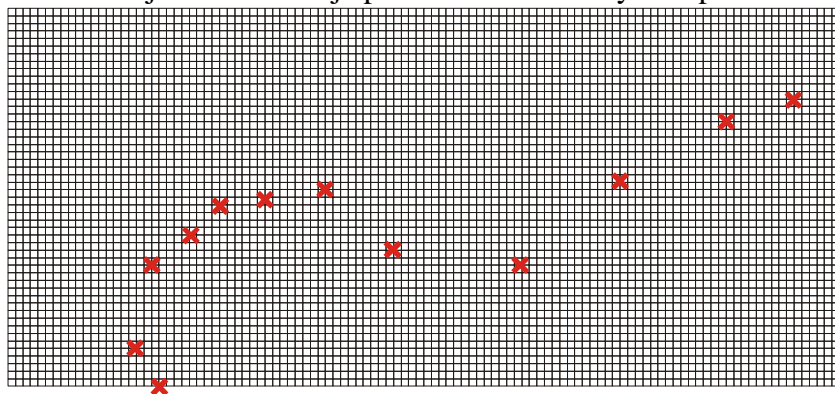
e) Země obíhá kolem Slunce

Země je oproti vzdálenosti od Slunce velmi malá  $\Rightarrow$  můžeme ji považovat za hmotný bod

f) sledujeme pohyb mouchy z hlediska částí jejího těla (třeba, jak mává křídly)

Zajímají nás podrobnosti  $\Rightarrow$  nemůžeme ji považovat za hmotný bod

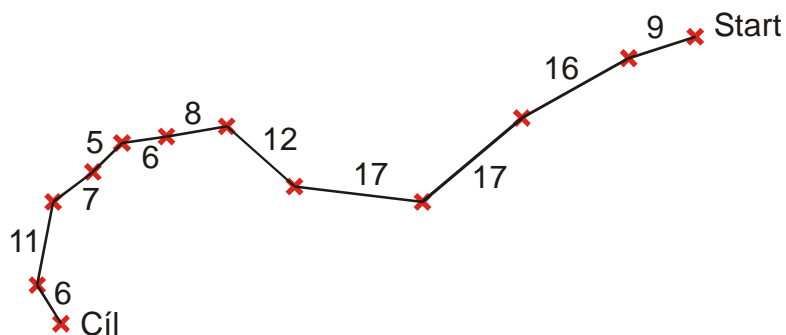
Na následujícím obrázku je pomocí křížků zachycena poloha šneka vždy po pěti sekundách.



**Problém:** Šnek neleze po přímce, ale zatáčí  $\Rightarrow$  určování polohy by bylo komplikovanější  $\Rightarrow$  v tomto okamžiku nebudeme určovat polohu, ale dráhu

**Dráhou rozumíme vzdálenost, kterou předmět urazil od počátku pohybu ze své počáteční polohy. Měříme ji v metrech a značíme ji (většinou)  $s$ .**

Na novém obrázku chybí milimetrová síť a jsou v něm vyznačeny vzdálenosti jednotlivých bodů v milimetrech.



**Př. 4:** Doplň pomocí hodnot z obrázku řádku s hodnotami dráhy v následující tabulce.

$t$ [s]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$s$ [mm]												

$t$ [s]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$s$ [mm]	0	9	25	42	59	71	79	85	90	97	108	114

**Př. 5:** Jaký je vztah mezi hodnotami dráhy uvedenými v tabulce a čísly napsanými v obrázku?

Čísla v obrázku se rovnají rozdílu čísel v tabulce. Například mezi 10 a 15 sekundou se dráha změnila z 25 mm na 42 mm, tedy o 17 mm (údaj v obrázku).

**Pedagogická poznámka:** Diskuse o změně, která zabírá zbytek kapitoly rozhodně není zbytečná. Studenti obvykle velmi špatně chápou a místo, aby jim pomáhala, silně je mate. Příklady 6 a 8 jsou velmi důležité.

Čísla v obrázku udávají **změnu dráhy** během pěti sekund, které uplynuly mezi označením jednotlivých křížků.

**Protože změny hodnot veličin se ve fyzice zkoumají velmi často, existuje speciální znak, který znamená změnu, velké řecké písmeno DELTA, které vypadá jako trojúhelník. Změnu dráhy tedy značíme  $\Delta s$ .**

Konkrétně bychom mohli psát:  $\Delta s_{10,15} = s_{15} - s_{10} = 42 - 25 \text{ mm} = 17 \text{ mm}$  a čísl „změna dráhy mezi 15 a 10 sekundou je 17 mm.“

**Poznámka:** V učebnici budou často používány indexy tak, aby lépe objasnily význam toho, co právě počítáme.

**Změnu hodnoty veličiny určujeme jako rozdíl konečné a počáteční hodnoty dané veličiny („ $\Delta$  = konečná hodnota – počáteční hodnota“).**

**Př. 6:** Z obrázku nebo z tabulky urči pro pokus se šnekem:

a)  $\Delta s_{30,35}$

b)  $\Delta s_{45,50}$

c)  $\Delta s_{5,20}$

d)  $\Delta s_{15,50}$

a)  $\Delta s_{30,35} = s_{35} - s_{30} = 85 - 79 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$

b)  $\Delta s_{45,50} = s_{50} - s_{45} = 108 - 97 \text{ mm} = 11 \text{ mm}$

c)  $\Delta s_{5,20} = s_{20} - s_5 = 59 - 9 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$

d)  $\Delta s_{15,50} = s_{50} - s_{15} = 108 - 42 \text{ mm} = 66 \text{ mm}$

**Př. 7:** Doplň do tabulky zachycující pohyb šneka řádku udávající  $\Delta s$ .

$t$ [s]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$s$ [mm]	0	9	25	42	59	71	79	85	90	97	108	114
$\Delta s$ [mm]		9	16	17	17	12	8	6	5	7	11	6

Způsob, jakým jsme do tabulky zapsali řádku s  $\Delta s$  není jediný možný. Hodnota  $\Delta s_{0,5}$  nepatří pouze k  $t = 5 \text{ s}$ , ale k celému intervalu od 0 s do 5 s, mohli bychom ji tedy napsat i do prvního sloupce pod  $t = 0 \text{ s}$ . Úplně nejsprávnější by bylo, kdybychom tabulku připravili tak, aby byly sloupce třetího řádku o trochu poposunutě a vycházeli doprostřed předchozích dvou řádek. My budeme psát řádku pro  $\Delta s$  vždy tak, jako v předchozím příkladě, ale rozhodně to není fyzikálně podstatné.

Změny se určují i u mnoha jiných fyzikálních veličin.

**Př. 8:** Urči změny následujících veličin:

a) výška studenta se během roku zvětšila ze 155 cm na 161

b) auto zrychlilo z 60 km/h na 90 km/h

c) údaj na hodinách se změnil ze 15:35 na 16:10

d) účastník kursu zhubnul za dva měsíce ze 112 kg na 101 kg

e) auto jedoucí rychlostí 50 km/h prudce zastavilo

f) teplota klesla ze  $5^\circ\text{C}$  na  $-5^\circ\text{C}$

g) teplota stoupla z  $-10^\circ\text{C}$  na  $8^\circ\text{C}$

h) po měsíčním utrácení měl na účtu místo 12000 dluh 5000 Kč

i) míč dopadl na zem rychlostí 10 m/s a odrazil se vzhůru rychlostí 8 m/s

a) výška studenta se během roku zvětšila ze 155 cm na 161

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 161 - 155 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$$

b) auto zrychlilo z 60 km/h na 90 km/h

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 90 - 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

c) údaj na hodinách se změnil ze 15:35 na 16:10

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 16:10 - 15:35 = 35 \text{ min}$$

d) účastník kursu zhubnul za dva měsíce ze 112 kg na 101 kg

$$\Delta m = m_2 - m_1 = 101 - 112 \text{ kg} = -11 \text{ kg}$$

e) auto jedoucí rychlostí 50 km/h prudce zastavilo

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 0 - 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = -50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

f) teplota klesla ze 5°C na -5°C

$$\Delta t = t_2 - t_1 = -5 - 5^\circ\text{C} = -10^\circ\text{C}$$

g) teplota stoupla z -10°C na 8°C

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 8 - (-10)^\circ\text{C} = 18^\circ\text{C}$$

h) po měsíčním utrácení měl na účtu místo 12000 dluh 5000 Kč

$$\Delta n = n_2 - n_1 = -5000 - 12000 \text{ Kč} = -17000 \text{ Kč}$$

i) míč dopadl na zem rychlostí 10 m/s a odrazil se vzhůru rychlostí 8 m/s

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 8 - (-10) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Pedagogická poznámka:** V bodu d) je potřeba udělat kontrolu a vyjasnit si, že pravidlo

$\Delta = \text{konečná} - \text{počáteční}$  platí stále a mínus, který z něj vypadl je velmi rozumný, protože nám říká zda došlo k nárůstu nebo ke snížení hodnoty. Další problém je třeba řešit v bodu e), kde mají někteří zábrany kvůli nulové konečné hodnotě, v bodu f) je třeba dát pozor na přechod přes nulu, v bodě h) někteří studenti nerozlišují znaménkem dluh a v bodě i) mnozí postupují mechanicky a nepřemýšlí o tom, co se vlastně děje a nerozlišují znaménkem směry rychlostí.

Ve všech bodech je potřeba, aby studenti pochopili, že správný výsledek je ve všech případech jednak logický (a moje zkušenosti ukazují, že pochopitelný pro všechny) a jednak ho získáme správným uplatněním postupu

$\Delta = \text{konečná} - \text{počáteční}$  .

**Shrnutí:** Změnu veličiny značíme  $\Delta$  a počítáme ji postupem

$\Delta = \text{konečná hodnota} - \text{počáteční hodnota}$  .