Kapitola 2

Přímočarý pohyb

Víte, že…

Galileo Galilei byl jedním z prvních vědců, kteří přivedli fyziku na správnou cestu k rozluštění zákonů pohybu těles. Jeho velkým přínosem bylo poznání, že je třeba zanedbat rušivé vlivy, jako je například odpor vzduchu, abychom odhalili podstatu daného jevu. V daném případě šlo o působení gravitace na pohyb těles.

Tuto metodu používáme ve fyzice pořád. Chceme-li přírodě porozumět, musíme zanedbat nepodstatné a soustředit se jen na zkoumaný jev.

Obrázek 2-1. Galileo Galilei žil v italském městě Pisa, známém svou šikmou věží.

Cíle

1. **Seznámíte se se základními veličinami popisujícími pohyb: polohou, rychlostí a zrychlením.**
2. **Naučíte se číst a sestrojovat grafy popisující přímočarý pohyb v čase.**
3. **Poznáte rovnoměrný a rovnoměrně zrychlený pohyb.**
4. **Naučíte se řešit některé praktické úlohy o přímočarém pohybu.**

2.1. Pohyb

Všechno kolem nás se pohybuje. Dokonce i věci, které se zdají být v klidu. Třeba dům, kde bydlíte, se právě pohybuje rychlostí zhruba 100 000 $\mathrm{kmh^{-1}}$, obíhá totiž spolu se Zemí okolo Slunce. Ale i Slunce se pohybuje vůči středu naší Galaxie, naše Galaxie vůči jiným Galaxiím a tak dále. Pohyb je zkrátka vlastností veškeré hmoty ve vesmíru. Proto začneme studium fyziky právě studiem pohybu. Oblast fyziky, který se zabývá popisem pohybu, se nazývá **kinematika**.

Abychom později mohli zkoumat, proč se věci pohybují, musíme nejprve umět pohyb jednoduše a výstižně popsat. Uvidíme, že nám k tomu stačí tři základní veličiny – poloha, rychlost a zrychlení. Pro začátek si situaci hodně zjednodušíme a přijmeme následující předpoklady:

1) Budeme se zatím zabývat pouze **přímočarým pohybem** – pohybem po přímce. Může to být třeba pád kamene z věže nebo jízda vlaku po přímé trati. Někdy také říkáme, že jde o jednorozměrný pohyb, zatímco náš svět je trojrozměrný.

2) Pohybující se těleso nahradíme hmotným bodem. **Hmotný bod** je nejjednodušší model, který nahrazuje skutečné těleso. Získáme jej tak, že zanedbáme rozměry tělesa a veškerou jeho hmotnost soustředíme do jednoho bodu (viz obrázek 2-2).

Obrázek 2-2. Nahrazení tělesa hmotným bodem.

Toto zjednodušení můžeme dobře použít v případě, kdy rozměry a tvar tělesa nejsou v dané situaci podstatné (například při popisu pohybu auta mezi dvěma městy). Naopak v případech, kdy se různé části zkoumaného tělesa pohybují různě, nemůžeme model hmotného bodu použít. Například u auta, které dostalo smyk, nemůžeme jeho tvar a rozměry zanedbat. Přišli bychom o podstatný rys jeho pohybu – otáčení auta ve smyku. Dokonce i tak velké těleso, jako je Země, můžeme nahradit hmotným bodem, budeme-li se zajímat pouze o její pohyb v rámci Sluneční soustavy a nebudeme se zabývat jejím otáčením.

V praktických úlohách se nikdy nepohybují hmotné body, ale skutečná tělesa (krabice, lidé, dělové koule, vlaky, …) a je na nás, abychom rozhodli, zda můžeme jejich rozměry zanedbat a považovat je za hmotné body. V této i několika dalších kapitolách, nebude-li řečeno jinak, budou vždy splněny podmínky pro to, abychom mohli tělesa nahradit hmotnými body.

Hmotný bod je model tělesa, který zanedbává jeho rozměry, hmotnost tělesa umisťujeme do bodu. Pomocí tohoto modelu nedokážeme popsat otáčení těles ani jejich srážky.

Někdy se místo pojmu hmotný bod používá slovo částice.

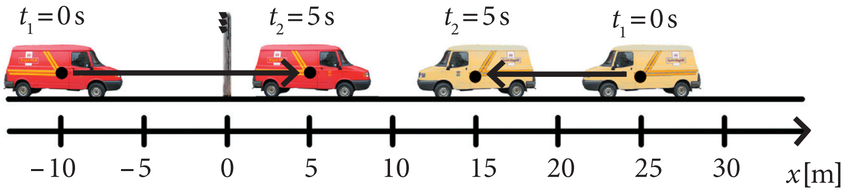
2.2. Poloha a posunutí

Polohu tělesa (hmotného bodu) na přímce musíme vztahovat vždy vzhledem k nějakému jinému tělesu, které nazýváme **vztažné těleso**. Například polohu automobilu budeme nejčastěji určovat vzledem k zemi (silnici). Můžeme pak zvolit soustavu souřadnic (směr osy a počátek), kterou pevně spojíme se vztažným tělesem. Zadáním vztažného tělesa a soustavy souřadnic dostaneme tzv. **vztažnou soustavu**. Tu je možné v konkrétních situacích volit různými způsoby, proto je nutné při každém popisu pohybu nejprve určit vztažnou sosutavu. Vše si ukážeme na následujícím příkladu.

Volba vztažného tělesa, resp. vztažné sosutavy je nezbytnou součástí každého popisu pohybu.

Na obrázku 2-3 je vyznačena poloha dvou aut ve vztažné soustavě spojené se zemí. Osa x je vodorovná, směřuje doprava a její počátek ($x=0$) je zvolen v místě semaforu. V této vztažné soustavě je zachycena poloha aut nejprve v čase $t_1=0\,\mathrm{s}$ a potom v čase $t_2=5\,\mathrm{s}$. Poloha červeného auta se změnila z $x_1=-10\,\mathrm{m}$ na $x_2=5\,\mathrm{m}$. Změnu polohy auta proto vyjádříme jako $\Delta x = x_2 - x_1 = 5\,\mathrm{m} - (-10\,\mathrm{m}) = +15\,\mathrm{m}$.

Symbolem Δ (řecké písmeno delta) vždy označujeme změnu dané veličiny, definovanou jako rozdíl její koncové a počáteční hodnoty.



Obrázek 2-3.
Poloha červeného automobilu je nejprve $x_1=-10\,\mathrm{m}$ a po uplynutí 5 sekund $x_2=5\,\mathrm{m}$. Posunutí automobilu je proto
$\Delta x = x_2 - x_1 = 5\,\mathrm{m} - (-10\,\mathrm{m}) = +15\,\mathrm{m}$

Změna polohy může být také záporná, jak vidíme u žlutého auta. Posunulo se z polohy $x_1=25\,\mathrm{m}$ do $x_2=15\,\mathrm{m}$. Proto $=x_2-x_1=15\,\mathrm{m}-25\,\mathrm{m}=-10\,\mathrm{m}$. Záporná hodnota znamená, že se auto posunulo proti směru osy x (v záporném směru).

Změnu polohy nazýváme **posunutím** a značíme Δx. Shrnuto v tabulce:

poloha (na ose x)	x $[x] = \mathrm{m}$	Polohu hmotného bodu na přímce určuje jeho x-ová souřadnice ve zvolené vztažné soustavě.
posunutí (na ose x)	$\Delta x = x_2 - x_1$ $[\Delta x] = \mathrm{m}$	Posunutí určíme jako rozdíl koncové polohy x_2 a počáteční polohy x_1.

Nebude-li nás zajímat směr posunutí, ale jen vzdálenost počáteční a koncové polohy, můžeme ji určit jednoduše jako velikost posunutí: $|\Delta x|$.
Velikost posunutí u červeného auta z obrázku 2-3 je 15 m, u žlutého 10 m

Posunutí má velikost i směr, jde tedy o **vektorovou** fyzikální veličinu. Při popisu pohybu po přímce (přímočarého pohybu) vystačíme s jednou osou x, neboli s jednorozměrnou kartézskou soustavou, kde každý vektor má jedinou složku $\mathbf{v}=(v_x)$. Díky tomu se počítání s vektory omezí na počítání s jednou jedinou složkou, směr vždy poznáme jednoduše podle znaménka: plus ve směru osy x a minus proti směru osy x. V této kapitole proto počítání s vektory nebudeme v plném rozsahu potřebovat.

Dráha s je skalární fyzikální veličina – má pouze velikost. Jednotkou dráhy je 1 metr.

Ještě uveďme tento příklad: Auto pojede nejprve z polohy $x_1 = -10\,\mathrm{m}$ do $x_2 = 25\,\mathrm{m}$, kde se otočí a pojede zase zpátky do $x_3 = -10\,\mathrm{m}$. Jeho celkové posunutí při tomto pohybu bude zřejmě nulové ($\Delta x = x_3 - x_1 = 0\,\mathrm{m}$). Auto však během svého pohybu urazilo jistou **dráhu** (značíme písmenem s). V našem příkladu je uražená dráha $s = 70\,\mathrm{m}$. Pro přímočarý pohyb je dráha rovna součtu velikostí všech (kladných a záporných) posunutí.

Nyní umíme zadat polohu tělesa pomocí souřadnic a umíme určit jeho posunutí, případně dráhu, kterou urazilo. Nezapomínejme, že poloha i posunutí závisí na volbě vztažné soustavy (vztažného tělesa, osy a jejího počátku). Proto říkáme, že pohyb je **relativní**. Více o relativnosti pohybu se dočtete na konci třetí kapitoly.

Kromě metrů za sekundu ($\mathrm{ms^{-1}}$) se často používají i jiné jednotky rychlosti – u nás jsou to kilometry za hodinu ($\mathrm{kmh^{-1}}$), v některých zemích míle za hodinu (mph), u lodí se používají uzly.

$1\,\mathrm{ms^{-1}} = 3{,}6\,\mathrm{kmh^{-1}}$

$1\,\mathrm{mph} = 1{,}609\,\mathrm{kmh^{-1}}$

$1\,\mathrm{uzel} = 1{,}852\,\mathrm{kmh^{-1}}$

2.3. Rychlost

Pokud chceme popsat pohyb tělesa, nestačí nám k tomu jen poloha nebo posunutí, chtěli bychom vědět, **jak rychle se poloha mění v čase**. Podívejme se na příklad červeného auta z obrázku 2-3. Víme, že auto se za 5 s posunulo o 35 m doprava. Dokážeme z toho určit rychlost auta? Jaká byla rychlost auta při průjezdu kolem semaforu? Má rychlost také směr? Na tyto otázky by různí lidé odpovídali různým způsobem. Abychom se ve fyzice vyhnuli těmto nejasnostem, je třeba rychlost *přesně* zavést. Upřesnit, co máme na mysli, říkáme-li slovo „rychlost". Začneme přehlednou tabulkou, kde definujeme dvě veličiny.

**Anglicky mluvící studenti jsou na tom lépe. Mají totiž slovo „speed" pro velikost rychlosti a slovo „velocity" pro rychlost jako vektor.
V češtině však máme jen jedno slovo „rychlost", proto musíme pro skalární veličinu používat spojení „velikost rychlosti" a pro vektorovou veličinu slovo „rychlost", nebo pro jistotu „vektor rychlosti". V některých případech, kdy nemůže dojít k omylu, můžeme použít „rychlost" bez přívlastku. Například říkáme „Rychlost světla ve vakuu je $3.10^8\,\mathrm{ms^{-1}}$" a myslíme velikost.**

průměrná rychlost – vektor (na ose x)	$\mathbf{v_p} = (v_{px}) = \dfrac{\text{posunutí}}{\text{čas}}$ $v_{px} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{x_2 - x_1}{\Delta t}$ $[v_{px}] = \mathrm{m/s} = \mathrm{ms^{-1}}$	Průměrná rychlost určuje, „jak rychle" se těleso posunulo z jedné polohy do druhé za daný čas. Závisí jen na počáteční a koncové poloze tělesa.
průměrná velikost rychlosti – skalár	$v_p = \dfrac{\text{celková dráha}}{\text{celkový čas}}$ $v_p = \dfrac{s}{t}$ $[v_p] = \mathrm{m/s} = \mathrm{ms^{-1}}$	Průměrná velikost rychlosti vyjadřuje, „jak rychle" urazí těleso danou dráhu za daný čas. Nezáleží na směru pohybu.

Příklad 2-1

Červené auto z obrázku 2-3 začíná svůj pohyb 10 m vlevo od semaforu. Urazí nejprve 35 m směrem doprava za 5 s. Pak ihned začne couvat zpět k semaforu, to mu trvá dalších 5 s. U semaforu auto zastaví. Určete (a) průměrnou rychlost, (b) průměrnou velikost rychlosti auta.

(a) průměrná rychlost

$$v_{px} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(0\,\mathrm{m}) - (-10\,\mathrm{m})}{10\,\mathrm{s}} = 1\,\mathrm{ms^{-1}}.$$

Průměrná rychlost auta má velikost $1\,\mathrm{ms^{-1}}$ a směřuje vpravo.

(b) průměrná velikost rychlosti

$$v_p = \frac{s}{t} = \frac{60\,\mathrm{m}}{10\,\mathrm{s}} = 6\,\mathrm{ms^{-1}}.$$

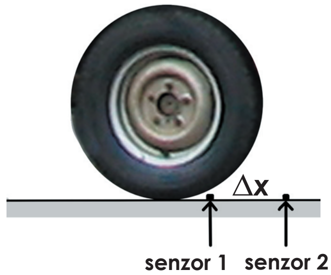
Průměrná velikost rychlosti auta je $6\,\mathrm{ms^{-1}}$.

Obrázek 2-4. Tachometr v autě nám ukazuje okamžitou velikost rychlosti. Směr jízdy z tachometru nepoznáme.

Poznali jsme nyní dvě veličiny, které popisují, jak se hmotný bod pohyboval v časovém intervalu Δt. Představte si například běh sprintera na 100 m. Víme-li, že trať uběhl za 10 s, můžeme vypočítat, že jeho průměrná velikost rychlosti byla $v_p = 100\,\mathrm{m}/10\,\mathrm{s} = 10\,\mathrm{ms^{-1}}$. To ovšem neznamená, že touto rychlostí běžel celých 100 m. Chtěli bychom vědět, jak se jeho rychlost měnila v průběhu trati. „Jaká byla jeho rychlost v čase $t_2 = 0{,}5\,\mathrm{s}$?“ Podobně bychom se mohli ptát: „Jaká byla rychlost auta v okamžiku, kdy projíždělo kolem semaforu?“ Odpovědět na tyto otázky nám umožňuje veličina, zvaná **okamžitá rychlost**.

Jak ale změřit okamžitou rychlost auta v momentě jeho průjezdu kolem semaforu? Můžeme to udělat takto: Umístíme na zem dva senzory, které v případě dotyku pneumatiky vyšlou elektrický impuls (viz obrázek 2-5). Měříme časový rozdíl mezi impulzy Δt a známe-li vzdálenost senzorů Δx, můžeme určit průměrnou rychlost auta na tomto velmi krátkém úseku (směr rychlosti je dán pořadím impulzů). Čím budou senzory blíže, tím bude Δt menší a tím lépe bude průměrná rychlost vyjadřovat okamžitou. Vzdálenost senzorů ale nemůžeme zmenšovat donekonečna, vždy budeme omezeni nějakým minimálním Δt či Δx. Nikdy nezměříme rychlost auta přesně v jednom bodě.

Obrázek 2-5. Jak změřit rychlost auta v okamžiku, kdy míjí semafor? Umístíme na silnici dva seznory velmi blízko sebe (jejich vzdálenost je Δx) a změříme dobu Δt, po kterou auto tento úsek projíždí. Získáme tak vlastně průměrnou rychlost na tomto velmi krátkém úseku.



Znamená to snad, že okamžitá rychlost v bodě neexistuje? Nikoliv. To, že nějakou veličinu neumíme přesně změřit, ještě neznamená, že neexistuje. Prakticky (technicky) nemůžeme interval Δt zmenšovat donekonečna, ale teoreticky (matematicky) ano. Jak se bude **Δt blížit nule**, bude se průměrná rychlost na tomto intervalu ustalovat na nějaké **limitní hodnotě**, kterou nazveme **okamžitou rychlostí**.

Víte, že…

Matematická disciplína, která umí počítat s nekonečně malými veličinami, se nazývá diferenciální počet. Její základy položil už v 17. století I. Newton. Potřeboval ji právě jako nástroj pro řešení úloh o pohybu.

okamžitá rychlost – vektor (na ose x)	$\mathbf{v} = (v_x) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ $[v_x] = \mathrm{m/s} = \mathrm{ms^{-1}}$	Zmenšujeme-li Δt k nule, blíží se průměrná rychlost k jediné limitní hodnotě – okamžité rychlosti.

Příklad 2-2

Předpokládejme, že poloha auta od startu do první sekundy roste podle vztahu $x(t) = +8t^3$. Tento vztah zachycuje fázi rozjezdu, kdy se rychlost prudce zvyšuje. Vypočítejte pomocí kalkulačky průměrnou rychlost auta na intervalech (a) 0,2000 s – 0,2500 s, (b) 0,200 s – 0,2100 s, (c) 0,200 s – 0,2010 s, (d) 0,200s – 0,2001 s. Na základě toho odhadněte jeho okamžitou rychlost v čase $t = 0{,}2\,\mathrm{s}$.

Průměrnou rychlost vypočteme podle vztahu

$$v_{px} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{8t_2^3 - 8t_1^3}{t_2 - t_1}.$$

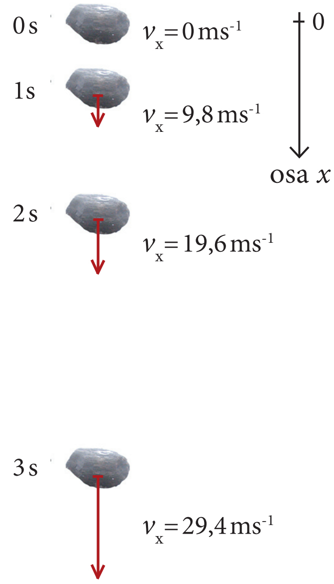
čas. interval	prům. rychlost
0,2000 s – 0,2500 s	1,220 ms^{-1}
0,2000 s – 0,2100 s	1,008 ms^{-1}
0,2000 s – 0,2010 s	0,965 ms^{-1}
0,2000 s – 0,2001 s	0,960 ms^{-1}

Z tabulky vidíme, že velikost rychlosti v čase $t = 0{,}2\,\mathrm{s}$ se blíží k hodnotě $0{,}96\,\mathrm{ms^{-1}}$.

2.4 Zrychlení

Zbývá nám seznámit se s poslední důležitou kinematickou veličinou – zrychlením. Zatímco rychlost popisuje změnu polohy tělesa s časem, popisuje zrychlení změnu rychlosti. Podívejme se na příklad pádu kamene. Na obrázku 2-5 je vyznačena okamžitá rychlost kamene, která byla zjištěna v několika po sobě jdoucích sekundách. Vidíme, že **vektor rychlosti** kamene **se mění**. Kámen se tedy **pohybuje se zrychlením**. Podobně jako jsme to udělali v případě rychlosti, můžeme definovat průměrné a okamžité zrychlení.

Obrázek 2-6. Volný pád kamene. Jeho vektor rychlosti se mění – kámen se pohybuje se zrychlením. Průměrné zrychlení kamene je 9,8 ms^{-2} směrem dolů.



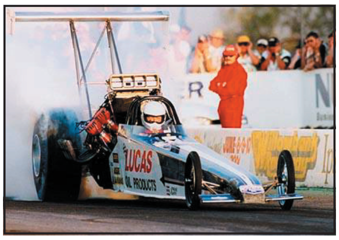
Jednotku zrychlení ms^{-2} čteme jako „metr za sekundu na druhou“ nebo „metr sekunda na mínus druhou“.

Víte, že...

Když v Anglii začínaly první železnice, někteří lidé si mysleli, že člověk nemůže vydržet tak velkou rychlost, jakou vyvinou nové lokomotivy. Jak byste tyto lidi uklidnili?

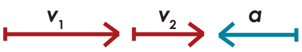
Dnes bychom jim mohli odpovědět, že lidské tělo vůbec nepociťuje rychlost, ale zrychlení. Ve vlaku jedoucím vysokou, ale stálou rychlostí, se cítíme docela klidně, naopak při jízdě na horské dráze zažíváme silné pocity, protože se pohybujeme s velkým zrychlením.

Podobně při jízdě výtahem vnímáme jen jeho zrychlování a zpomalování.



Obrázek 2-7. Závod dragsterů je soutěž, kde o vítězi rozhoduje právě jeho zrychlení.

Má-li zrychlení stejný směr (stejné znaménko) jako okamžitá rychlost, znamená to, že roste velikost rychlosti – těleso zrychluje.



Naopak, je-li vektor zrychlení opačný (má opačné znaménko) než okamžitá rychlost, velikost rychlosti se zmenšuje – těleso zpomaluje.

průměrné zrychlení – vektor (na ose x)	$\boldsymbol{a}_p = (a_{px}) = \dfrac{\text{změna rychlosti}}{\text{čas}}$ $a_{px} = \dfrac{\Delta v_x}{\Delta t} = \dfrac{v_{x2} - v_{x1}}{\Delta t}$ $[a_{px}] = m/s^2 = ms^{-2}$	Průměrné zrychlení určuje, jak se změnil vektor rychlosti za čas Δt. Závisí jen na počáteční a koncové rychlosti tělesa.
okamžité zrychlení – vektor (na ose x)	$a_x = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta v_x}{\Delta t}$ $[a_x] = m/s^2 = ms^{-2}$	Zmenšujeme-li Δt k nule, blíží se průměrné zrychlení k jediné limitní hodnotě – okamžitému zrychlení.

V případě padajícího kamene vypočteme průměrné zrychlení například mezi druhou a třetí sekundou: $a_{px} = (29{,}4\,ms^{-1} - 19{,}6\,ms^{-1})/1\,s = 9{,}8\ ms^{-2}$ směrem dolů. Jaké bylo okamžité zrychlení kamene v nějakém bodě jeho pohybu, to z údajů na obrázku určit nelze. Můžeme si ale lehce spočítat, že průměrné zrychlení na všech úsecích je stejné ($9{,}8\ ms^{-2}$ směrem dolů). To by nás mohlo vést k domněnce, že i okamžité zrychlení kamene je stále stejné $a_x = 9{,}8\ ms^{-2}$. K tomuto poznání došel na základě svých experimentů jako první G. Galilei.

Příklad 2-3

Rekord v závodech dragsterů (viz obrázek 2-7) vytvořila Kitty O'Neilová v roce 1977. Dosáhla tehdy rychlosti $628{,}9\ kmh^{-1}$ za čas 3,72 s. Jaké bylo průměrné zrychlení jejího automobilu? Trať dragsterů je přímá, jde tedy o přímočarý pohyb.

Převedeme na základní jednotky: $628{,}9\ kmh^{-1} = 174{,}7\ ms^{-1}$ a dosadíme

$$a_{px} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{(174{,}7\ ms^{-1}) - (0\ ms^{-1})}{3{,}72\ s} = 47\,ms^{-2}$$

Průměrné zrychlení automobilu mělo velikost $47\,ms^{-2}$. To je skoro pětkrát víc než zrychlení padajícího kamene.

Příklad 2-4

Vlak na přímé trati jede rychlostí o velikosti $90\ kmh^{-1}$. Jaké musí být průměrné zrychlení vlaku, aby během 10 s zpomalil na $72\ kmh^{-1}$?

Převedeme jednotky: $90\ kmh^{-1} = 25\ ms^{-1}$, $72\ kmh^{-1} = 20\ ms^{-1}$ a dosadíme

$$a_{px} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{(20\ ms^{-1}) - (25\ ms^{-1})}{10\ s} = -0{,}5\,ms^{-2}$$

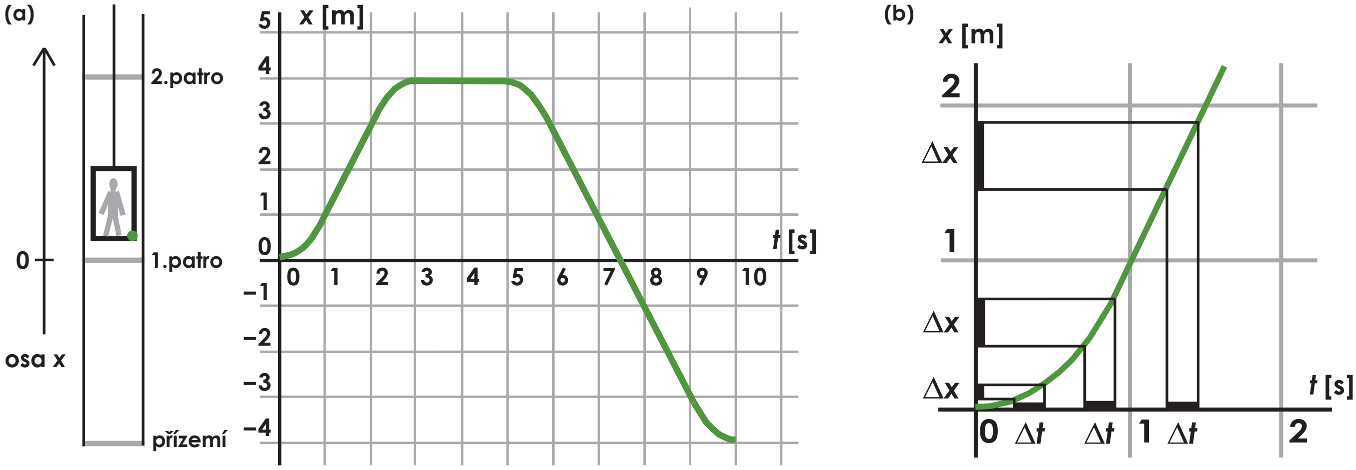
Průměrné zrychlení vlaku musí být $-0{,}5\,ms^{-2}$. Zrychlení tedy bude mít opačný směr než rychlost (viz poznámka vlevo).

2.5 Grafická analýza pohybu

Grafy jsou velmi užitečný nástroj nejen ve fyzice. Používáme je ke znázornění vztahů mezi veličinami. Velmi často se používají **grafy závislosti** nějaké veličiny **na čase**. V kinematice to budou poloha, okamžitá rychlost a zrychlení.

Vše si ukážeme na příkladu pohybu výtahu na obrázku 2-8. Kabinu výtahu budeme považovat za hmotný bod (zvolíme např. bod na podlaze výtahu). To můžeme udělat, neboť všechny body výtahu se pohybují stejnou rychlostí.

Polohu výtahu v závislosti na čase ukazuje následující graf:



Můžeme z něj vyčíst následující informace o pohybu výtahu:
0 s – 1 s … výtah se rozjíždí (pohybuje se se zrychlením směrem nahoru)
1 s – 2 s … výtah stoupá stálou rychlostí
2 s – 3 s … výtah brzdí (pohybuje se se zrychlením, které směřuje dolů)
3 s – 5 s … výtah stojí (jeho poloha se nemění)
5 s – 6 s … výtah se rozjíždí (pohybuje se se zrychlením které směřuje dolů)
6 s – 9 s … výtah klesá stálou rychlostí
9 s – 10 s … výtah brzdí (jeho zrychlení směřuje nahoru)

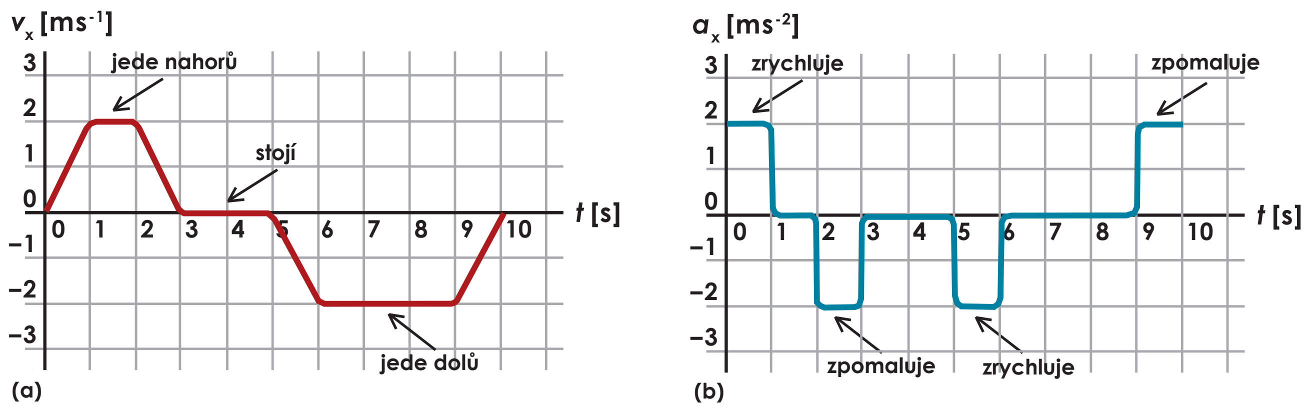
Obrázek 2-8.
(a) Graf závislosti polohy výtahu na čase. Zaznamenáváme polohu zeleného bodu. Výtah vyjel do druhého patra, tam 2s stál, pak sjel do přízemí a zastavil.
(b) Detailní pohled na první 2s pohybu výtahu.
Třem stejným Δt odpovídají různá Δx – rychlost se mění.

Obrázek 2-8 b ukazuje, jak sklon křivky souvisí s rychlostí. Vidíme, že podíl $\Delta x/\Delta t$ určuje sklon křivky. $\Delta x/\Delta t$ ale není nic jiného než průměrná rychlost tělesa na intervalu Δt. Přestože to prozatím neumíme matematicky přesně zdůvodnit, můžeme si domyslet, že **okamžitá rychlost** pak **bude určovat sklon křivky v daném bodě**. Jinak řečeno: Mění-li se sklon křivky, mění se i okamžitá rychlost tělesa. Naopak nemění-li se sklon křivky na nějakém úseku, nemění se ani rychlost, těleso se pohybuje stálou rychlostí. Velikost této rychlosti můžeme z grafu určit tak, že zjistíme příslušné Δx a Δt. V případě výtahu vidíme, že mezi první a druhou sekundou se výtah posunul o 2 m. Tedy $\Delta x/\Delta t = 2\,\mathrm{m}/1\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{ms}^{-1}$.

Sklon křivky v bodě určíme jako sklon (směr) její tečny v tomto bodě.

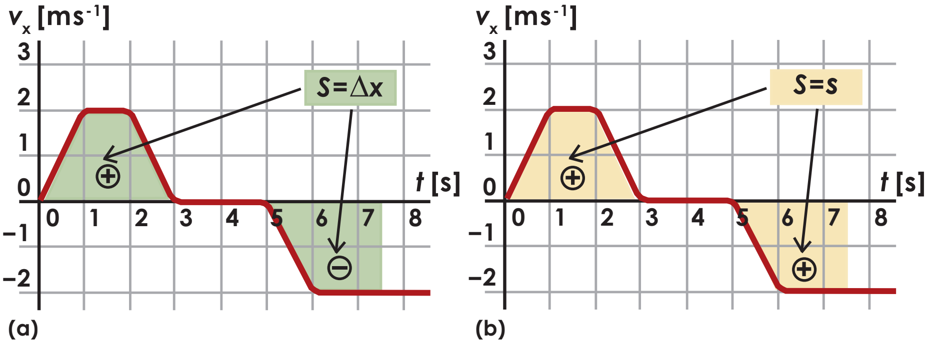
Nyní se můžeme podívat na zbývající dva grafy – rychlost a zrychlení výtahu v závislosti na čase (obrázek 2-9). Jejich podoba by nás neměla překvapit, neboť již z grafu pro polohu jsme určili, že rychlost výtahu mezi první a druhou sekundou je

Obrázek 2-9.
(a) Graf závislosti rychlosti výtahu na čase.
(b) Graf závislosti zrychlení výtahu na čase.



$2\,ms^{-1}$. Při jízdě dolů (6 s až 9 s) má rychlost výtahu stejnou velikost jako při jízdě nahoru, ale opačný směr (proti směru osy x – tedy záporný). V úsecích, kde výtah zrychluje či zpomaluje, se jeho rychlost mění. Podobně jako v grafu pro polohu určovala rychlost ($\Delta x/\Delta t$) sklon křivky, bude nyní sklon křivky určovat zrychlení ($\Delta v_x/\Delta t$). Můžeme si například všimnout, že průměrné zrychlení výtahu během první sekundy je $\Delta v_x/\Delta t = 2\,ms^{-1}/1\,s = 2\,ms^{-2}$. To ukazuje také poslední graf pro zrychlení.

Uveďme ještě jednu užitečnou vlastnost grafu pro rychlost. Můžeme z něj snadno určit změnu polohy tělesa. Platí totiž, že **plocha pod křivkou** (značíme S) **se rovná změně polohy tělesa** Δx, jak ukazuje následující obrázek:



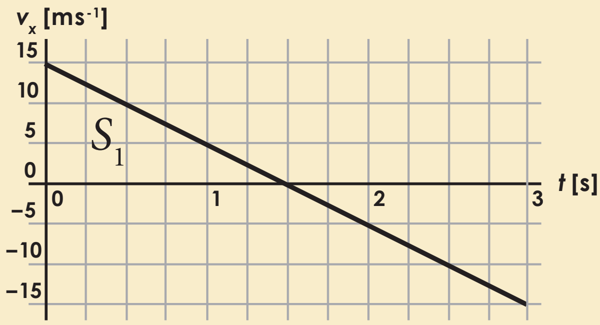
Obrázek 2-10.
(a) Změna polohy tělesa Δx je rovna ploše pod křivkou. Plochu, která je pod osou x, počítáme se záporným znaménkem.
(b) Uražená dráha s je rovna ploše vymezené křivkou. Plochu pod osou i nad osou x počítáme s kladným znaménkem.

V případě výtahu tedy z grafu odečteme, že ve vyznačeném intervalu 0 s až 7,5 s je změna polohy $\Delta x = 0\,m$ (plocha pod osou je právě tak velká jako plocha nad osou). To znamená, že za 7,5 s od startu bude výtah v počáteční poloze $x = 0\,m$ (porovnejte s grafem pro polohu). V případě (b) můžeme z grafu odečíst, že ve vyznačeném intervalu 0 s až 7,5 s je celková plocha vymezená křivkou $S = 8\,m$. Tedy za 7,5 s od startu urazil výtah dráhu $s = 8\,m$. V grafu také vidíme, že pokud rychlost nemění znaménko (těleso se pohybuje stále stejným směrem), je změna polohy stejná jako uražená dráha.

Příklad 2-5

Hráč baseballu vyhodil míč svisle nahoru a poté jej zase chytil. Graf ukazuje rychlost míče v závislosti na čase (osa x je orientovaná svisle nahoru). Určete z něj
(a) jak vysoko míč vyletěl, (b) jakou urazil celkem dráhu, (c) průměrné zrychlení míče.

V grafu vidíme, že počáteční rychlost míče byla $15\,ms^{-1}$ směrem nahoru, poté se zmenšovala k nule. Bod, kdy $v_x = 0$, znamená bod obratu. Míč pak začal klesat zpět dolů (rychlost v_x změnila znaménko na záporné) až při rychlosti $15\,ms^{-1}$ směrem dolů dopadl do rukou hráče, proto:



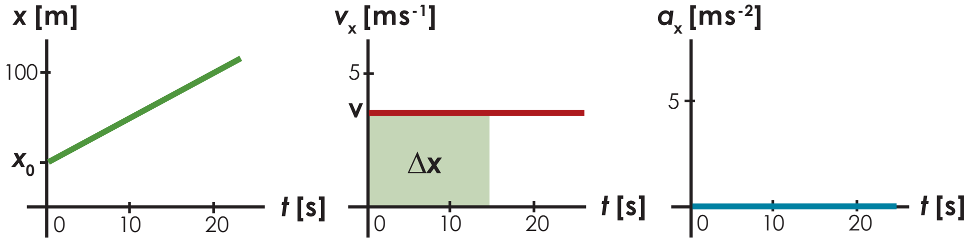
(a) výška výstupu = obsah pravoúhlého trojúhelníka: $S_1 = 0{,}5 \cdot 15\,ms^{-1} \cdot 1{,}5\,s = 12{,}5\,m$,

(b) celková dráha je rovna ploše vymezené celou křivkou, proto $s = 2\,S_1 = 25\,m$,

(c) průměrné zrychlení je $a_{px} = \dfrac{\Delta v_x}{\Delta t} = -30\,ms^{-1}/3\,s = -10\,ms^{-2}$.

2.6 Rovnoměrný pohyb

Nyní už známe všechny kinematické veličiny a můžeme se podrobněji podívat na dva speciální případy pohybu. Tím nejjednodušším je **rovnoměrný pohyb**. Rovnoměrný znamená, že **velikost rychlosti** tělesa **se** během jeho pohybu **nemění** (je konstantní). Jeho zrychlení je přitom samozřejmě nulové. Víme již, že názornou představu o pohybu nám dávají grafy polohy, rychlosti a zrychlení v závislosti na čase. Pro rovnoměrný pohyb jsou tyto grafy velmi jednoduché, jak ukazuje obrázek 2-11.



Obrázek 2-11.
Grafy pro rovnoměrný pohyb. Poloha se mění rovnoměrně, rychlost je konstantní a zrychlení je nulové. x_0 je počáteční poloha sledovaného tělesa.

Z grafu pro rychlost můžeme určit změnu polohy za čas Δt – bude to plocha obdélníka o stranách v a Δt. Tedy $\Delta x = v\Delta t$. Při řešení úloh často víme, kde se těleso nachází na začátku pohybu (počáteční poloha x_0 v čase $t=0$) a zajímá nás jeho poloha po uplynutí nějakého času Δt. Můžeme proto psát, že pro rovnoměrný pohyb platí rovnice

$$\boxed{x(t) = x_0 + v_x t.}$$

Příklad 2-6

Sonda Voyager II byla vypuštěna ze Země v roce 1977. Vroce 1989 dorazila k plaentě Neptun, jejíž vzdálenost od Slunce je přibližně 4500 miliónů km. Od té doby se Voyager neustále vzdaluje od Slunce stálou rychlostí o velikosti přibližně 16 kms^{-1} (jeho pohyb můžeme v této fázi letu považovat za rovnoměrný a přímočarý).
(a) V jaké vzdálenosti od Slunce se Voyager nacházel v roce 2007?
(b) Napište předpis pro funkci $x(t)$, vyjadřující vzdálenost sondy od Slunce x v závislosti na čase t. Pomocí získaného vztahu vypočtěte, jaký rok odpovídá vzdálenosti $x = 150$ miliónů km, což je vzdálenost Země od Slunce.

(a) Od roku 1989 do 2007 uplynulo 18 roků $= 18\cdot365\cdot24\cdot3600\,$s. Za tu dobu sonda urazila vzdálenost $s = vt = 16\,\mathrm{kms^{-1}}\cdot18\cdot365\cdot24\cdot3600\,\mathrm{s} = 9{,}1.10^9$ km. Celková vzdálenost od Slunce v roce 2007 je tak $(9{,}1 + 4{,}5).10^9$ km $= 13{,}6.10^9$ km.
(b) Použijeme rovnici pro rovnoměrný pohyb $x(t) = x_0 + vt$ a dostaneme

$$x(t) = 4500.10^6\,\mathrm{km} + 16\,\mathrm{kms^{-1}}\cdot t,$$

kde t je čas od opuštění Neptunu v sekundách. Rovnici můžeme ještě upravit do elegantnějšího tvaru $x(t) = 1500.10^6\,\mathrm{km} + 16\,\mathrm{kms^{-1}}\cdot(t-1989)365\cdot24\cdot3600\,\mathrm{s}$, kde t je aktuální rok. Dosadíme-li nyní do rovnice $x(t) = 150.10^6\,$km, vyjde nám $t = 1980$.
Proč nevyšel přesně rok 1977, což by odpovídalo startu sondy ze Země?

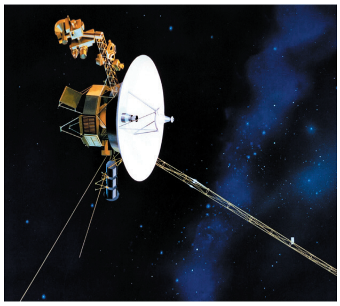
Příklad 2-7

Zloděj v autě ujíždí po dálnici od benzínové pumpy stálou rychlostí 40 ms^{-1}. V okamžiku, kdy je jeho vzdálenost od pumpy 1,5 km, vyráží za ním policisté stálou rychlostí 45 ms^{-1}. Za jak dlouho a v jaké vzdálenosti od pumpy doženou policisté zloděje?

Osa x bude mít počátek u pumpy. Čas budeme počítat od okamžiku, kdy vyrazil na cestu policejní vůz. V tomto čase ($t=0$) je už zloděj v poloze $x_0 = 1500$ m.

Víte, že…

Vesmírné sondy Voyager I a Voyager II (viz obrázek) byly vypuštěny v roce 1977 a od té doby postupně navštívily Jupiter, Saturn, Uran a Neptun. Od roku 1998 je Voyager I nevzdálenějším lidským výtvorem ve vesmíru. Překonal hranice sluneční soustavy a stále pokračuje ve svém letu do mezihvězdného prostoru. Informace z těchto vzdálených končin nám bude sonda posílat přibližně do roku 2020, kdy jí dojde energie.



Obrázek 2-12. Sonda Voyager.

Pro polohu zloděje x_Z proto bude platit rovnice (v_{Zx} je rychlost zloděje)

$$x_Z(t) = x_0 + v_{Zx}t$$

a pro polohu policejního auta (v_{Px} je rychlost policistů)

$$x_P(t) = v_{Px}t.$$

Čas, kdy policisté doženou zloděje, poznáme tak, že jejich poloha x_P bude stejná, jako poloha zloděje x_Z, tedy

$$x_0 + v_{Zx}t = v_{Px}t$$

Z této rovnice vyjádříme neznámou t a dostaneme

$$t = \frac{x_0}{v_{Px} - v_{Zx}} = \frac{1500}{45 - 40}\ \mathrm{s} = 300\ \mathrm{s} = 5\ \mathrm{minut}.$$

Zbývá určit polohu aut v čase $t = 300$ s. Zjistíme ji dosazením do jedné z rovnic pro polohu:

$x_P(t = 300\ s) = v_{Px}t = 45\ \mathrm{ms^{-1}} \cdot 300\ \mathrm{s} = 13\,500\ \mathrm{m}.$

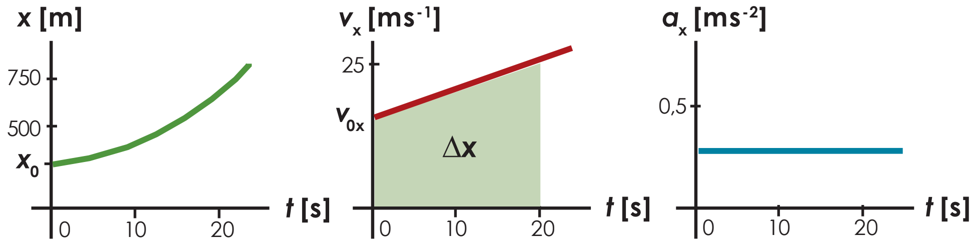
Zloděj tedy bude dopaden za 5 minut ve vzdálenosti 13,5 km od pumpy.

2.7 Rovnoměrně zrychlený pohyb

Nejčastěji se ve skutečnosti setkáváme s pohybem **nerovnoměrným.** Velikost rychlost tělesa nezůstává konstantní, ale mění se. Vzpomeňme si na příklad padajícího kamane – jeho rychlost se zvětšovala. Podobně výtah nebo auto se rozjíždí a brzdí, pohybují se s nenulovým zrychlením.

Nerovnoměrný pohyb může být ve skutečnosti velmi složitý, i zrychlení tělesa se může měnit. My se ale nyní zaměříme na velmi častý případ nerovnoměrného pohybu – pohyb s konstantním zrychlením, neboli **rovnoměrně zrychlený pohyb**. Nejlepší předsatvu o něm získáme opět pomocí grafů:

Obrázek 2-13. Grafy pro rovnoměrně zrychlený pohyb. Zrychlení je konstantní, rychlost se mění rovnoměrně, poloha se mění stále rychleji.



Pro řešení úloh o rovnoměrně zrychleném pohybu budeme potřebovat rovnice pro rychlost a polohu tělesa v závislosti na čase. Začneme rovnicí pro rychlost. Můžeme využít toho, že při rovnoměrně zrychleném pohybu je okamžité zrychlení shodné se zrychlením průměrným. Proto můžeme napsat, že

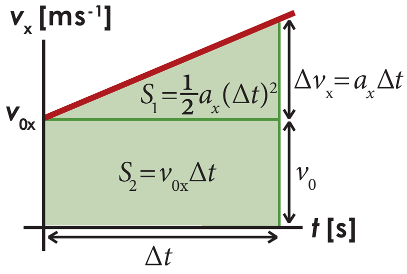
$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$$

a odtud vyjádřit změnu rychlosti tělesa jako $\Delta v_x = a_x \Delta t$. Je-li v_{0x} počáteční rychlost tělesa v čase $t = 0$, dostaneme vztah pro rychlost tělesa v libovolném pozdějším čase t:

$$\boxed{v_x(t) = v_{0x} + a_x t.}$$

Pozor – záporné zrychlení nemusí vždy znamenat, že těleso zpomaluje. Rozhodující je, zda má zrychlení stejný či opačný směr jako rychlost. Zkuste se vrátit k příkladu o pohybu výtahu a promyslet všechny možnosti.

Všimněte si, jak tento vztah souhlasí s grafem na obrázku 2-14. V čase $t = 0$ je rychlost tělesa v_{0x} a pak roste rovnoměrně (lineárně) podle toho, jakou hodnotu má zrychlení a_x. Zrychlení může být také záporné. Promyslete si sami, jak se pro záporné zrychlení změní grafy na obrázku 2-14. Při záporném zrychlení a kladné počáteční rychlosti se bude velikost rychlosti zmenšovat, těleso bude „zpomalovat“. Někdy se proto takový pohyb nazývá rovnoměrně zpomalený.



Obrázek 2-14.
Změnu polohy tělesa určíme jako plochu pod křivkou. Tu spočítáme jako součet ploch vyznačeného obdelníka a pravoúhlého trojúhelníka.

Nyní odvodíme vztah pro polohu tělesa v závislosti na čase. Budeme postupovat podobně jako u rovnoměrného pohybu. Z grafu pro rychlost můžeme určit změnu polohy za čas Δt – tentokrát to bude plocha lichoběžníka. K jejímu určení nám pomůže obrázek 2-14. Lichoběžník je složen z obdelníka a pravoúhlého trojúhelníka, proto

$$\Delta x = S = S_1 + S_2 = v_{0x} \Delta t + \frac{1}{2} a_x (\Delta t)^2.$$

Doplníme-li, že poloha v čase $t = 0$ je x_0, pak můžeme napsat, že poloha tělesa v čase t bude

$$\boxed{x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2.}$$

Všimněte si, že pro $a_x = 0$ poslední člen vypadne a dostaneme vztah pro rovnoměrný pohyb.

Při dosazování do rovnice musíme dávat pozor na znaménka veličin vzhledem ke zvolené vztažné soustavě. Směřuje-li například zrychlení proti směru osy x, nesmíme zapomenout na záporné znaménko.

Zarámovaný vztah spolu s předchozím vztahem pro rychlost jsou velmi důležité, obsahují veškeré informace o rovnoměrně zrychleném pohybu. Známe-li zrychlení a_x (které se během pohybu nemění) a počáteční hodnoty polohy (x_0) a rychlosti (v_{0x}), můžeme určit polohu a rychlost tělesa v libovolném okamžiku t. Tato dvojice rovnic je pro nás dostatečnou výbavou pro vyřešení všech úloh o rovnoměrně zrychleném pohybu. Připomeňme, jak je vhodné při jejich řešení postupovat:

1. Zvolíme vhodně vztažnou soustavu – osu x.
2. Vypíšeme všechny známé veličiny a jejich hodnoty (ve správných jednotkách) a označíme neznámé veličiny.
3. Sestavíme jednu (v případě 1 neznámé) nebo obě (v případě dvou neznámých) z výše uvedených rovnic a ty vyřešíme, tj. vyjádříme neznámé veličiny.
4. Dosadíme hodnoty známých veličin a (pomocí kalkulačky) vypočteme číselný výsledek. Zkontrolujeme jednotky a správně zaokrouhlíme. Nakonec ověříme, zda je číselný výsledek fyzikálně možný – „rozumný“.

Příklad 2-8

Francouzský vlak TGV se pohybuje po přímém úseku své trati rychlostí o velikosti 270 kmh^{-1}. Před zatáčkou však musí zpomalit, po dobu 25 sekund brzdí se zrychlením o velikosti 0,8 ms^{-2}. Na jakou hodnotu se zmenší jeho rychlost? Jakou přitom urazí dráhu?

Osu x zvolíme po směru jízdy vlaku s počátkem v místě, kde vlak začíná brzdit (díky tomu je počáteční poloha $x_0 = 0$ m). Známe zrychlení $a_x = -0{,}8$ ms^{-2} a počáteční rychlost $v_{0x} = 270$ kmh^{-1} $= 75$ ms^{-1}. Použijeme nejprve rovnici pro rychlost a dosadíme:

$v_x(t = 25\,\mathrm{s}) = v_{0x} + a_x t = 75\ \mathrm{ms^{-1}} - 0{,}8\ \mathrm{ms^{-2}} \cdot 25\,\mathrm{s} = 55\ \mathrm{ms^{-1}} = 198\ \mathrm{kmh^{-1}}$.

Zbývá určit polohu vlaku v čase $t = 25$ s:

$x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2 = 0\,\mathrm{m} + 75\ \mathrm{ms^{-1}} \cdot 25\,\mathrm{s} - 0{,}5 \cdot 0{,}8\ \mathrm{ms^{-2}} \cdot (25\,\mathrm{s})^2 = 1875\,\mathrm{m} - 250\,\mathrm{m} = 1625\,\mathrm{m}$

Vlak za 25 s zpomalí na 198 kmh^{-1} a urazí přitom dráhu 1625 m.

Obrázek 2-15.
Francouzský vlak TGV dosahuje velikosti rychlosti kolem 300 kmh^{-1}.

Příklad 2-9

Startující tryskové letadlo musí mít před vzlétnutím rychlost alespoň 360 kmh^{-1}. S jakým nejmenším konstantním zrychlením musí letadlo startovat, je-li délka rozjezdové dráhy na letišti 1800 m?

Počátek osy x zvolíme v místě startu letadla. Známe počáteční rychlost letadla $v_{0x} = 0\,ms^{-1}$ a také jeho rychlost na konci rozjezdové dráhy – označíme $v_{Kx} = 360\ kmh^{-1} = 100\ ms^{-1}$. Známe délku rozjezdové dráhy $d = 1800$ m. Budeme předpokládat, že celou dobu se letadlo pohybuje s konstantním zrychlením a_x. Nyní můžeme sestavit rovnice. Díky nulovým počátečním hodnotám x_0 a v_{0x} se rovnice zjednoduší na tvar:

$$v_x(t) = a_x t \quad \text{a} \quad x(t) = \frac{1}{2} a_x t^2.$$

Na konci rozjezdové dráhy o délce d musí být rychlost letadla v_{Kx}, proto

$$v_{Kx} = a_x t \quad \text{a} \quad d = \frac{1}{2} a_x t^2.$$

To je soustava dvou rovnic o dvou neznámých a_x a t. Tu vyřešíme vyjádřením t z první rovnice a dosazením do druhé, abychom nakonec dostali hledané zrychlení a_x

$$d = \frac{1}{2} a_x \left(\frac{v_{Kx}}{a_x}\right)^2 = \frac{v_{Kx}^2}{2a_x}.$$

Odtud vyjádříme velikost zrychlení a_x:

$$a_x = \frac{v_K^2}{2d} = \frac{(100)^2}{2 \cdot 1800}\ ms^{-2} = 2{,}78\ ms^{-2}.$$

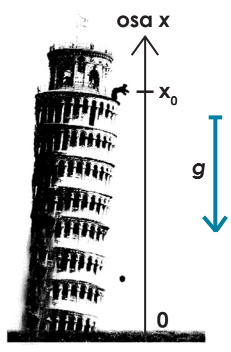
2.8 Volný pád

Tuto kapitolu jsme začínali připomínkou Galilea Galileiho a jeho pokusů s pádem těles. K jakému závěru tedy došel? Galileo jako první poznal, že všechna tělesa v blízkosti povrchu Země padají se stejným, konstantním zrychlením. Nezáleží na jejich tvaru ani hmotnosti. Ani na výšce, ze které jsou puštěna. Ovšem pouze za předpokladu, že odpor vzduchu je zanedbatelný. To je většinou dobře splněno u malých a těžkých těles, dokud nedosáhnou příliš velké rychlosti.

Toto **tíhové zrychlení** značíme $\boldsymbol{g}$. Jeho velikost na povrchu Země se mírně mění podle polohy na Zemi – na rovníku 9,78 ms^{-2} a na pólu 9,83 ms^{-2}. Proč tomu tak je se dozvíte v kapitole o gravitaci. Tyto rozdíly ale nejsou velké, proto budeme většinou počítat s typickou hodnotou 9,8 ms^{-2}. Volný pád je tedy dalším příkladem rovnoměrně zrychleného pohybu. Proto na závěr kapitoly vyřešíme následující příklad.

Příklad 2-10

Traduje se, že Galileo Galilei zkoumal pád těles na šikmé věži v Pise. Představte si na chvíli, že jste se ocitli v jeho roli, vystoupali jste na věž do výšky 25 m nad zemí a chystáte se ověřit hypotézu o volném pádu těles. Jaká bude očekávaná poloha tělesa za 1 s od upuštění? Za 2 s od upuštění? Za jak dlouho dopadne těleso na zem? Jaká bude jeho rychlost při dopadu?



Osu x zvolíme dle obrázku. Sestavíme rovnici pro polohu tělesa v závislosti na čase:

$$x(t) = x_0 + \frac{1}{2} g_x t^2.$$

Nesmíme zapomenout, že tíhové zrychlení směřuje dolů, proti směru osy x, proto do rovnice musíme správně dosadit $g_x = -9{,}8\,\mathrm{ms^{-2}}$. Počáteční polohu tělesa známe, je to výška nad zemí $x_0 = 25\,\mathrm{m}$.
Můžeme tedy hned dosadit za t a vypočítat polohu v první a druhé sekundě:

$$x(t{=}1\mathrm{s}) = (25 - \tfrac{1}{2}\cdot 9{,}8\cdot 1^2)\,\mathrm{m} = 20{,}1\,\mathrm{m}, \qquad x(t{=}2\mathrm{s}) = (25 - \tfrac{1}{2}\cdot 9{,}8\cdot 2^2)\,\mathrm{m} = 5{,}4\,\mathrm{m}.$$

Nyní zjistíme, za jak dlouho dopadne těleso na zem. Stačí vyjádřit z rovnice pro polohu neznámou t. Víme, že v okamžiku dopadu musí být poloha tělesa $x(t) = 0\,\mathrm{m}$. Proto

$$0 = x_0 + \frac{1}{2} g_x t^2 \;\Rightarrow\; t = \sqrt{\frac{2x_0}{-g_x}} = 2{,}26\,\mathrm{s}.$$

Nakonec určíme rychlost tělesa při dopadu. Jednoduše vypočteme rychlost tělesa v čase dopadu $t = 2{,}26\,\mathrm{s}$:

$$v_x(t{=}2{,}26\,\mathrm{s}) = g_x t = (9{,}8\cdot 2{,}26)\,\mathrm{ms^{-1}} = -22\,\mathrm{ms^{-1}}.$$

Rychlost v_x vyšla záporná, a to jsme očekávali, neboť směřuje dolů – proti směru osy x. Na závěr dodejme, že při provádění experimentu bychom naměřili čas dopadu o něco větší a rychlost o něco menší, než jsme vypočítali, a to díky odporu vzduchu. Jeho vliv však *zatím* spočítat neumíme.

Otázky

1

(a) Proč nahrazujeme skutečná tělesa hmotnými body?
(b) Uveďte příklady situací (pohybů), kdy můžeme a kdy naopak nemůžeme nahradit vesmírnou sondu hmotným bodem.

2

Vysvětlete rozdíl mezi
(a) polohou a posunutím,
(b) průměrnou rychlostí a průměrnou velikostí rychlosti,
(c) průměrnou a okamžitou rychlostí,
(d) průměrným a okamžitým zrychlením.

3

Vozík se pohybuje podél osy x. Určete směr jeho zrychlení pohybuje-li se (a) v kladném směru osy x a velikost jeho rychlosti roste, (b) v záporném směru osy x a velikost jeho rychlosti roste a (c) v kladném směru osy x a velikost jeho rychlosti klesá.

4

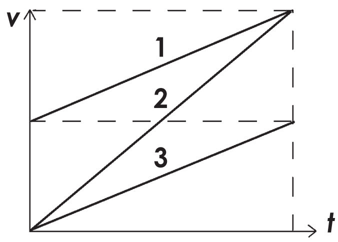
Ke každé z následujících možností uveďte konkrétní příklad odpovídajícího přímočarého pohybu (např. „*vlak jede stálou rychlostí po přímých kolejích*“), nebo napište „*nelze*“.
(a) Rychlost tělesa se mění a zrychlení je konstantní.
(b) Směr pohybu tělesa se změní v opačný a jeho zrychlení je konstantní.
(c) Rychlost tělesa je konstantní a zrychlení je nenulové.
(d) Rychlost tělesa je záporná a zrychlení je kladné.

5

Řidič byl na konci obce zastaven policistou. Ten mu oznámil: „Pane řidiči, jel jste devadesát!“ Ale řidič se bránil: „Nevím, co myslíte: průměrnou rychlost, okamžitou, či její velikost? A v jaké vztažné soustavě?“ Pomozte policistovi opravit jeho výrok, aby byl přesný a správný.

6

Graf znázorňuje závislost velikosti rychlosti tří těles na čase. Vyberte správné tvrzení.



(a) Těleso 1 urazilo stejnou dráhu jako těleso 3.
(b) Těleso 2 se pohybovalo nejdéle.
(c) Těleso 2 urazilo největší dráhu.
(d) Těleso 2 se pohybovalo rovnoměrným pohybem.
(e) Těleso 1 urazilo největší dráhu.

7

Sestavte tabulku o čtyřech polích, shrnující všechny rovnice pro přímočarý pohyb. V prvním řádku budou rovnice pro rychlost, v druhém pro polohu. Ve sloupcích budou pro pohyb rovnoměrný a rovnoměrně zrychlený.

8

Z horkovzdušného balónu stoupajícího se zrychlením $2\,\mathrm{ms^{-2}}$ vypadlo jablko. Určete jeho zrychlení vzhledem k zemi. Určete jeho rychlost bezprostředně po upuštění, je-li v tom okamžiku rychlost balónu $4\,\mathrm{ms^{-1}}$ směrem nahoru.

9

Dítě upustilo z balkónu dva stejné míče v časovém odstupu 1 s. Určete:
(a) zda se bude během pádu míčů vzdálenost mezi nimi zmenšovat, zvětšovat, nebo zůstane stejná,
(b) za jak dlouho po dopadu prvního míče dopadne na zem druhý míč.
Odpor vzduchu neuvažujte.

Úlohy

1
Rychlík ujel mezi dvěma stanicemi dráhu 7,5 km za 5 minut. Určete jeho průměrnou velikost rychlosti v ms^{-1} a v kmh^{-1}. [25 ms^{-1}, 90 kmh^{-1}]

2
Vypočtěte, za jak dlouho doletí světlo na Zemi
(a) ze Slunce, které je od Země vzdáleno 150.10^6 km [8,3 s],
(b) z druhé nejbližší hvězdy Proxima Centauri, která je od nás vzdálená čtyři světelné roky?

3
O kolik minut se zkrátila doba jízdy po dálnici z Brna do Prahy po zvýšení rychlostního limitu ze 110 na 130 kmh^{-1} za předpokladu, že řidič jede celou dobu maximální povolenou rychlostí? [asi o 20 min.]

4
Carl Lewis uběhne sprinterskou trať 100 m přibližně za 10 s. Bill Rodgers dokáže absolvovat maraton (42 km a 194 m) za 2 h 10 min. Jaké jsou průměrné velikosti rychlostí obou běžců? Jak dlouho by Lewis běžel maraton, kdyby vydržel po celou dobu sprintovat?
[v_1=10 ms^{-1}, v_2=5,41 ms^{-1}, přibližně 1h 10 min]

5
Cyklista vyjel po silnici z města na kopec rychlostí 10 kmh^{-1}. Poté se vrátil stejnou cestou zpět do města rychlostí 30 kmh^{-1}.
(a) Určete průměrnou rychlost cyklisty. [0 kmh^{-1}]
(b) Určete průměrnou velikost rychlosti cyklisty. [15 kmh^{-1}]

6
Výtah vyjel o pět pater nahoru za 25 s. Pak 50 s stál a poté za 15 s sjel o tři patra. Výškový rozdíl mezi patry je 3 m.
(a) Určete průměrnou rychlost výtahu při jízdě nahoru.
[směr nahoru, velikost 0,6 ms^{-1}]
(b) Určete průměrnou rychlost výtahu při jízdě nahoru + stání.
[směr nahoru, velikost 0,2 ms^{-1}]
(c) Určete celkovou průměrnou rychlost výtahu.
[směr nahoru, velikost 0,1 ms^{-1}]
(d) Určete celkovou průměrnou velikost rychlosti výtahu.
[0,27 ms^{-1}]

7
Pohyb výtahu je zaznamenán následující tabulkou.

0s – 10s	stojí
10s – 15s	zrychluje směrem nahoru, a=1 ms^{-2}
15s – 30s	stoupá konstantní rychlostí
30s – 35s	zpomaluje, a=1 ms^{-2}
35s – 40s	stojí
40s – 45s	zrychluje směrem dolů, a=1 ms^{-2}
45s – 60s	klesá konstantní rychlostí

Dopočítejte potřebné údaje a nakreslete grafy $x(t)$ a $v_x(t)$.

8
Řidič-pirát projel obcí po silnici dlouhé 600 m za 24 sekund. Poté jel ještě 50 sekund rychlostí 100 kmh^{-1} ke křižovatce, kde ho zastavili policisté. Jaká byla průměrná velikost rychlosti řidiče v obci? Na celém úseku? Jaká byla jeho maximální rychlost v obci?
[v obci 90 kmh^{-1}, celkem 97 kmh^{-1}]

9
Jak hluboká je studna, jestliže volně puštěný kámen dopadne na její dno za 1,4 s? Zanedbejte odpor vzduchu.
[h = 10m]

10
Dvě zastávky metra jsou vzdálené 1100 m. Souprava se první polovinu cesty rozjíždí s konstantním zrychlením 1,2 ms^{-2} a ve druhé polovině brzdí se stejně velkým zrychlením. Jaký je celkový čas jízdy mezi stanicemi? Jaká je maximální rychlost soupravy? Nakreslete grafy závislosti $x(t)$ a $v_x(t)$.
[t =1 min, v_{max}=36 ms^{-1}]

11
Na kvalitní suché silnici může automobil brzdit se zrychlením o velikosti 4,9 ms^{-2}. Za jak dlouho automobil zastaví, je-li jeho počáteční rychlost 90 kmh^{-1}? Jak dlouhá bude brzdná dráha? Pádu z jaké výšky by odpovídal čelní náraz tohoto auta do betonové zdi? Nakreslete graf závislosti $x(t)$ a $v_x(t)$.
[t =5,1 s, s=63 m, pádu z výšky asi 30 m]

12
Kapka deště dopadá na zem z mraku ve výšce 2700 m. Jakou rychlostí by dopadla, kdyby její pohyb nebyl brzděn odporem vzduchu? Můžeme odpor vzduchu v tomto případě zanedbat?
[230 ms^{-1}, nemůžeme]

13
Jakou rychlostí musí Ivan svisle vyhodit klacek, aby dosáhl výšky 20 m? Za jak dlouho dopadne klacek zpět na zem? Odpor vzduchu neuvažujte.
[20 ms^{-1}, 4 s]

14
Uličníci hází kameny z mostu, který je vysoký 30 metrů. Počáteční rychlost kamene je 6 ms^{-1} směrem dolů. Za jak dlouho dopadne kámen na zem? Jaká bude jeho rychlost při dopadu? Odpor vzduchu zanedbejte.
[t=1,9 s, v = 10 ms^{-1}]

15
Kosmická loď se pohybuje s konstatním zrychlením 9,8 ms^{-2}. Za jak dlouho dosáhne loď jedné desetiny rychlosti světla, startuje-li z klidu? Jakou dráhu přitom urazí?
[asi za 35 dnů, urazí přitom $4,6.10^{13}$ m]

16

Strojvůdce rychlíku jedoucího rychlostí 108 kmh^{-1} spatří před sebou ve vzdálenosti 180 m nákladní vlak jedoucí stejným směrem rychlostí 32,4 kmh^{-1}. Rychlík začne brzdit se zrychlením o velikosti 1,2 ms^{-2}. Dojde ke srážce?

[Nedojde. V okamžiku, kdy rychlík zastaví, bude mezi vlaky vzdálenost ještě 30 m]