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 zaškrtáváme 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
stejné 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 připisujeme hmotnost.
Učeně se říká, že jsme provedli idealizaci a nahradili jsme reálný předmět hmotným bodem.
Oprávněnost této idealizace závisí na:

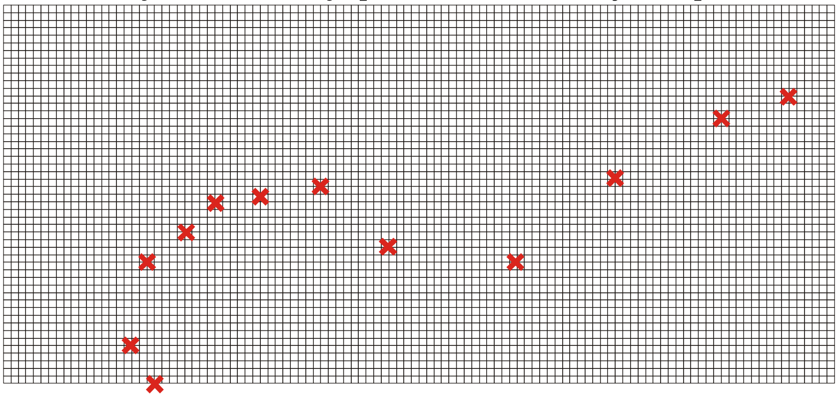
- velikosti předmětu
- velikost dráhy, kterou urazí
- míře detailů, které chceme sledovat

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

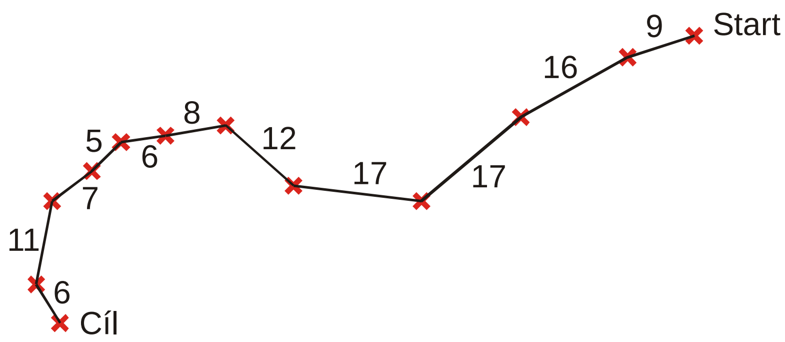
Na následujícím obrázku je pomocí křížků zachycena poloha šneka vždy po pěti sekundách.



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 Δs.

Konkrétně bychom mohli psát: $\Delta s_{10,15} = s_{15} - s_{10} = 42 - 25\,\mathrm{mm} = 17\,\mathrm{mm}$ a číst „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 („$\Delta = \textit{konečná hodnota} - \textit{počáteční hodnota}$“).

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 Δs.

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

Způsob, jakým jsme do tabulky zapsali řádku s Δs 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 poposunuté a vycházeli doprostřed předchozích dvou řádek. My budeme psát řádku pro Δs 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 $5°\text{C}$ na $-5°\text{C}$
g) teplota stoupla z $-10°\text{C}$ na $8°\text{C}$
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 $5°\text{C}$ na $-5°\text{C}$
$\Delta t = t_2 - t_1 = -5 - 5\,°\text{C} = -10°\text{C}$

g) teplota stoupla z $-10°\text{C}$ na $8°\text{C}$
$\Delta t = t_2 - t_1 = 8 - (-10)\,°\text{C} = 18°\text{C}$

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

Shrnutí: Změnu veličiny značíme Δ a počítáme ji postupem $\Delta = \textit{konečná hodnota} - \textit{počáteční hodnota}$.