

Kinematika



1 Základní pojmy

Mechanika

- Kinematika – JAK se tělesa pohybují (nestuduje příčinu pohybu)
- Dynamika – PROČ se tělesa pohybují (studuje příčinu pohybu, např. sílu)

Řecká abeceda (vybraná písmena používaná ve fyzice)

Název	malé	význam	velké	význam
<i>alfa</i>	α	úhel, teplotní součinitel délkové roztažnosti, teplotní součinitel el. odporu, konstanta jemné struktury		
<i>beta</i>	β	úhel, typ radioaktivního rozpadu, teplotní součinitel objemové roztažnosti		
<i>gama</i>	γ	úhel, typ rozpadu, foton	Γ	gamma funkce
<i>delta</i>	δ	součinitel tlumení	Δ	změna veličiny (rozdíl dvou hodnot téže veličiny) baryon delta, Laplaceův operátor, neurčitost
<i>epsilon</i>	ε	relativní prodloužení, permitivita prostředí		
<i>éta</i>	η	účinnost, viskozita, mezon éta		
<i>kappa</i>	κ	Poissonova konstanta		
<i>lambda</i>	λ	vlnová délka, tepelná vodivost, přeměnová konstanta (relativní úbytek jader za 1 s)	Λ	kosmologická konstanta, hyperon lambda
<i>mý</i>	μ	předpona mikro, permeabilita prostředí, mion		
<i>ný</i>	ν	kinematická viskozita, neutrino		
<i>ksi</i>	ξ	rameno valivého odporu	Ξ	hyperony ksi
<i>ró</i>	ρ	hustota, měrný el. odpor		
<i>sigma</i>	σ	normálové napětí, povrchové napětí, plošná hustota el. náboje, Stefan-Boltzmannova konstanta	Σ	sumační (součtový symbol), hyperony sigma
<i>tau</i>	τ	smykové napětí, střední doba života částice, tauon		
<i>fi</i>	φ	úhel, relativní vlhkost, fázový posun, el. potenciál, optická mohutnost, zlatý řez	Φ	absolutní vlhkost, magnetický indukční tok
<i>psi</i>	ψ	vlnová funkce v kvantové fyzice	Ψ	faktor psi – paranormální jevy
<i>omega</i>	ω	úhlová rychlost, úhlová frekvence	Ω	Ohm (jednotka el. odporu), hyperon omega

G1 - Kinematika

Předpony

kilo	k	10^3	mili	m	10^{-3}
mega	M	10^6	mikro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
tera	T	10^{12}	piko	p	10^{-12}

Základní veličiny a jednotky SI

1) délka	<i>l</i>	metr	<i>m</i>
2) hmotnost	<i>m</i>	kilogram	<i>kg</i>
3) čas	<i>t</i>	sekunda	<i>s</i>
4) elektrický proud	<i>I</i>	ampér	<i>A</i>
5) termodynamická teplota	<i>T</i>	kelvin	<i>K</i>
6) látkové množství	<i>n</i>	mol	<i>mol</i>
7) svítivost	<i>I</i>	kandela	<i>cd</i>

značení: $[m] = \text{kg}$

Fyzikální veličina

- smluvené označení: $V, \mathbf{v}, T, t, F$
- číselná hodnota: 3; 2,5
- jednotka: $\text{m}^3, \text{kg}, \text{K}, \text{s}, \text{N}$

Odvozené veličiny a jednotky

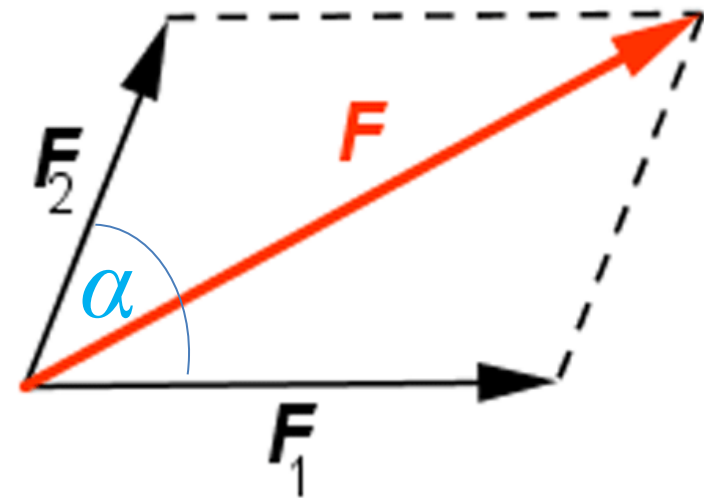
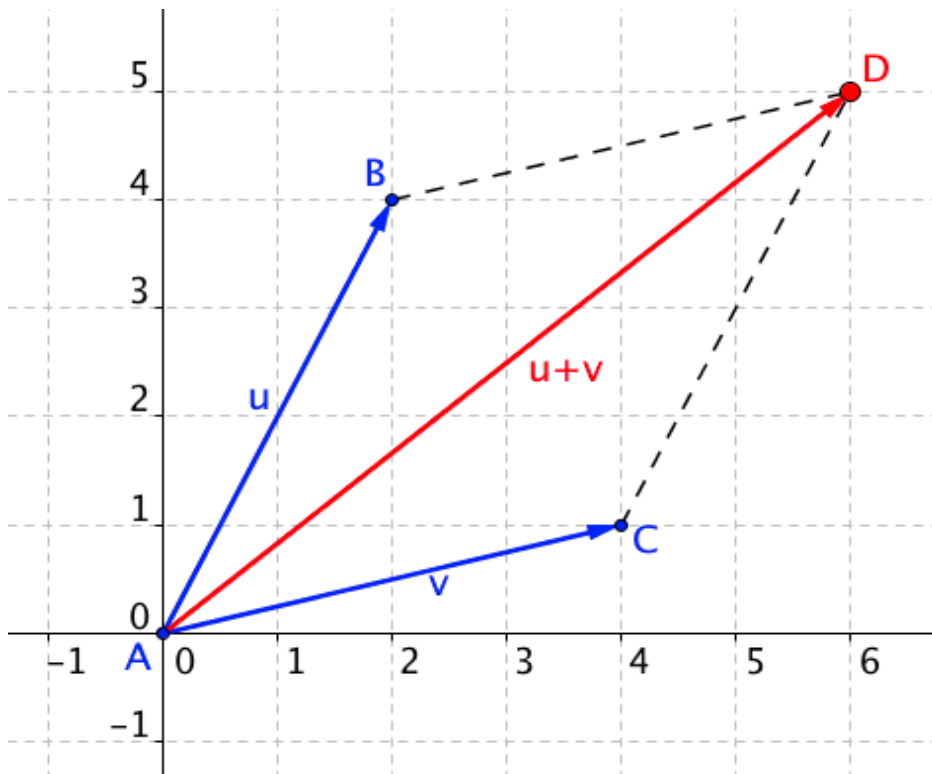
- odvozují se ze základních veličin pomocí vzorců
- Př. rychlost $v = \frac{s}{t}$ $[v] = \frac{m}{s} = m \cdot s^{-1}$

Skalární a vektorové fyzikální veličiny

- **skalární**: určujeme **velikost**; př. hmotnost, délka, objem, teplota, čas(?), energie, práce, výkon
- **vektorové**: určujeme **velikost a SMĚR**; př. síla, rychlost, zrychlení, hybnost; v textu označeny tučně nebo šipkou nad danou veličinou

Sčítání vektorů

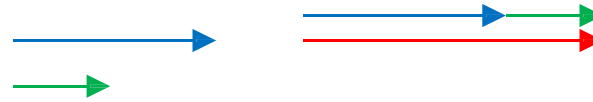
1) grafické – doplnění na rovnoběžník



2) početní

a) Vektory (síly) stejného směru

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$



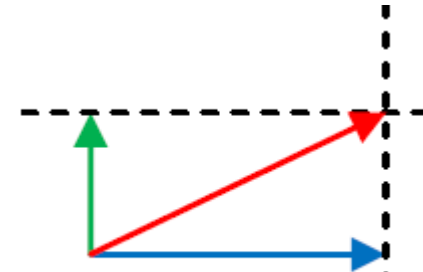
b) Vektory (síly) opačného směru $\mathbf{F} =$

$$\mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_2$$



c) Kolmé vektory (síly) – Pythagorova věta:

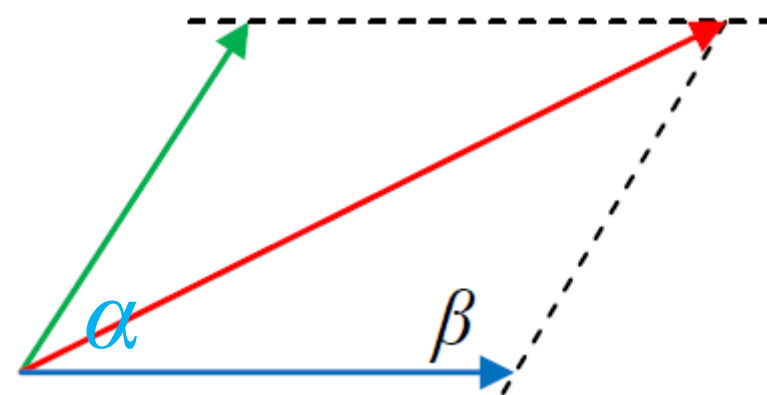
$$\mathbf{F} = \sqrt{\mathbf{F}_1^2 + \mathbf{F}_2^2}$$



d) Vektory obecného směru – věta kosinová:

$$\mathbf{F} = \sqrt{\mathbf{F}_1^2 + \mathbf{F}_2^2 - 2\mathbf{F}_1\mathbf{F}_2\cos\beta}$$

Praktický výpočet pomocí úhlu α

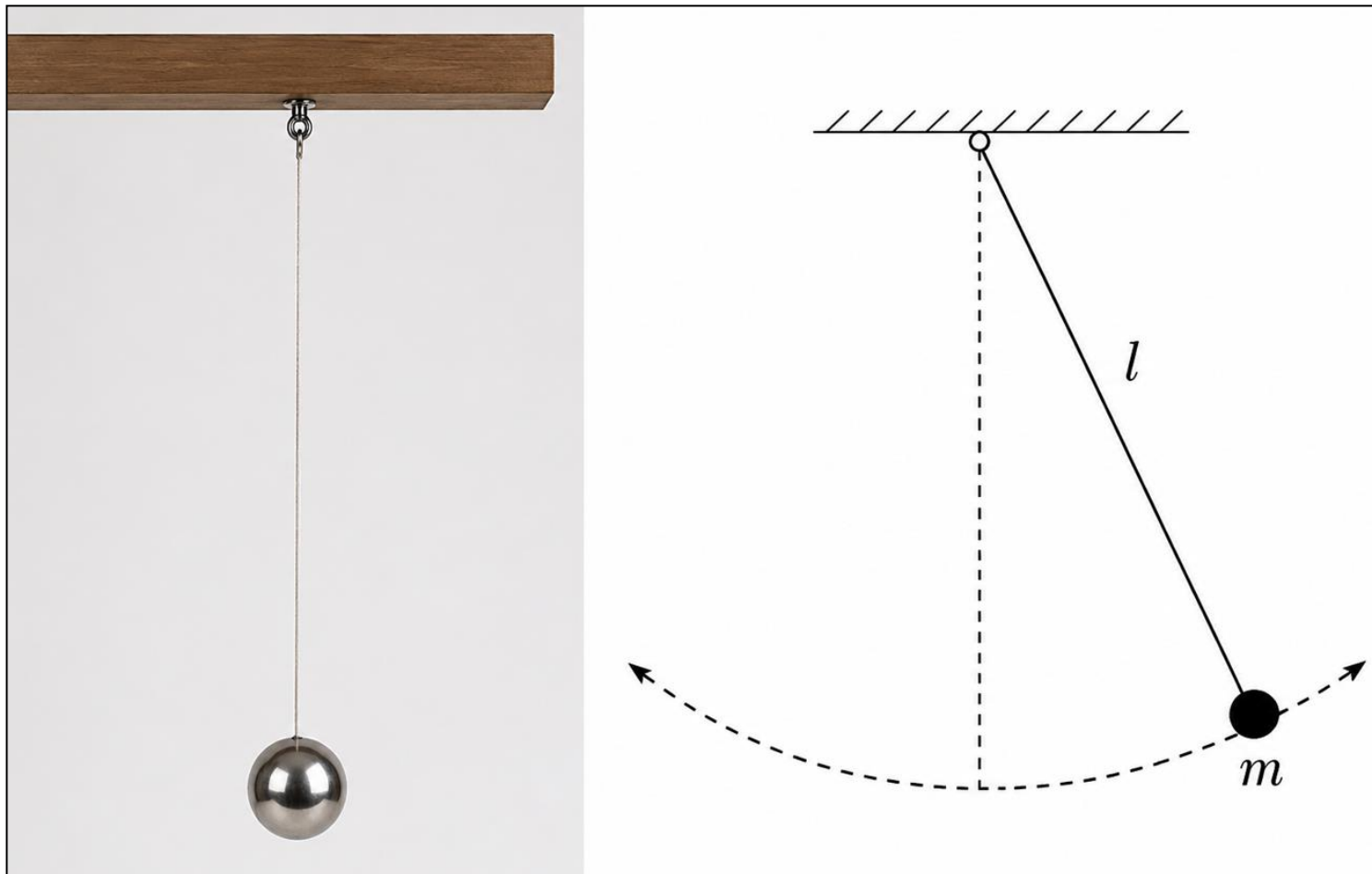


$$\mathbf{F} = \sqrt{\mathbf{F}_1^2 + \mathbf{F}_2^2 + 2\mathbf{F}_1\mathbf{F}_2\sin\alpha}$$

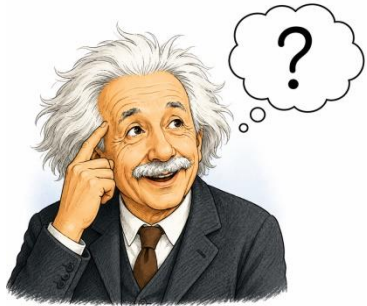
2 Hmotný bod (HB) a jeho vlastnosti

Hmotný bod – zjednodušení popisu fyz. děje

- zanedbáváme rozměry tělesa
- nezanedbáváme hmotnost
- Př. HB: kyvadlo, auto, Venuše, elektron



Klid a pohyb tělesa



Jsou děti na kolotoči v klidu nebo v pohybu?

Vůči sedačce jsou děti v klidu, vůči okolní silnici jsou v pohybu.



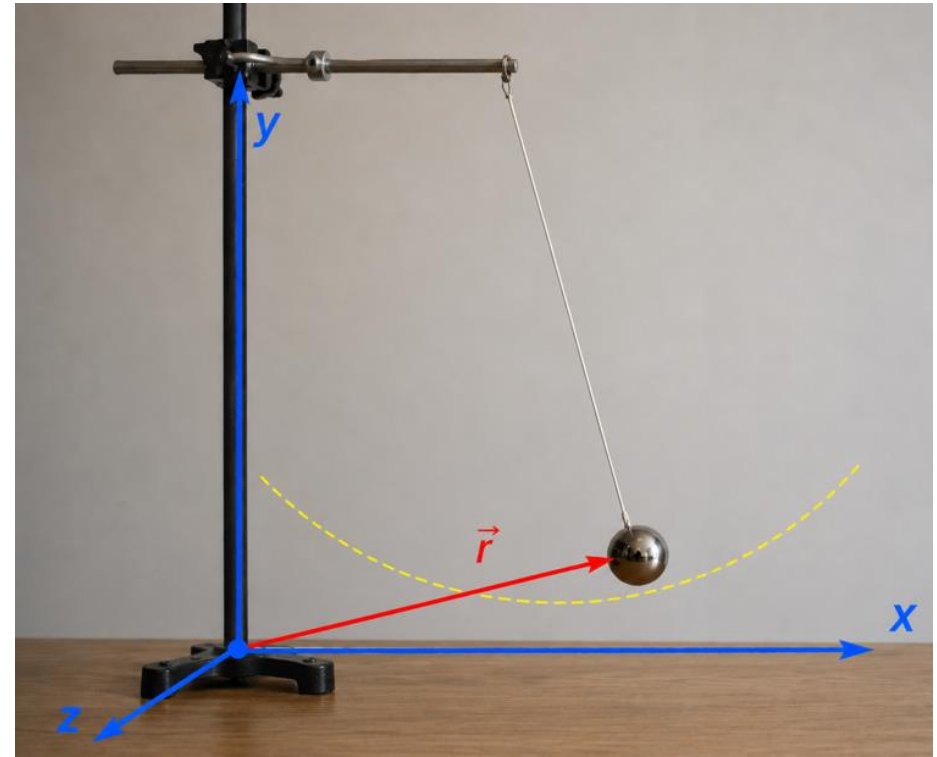
Klid i pohyb tělesa je relativní – záleží na volbě vztažné soustavy.

Vztažná soustava – těleso, vůči kterému vztahujeme pohyb jiného tělesa. Nejčastěji je to povrch Země.

Poloha hmotného bodu

- V prostoru má každý bod 3 souřadnice: A [x, y, z]
- Jeho vzdálenost od počátku souřadné soustavy (bod O[0;0;0;]) je dána velikostí **polohového vektoru** r

$$|r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$



Trajektorie a dráha hmotného bodu

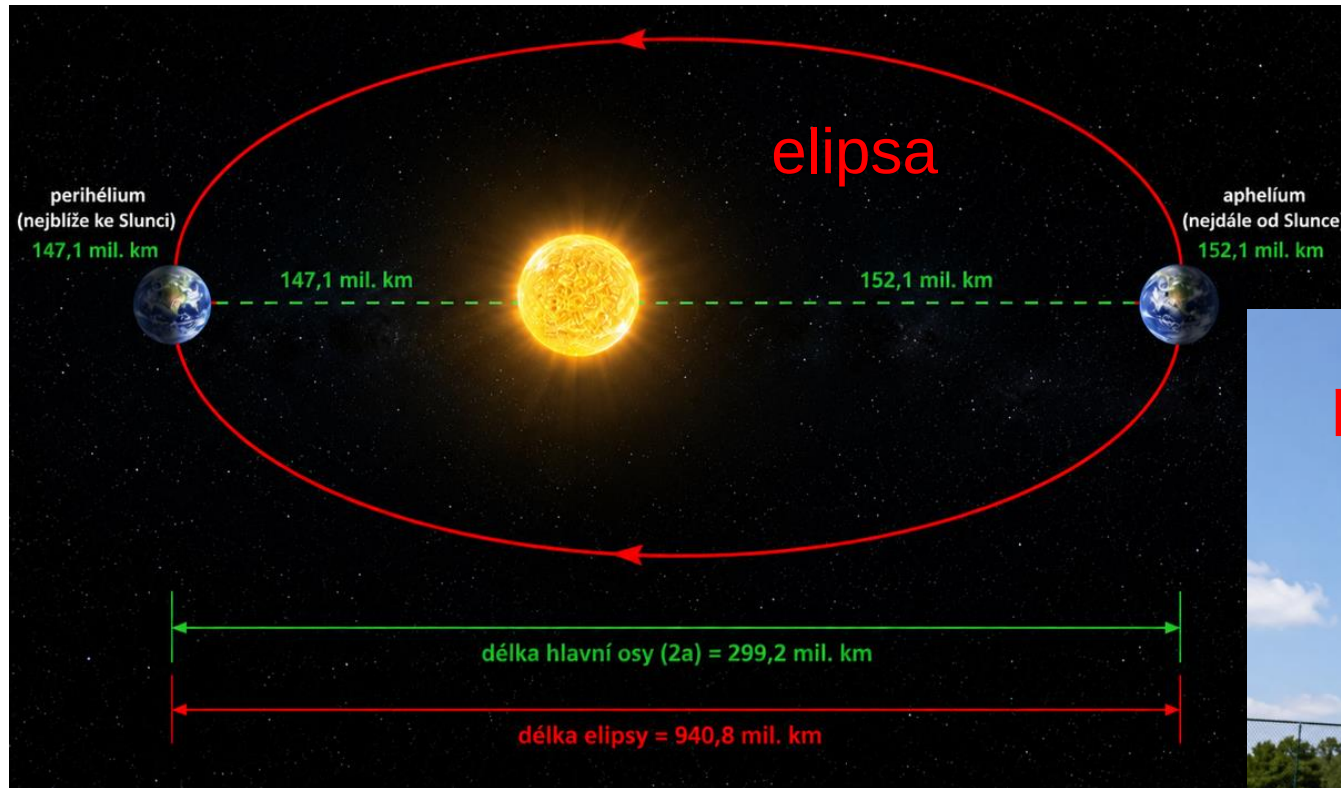


Po jaké trajektorii se pohybuje

- a) Země kolem Slunce
- b) hozený míč
- c) sedačka London eye



G1 - Kinematika



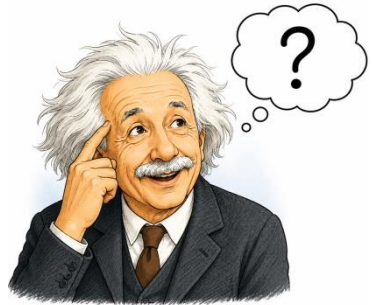
Trajektorie – geometrická křivka (čára) po které se bod pohybuje

Př. pohyb Země kolem Slunce – elipsa, hozený míč – parabola, elektron v magnetickém poli – spirála, lopatka větráku – kružnice

G1 - Kinematika

dráha – s [s] = m

- skalární fyzikální veličina
- udává **délku trajektorie**, kterou těleso při pohybu urazí



Zjistěte, jaký průměr má London eye a vypočítejte délku trajektorie při jednom otočení.

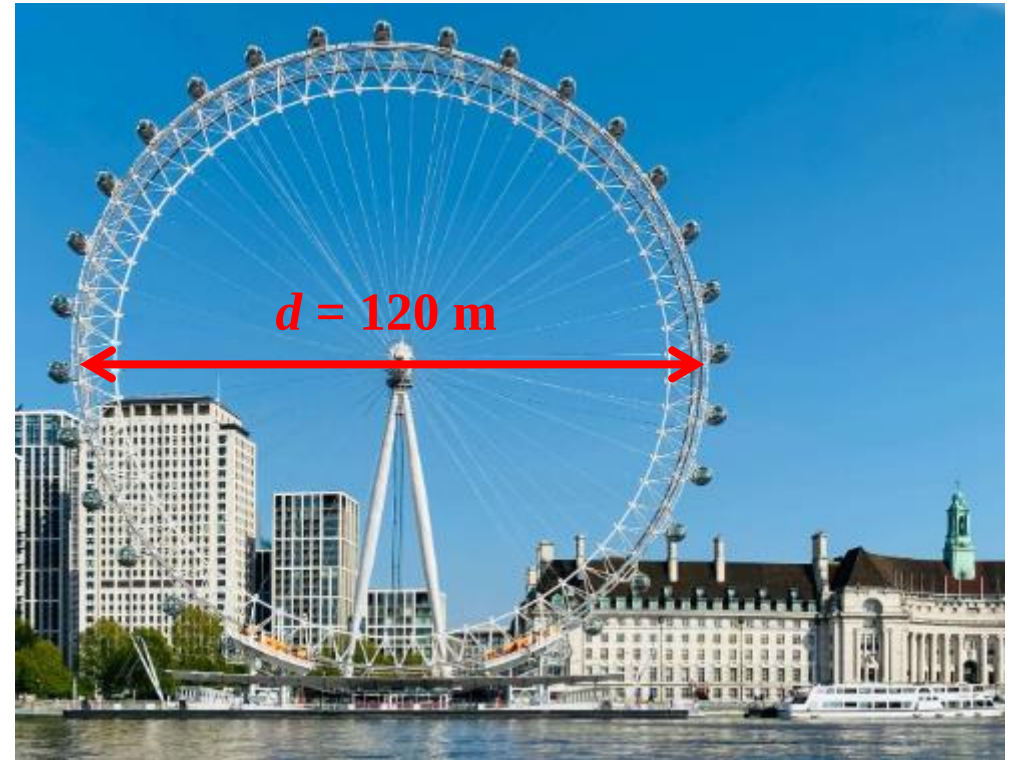
Trajektorii je kružnice o průměru $d = 120$ m.

Dráha je délka kružnice, tj. její obvod:

$$o = 2\pi r = \pi d$$

$$o = 3,14 \times 120 \text{ m}$$

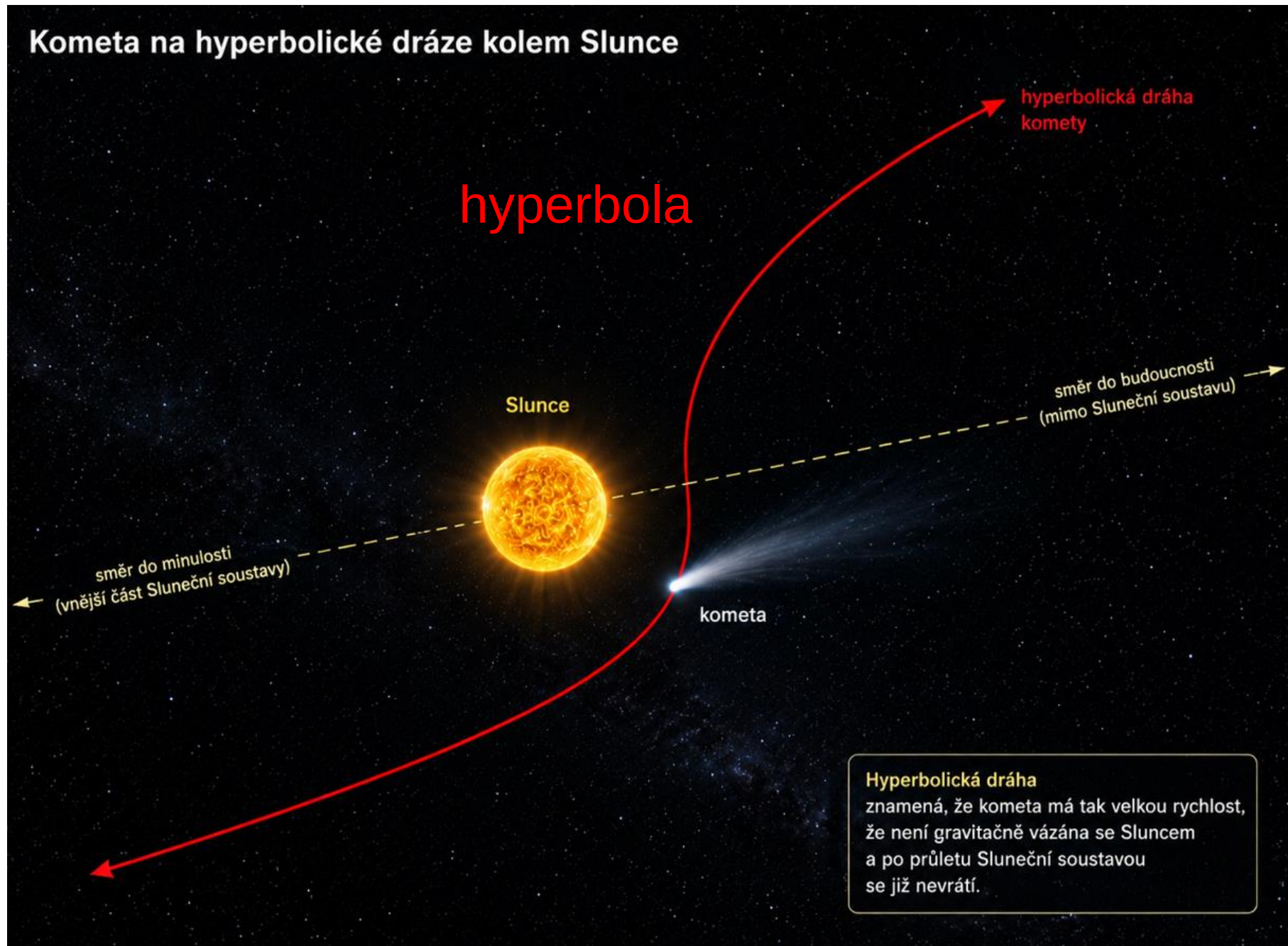
$$o \cong 377 \text{ m}$$



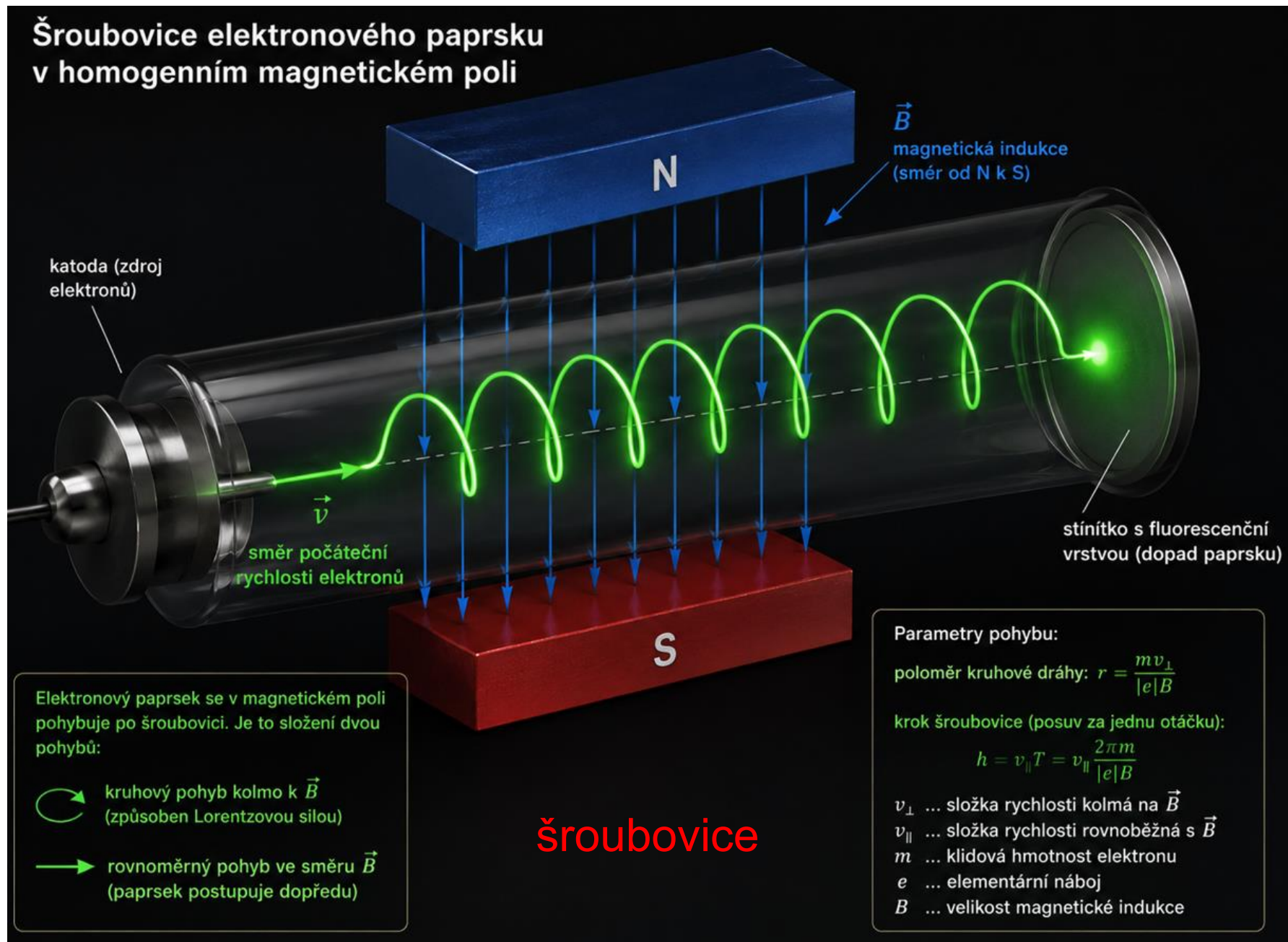
Rozdělení pohybů podle trajektorie

- **přímočaré** – trajektorie je **přímka**
- **křivočaré** – trajektorie je jakákoliv ostatní křivka

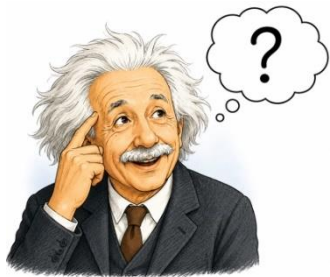
Neobvyklé trajektorie



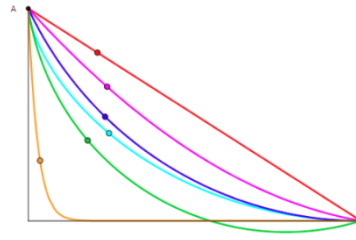
Neobvyklé trajektorie



G1 - Kinematika



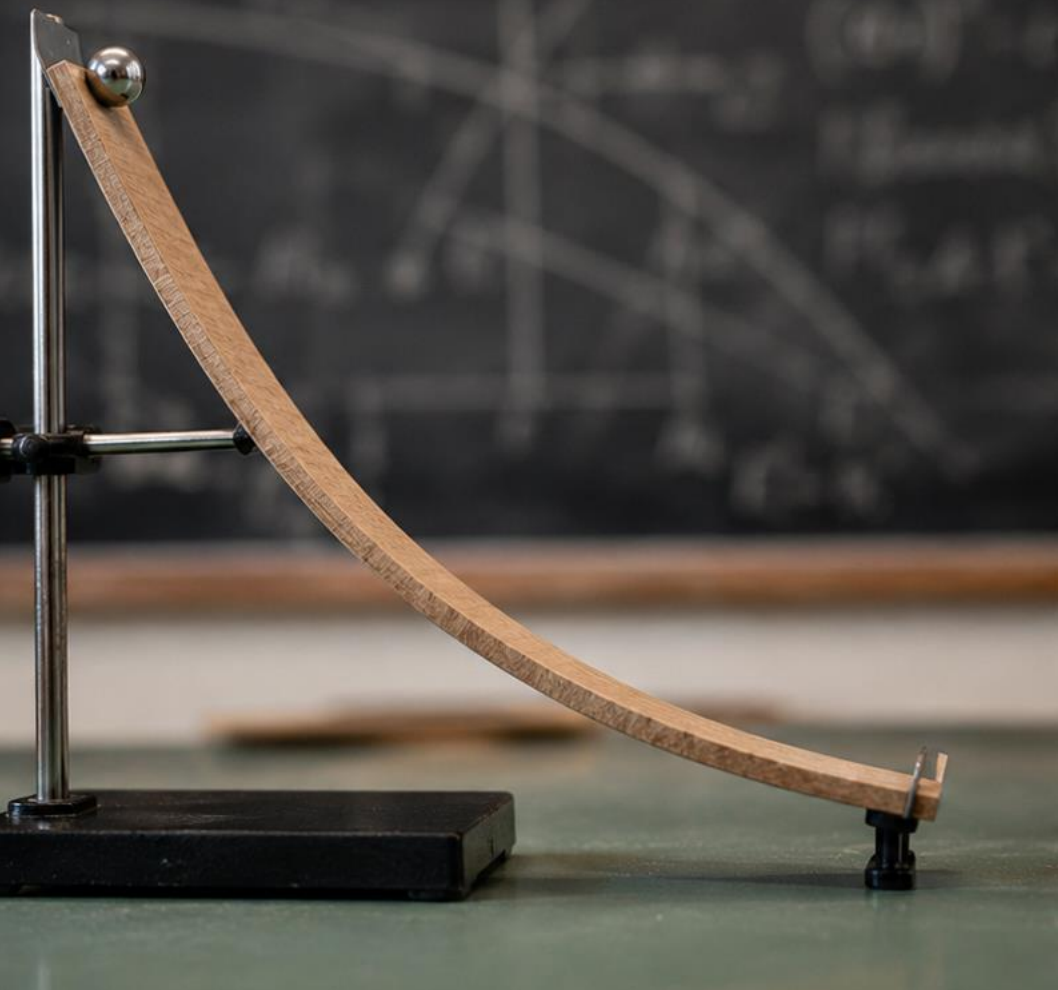
Po jaké trajektorii se kulička v gravitačním poli dostane nejrychleji z bodu A do bodu B?



Neobvyklé trajektorie – brachistochrona

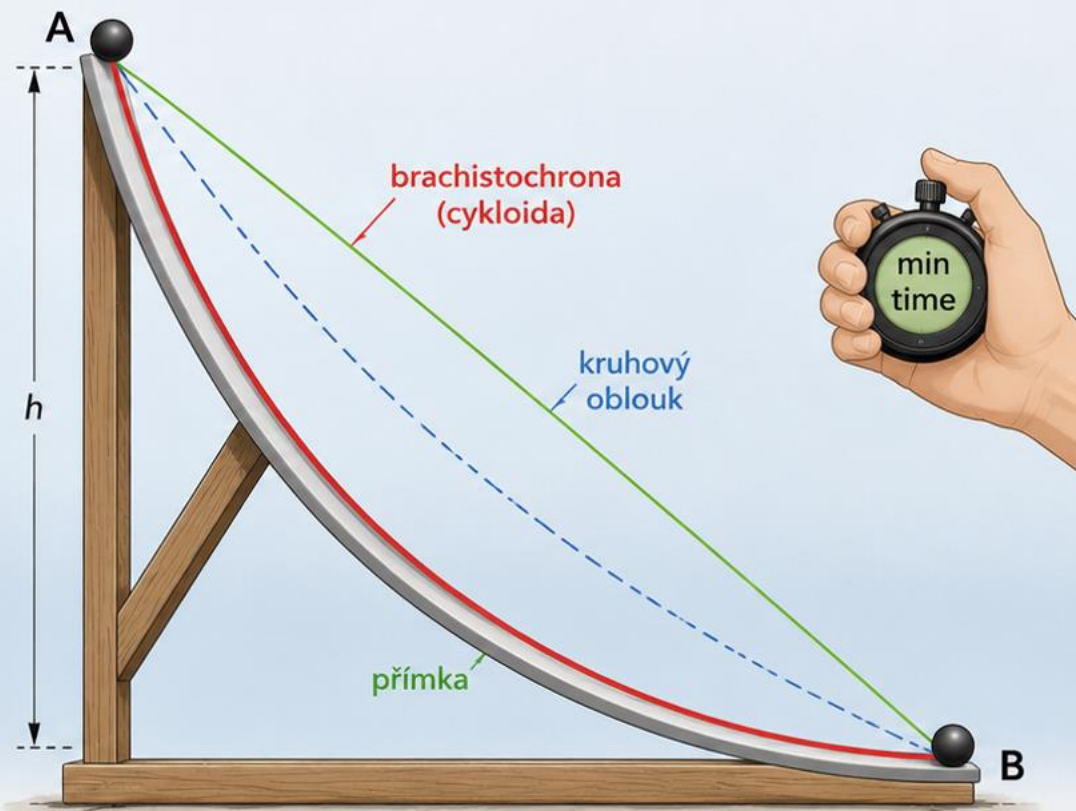
Kulička sjíždějící po brachistochroně

– dráze, po které se dostane z bodu A do bodu B za nejkratší čas působením gravitace.



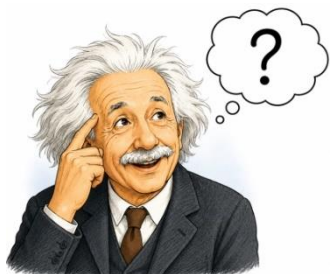
Brachistochrona – nejrychlejší skluzavka

Kulička se z bodu A do bodu B dostane nejrychleji po dráze ve tvaru cykloidy (brachistochroně).



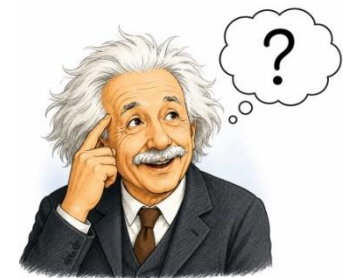
Při stejných výškových rozdílech (h) je čas jízdy po brachistochroně (červeně) kratší než po kružnici (modře) i než po přímce (zeleně).

3 Rychlost hmotného bodu



Anglicky	Český význam	Typický kontext
speed	rychlost	běžná řeč, fyzika, auta, pohyb obecně
velocity	rychlost jako vektor	fyzika, matematika, mechanika
pace	tempo	běh, chůze, práce, hudba
rate	míra, rychlost změny	matematika, chemie, ekonomie
acceleration	zrychlení	změna rychlosti
momentum	hybnost	fyzika
rapidity	prudkost, rychlost	odborně, relativita
quickness	hbitost	sport, reakce
swiftness	svižnost	spíše literární
tempo	tempo	hudba, sport
throughput	propustnost	informatika, síť

G1 - Kinematika



1. speed

Používá se pro velikost rychlosti bez směru.

Například:

- *The car moves at a speed of 80 km/h.*
- auto jede rychlostí 80 km/h

2. velocity

Používá se pro vektorovou rychlost — tedy velikost i směr.

Například:

- *The velocity points north.*
- rychlost směřuje na sever

Terminologie v odborných učebnicích

Český pojem	Anglicky
okamžitá rychlost	instantaneous velocity
průměrná rychlost	average speed
úhlová rychlost	angular velocity
rychlost světla	speed of light
obvodová rychlost	tangential velocity
úniková rychlost	escape velocity

G1 - Kinematika

okamžitá rychlost – v $[v] = \text{m/s} = \text{m s}^{-1}$

- **vektorová** fyzikální veličina
- rychlost v daném bodě má vždy **směr tečny k dané křivce**

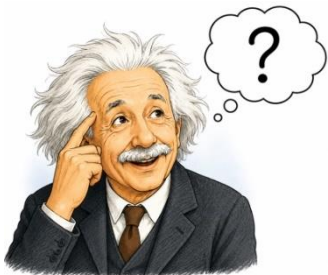
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Δs – velice malá změna dráhy

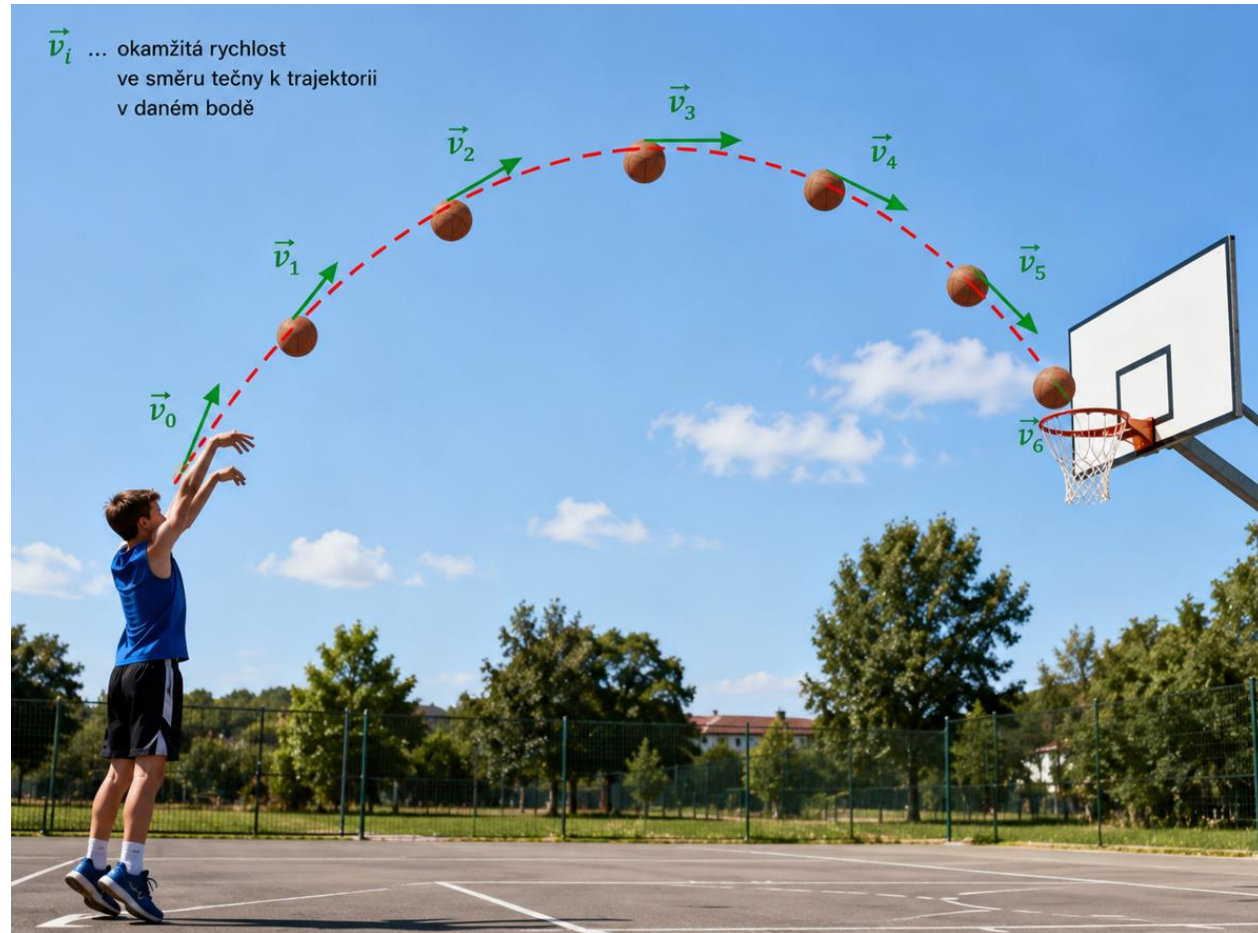
Δt – velice malá změna času ($\Delta t \rightarrow 0$)

Podle změny velikosti okamžité rychlosti dělíme pohyby na:

- **rovnoměrné** – velikost okamžité rychlosti se nemění – je konstantní
- **nerovnoměrné** – velikost rychlosti se mění



Bude při pohybu míče jeho rychlost stále stejná?



Nebude, nejmenší bude v nejvyšším bodě trajektorie, kdy je složka rychlosti ve směru osy y vlivem působení gravitačního pole $v_y = 0 \text{ m/s}$.

G1 - Kinematika

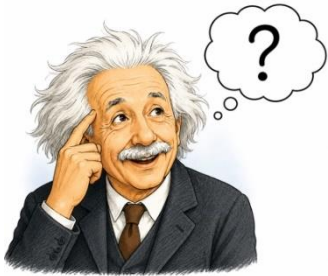
průměrná rychlost – v_p $[v_p] = \text{m/s} = \text{m s}^{-1}$

- **skalární** fyzikální veličina
- **počítá se jako celková uražená dráha za celkový čas**

$$v_p = \frac{s}{t}$$

s – celková dráha, kterou těleso urazí

t – celkový čas pohybu

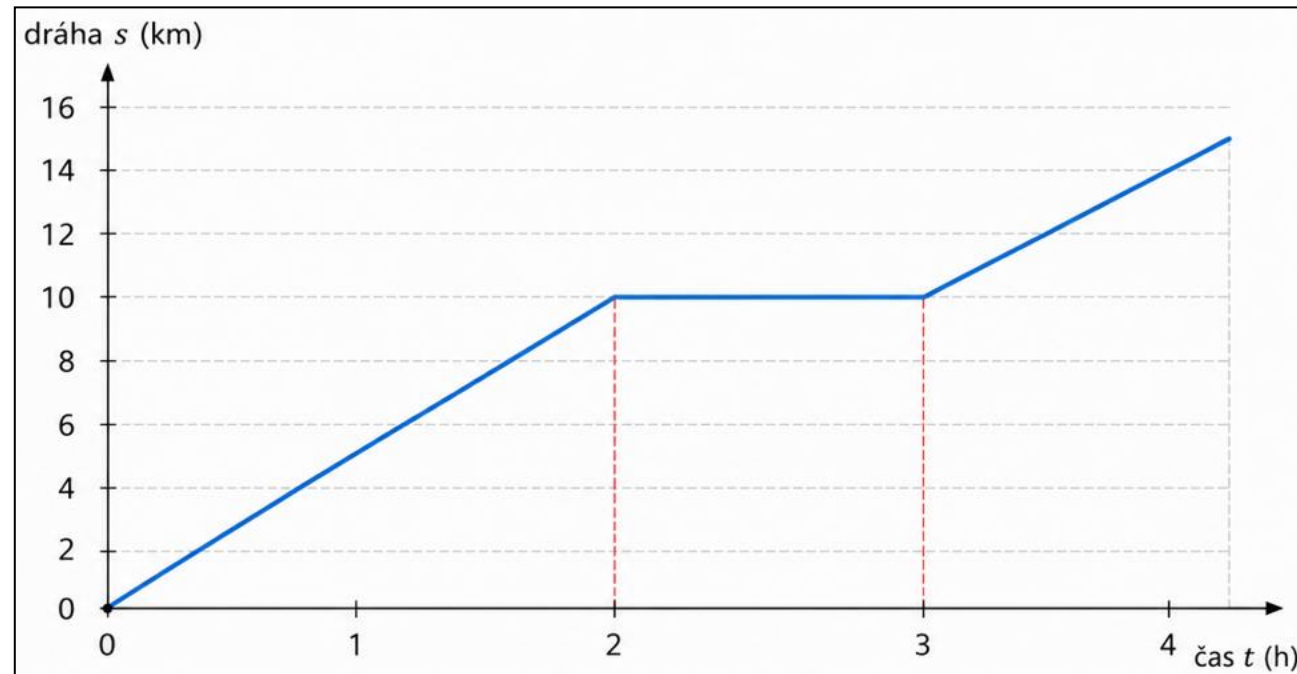


Jaká je průměrná rychlost turisty, jehož pohyb v terénu je znázorněn na grafu?

Špatný postup:

1. pohyb: $v_1 = 10/2 = 5 \text{ km/h}$
2. pohyb: $v_2 = 5/1,25 = 4 \text{ km/h}$

$$v_p = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{5 + 4}{2} = 4,5 \text{ km/h}$$

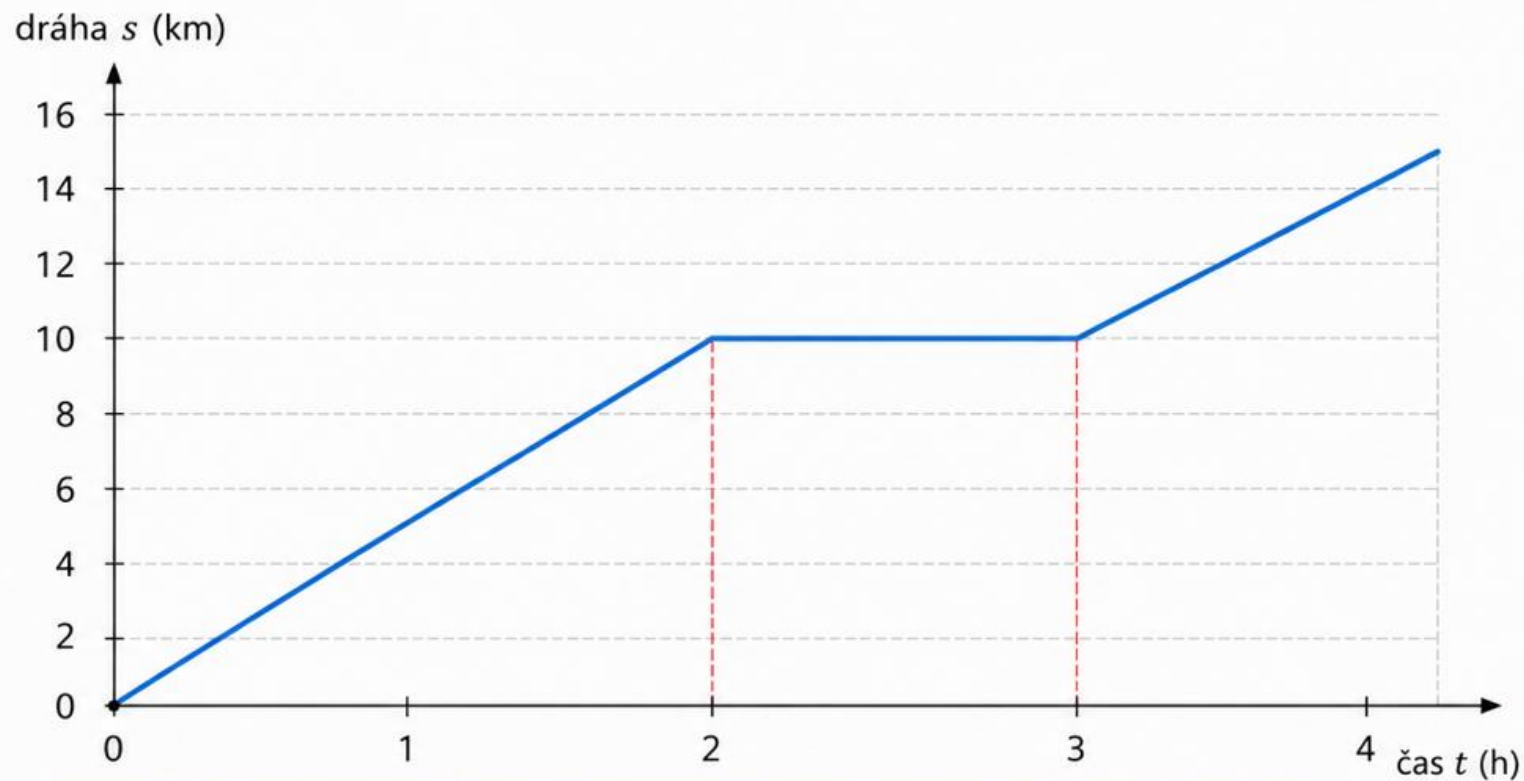


G1 - Kinematika



Dráha na čase s hodinovou přestávkou

Průměrná rychlost je podíl celkové uražené dráhy a celkového času pohybu (včetně přestávk).



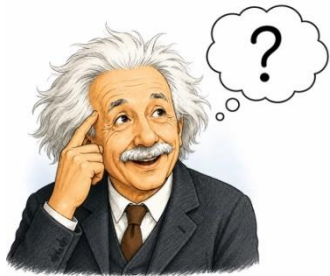
- Uražená dráha: první část 10 km, druhá část 5 km → celkem $s_{\text{celkem}} = 15$ km
- Celkový čas (včetně přestávky): $t_{\text{celkem}} = 4,25$ h
- Průměrná rychlost: $\vec{v} = \frac{s_{\text{celkem}}}{t_{\text{celkem}}} = \frac{15 \text{ km}}{4,25 \text{ h}} \approx \mathbf{3,53 \text{ km/h}}$



Během přestávky (2–3 h) se dráha nemění, graf je vodorovný.

Průměrná rychlost zahrnuje i čas strávený přestávkou, proto je nižší než rychlost při chůzi.

4 Rovnoměrný přímočarý pohyb



Co všechno se na fotografii pohybuje rovnoměrně přímočaře?

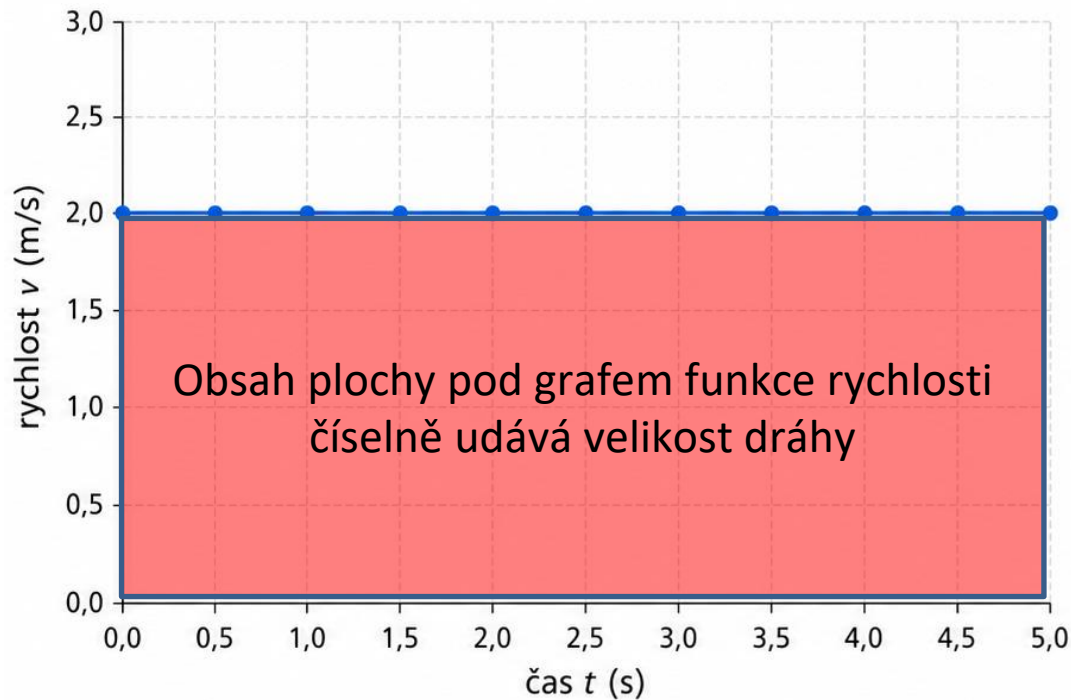
Eskalátor, zavazadlový pás, kufr, turista, cyklista, vlak



4 Rovnoměrný přímočarý pohyb

- trajektorie: **přímka**
- **rovnoměrný** → **rychlost se nemění, je konstantní**
- **dráha roste přímo úměrně** – za stejný čas urazí těleso vždy stejnou dráhu

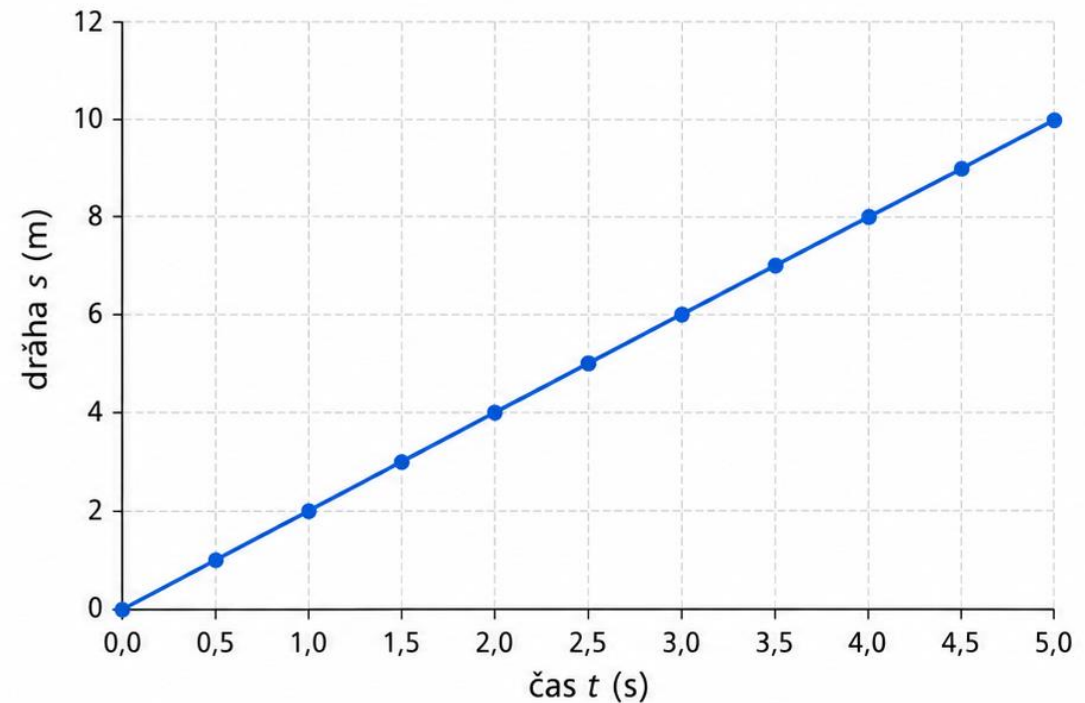
Rychlost na čase



čas t (s)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
rychlost v (m/s)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

$$v = \text{konst.}$$

Dráha na čase



čas t (s)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
dráha s (m)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0

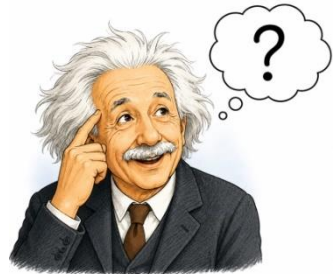
$$s = vt$$

5 Zrychlení hmotného bodu

okamžité zrychlení – a $[a] = \text{m/s}^2 = \text{m s}^{-2}$

- **vektorová** fyzikální veličina
- zrychlení má v daném okamžiku **směr změny rychlosti**
- **změna rychlosti:** $\Delta v = v_2 - v_1$, v_2 - konečná rychlost, v_1 - počáteční rychlost

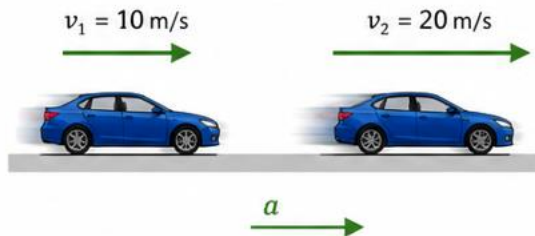
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



SMĚR ZRYCHLENÍ

1) Těleso zrychluje (zvětšuje rychlost)

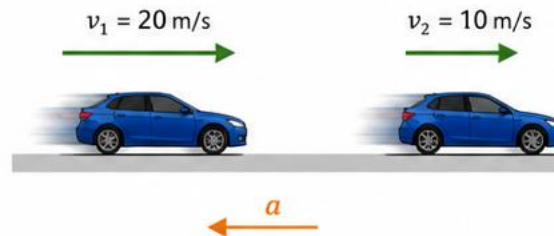
Zrychlení má **stejný směr** jako rychlost.



Zrychlení směřuje dopředu.
Rychlost **roste**.

2) Těleso zpomaluje (zmenšuje rychlost)

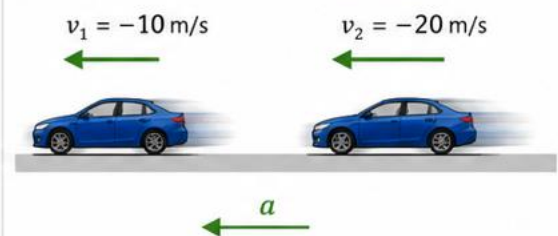
Zrychlení má **opačný směr** než rychlost.



Zrychlení směřuje dozadu.
Rychlost **klesá**.

3) Těleso zrychluje v opačném směru

Zrychlení má **stejný směr** jako rychlost (tedy i když těleso jede „dozadu“).



Zrychlení směřuje dozadu.
Rychlost ($|v|$) **roste**.

SHRNUTÍ:

- Zrychlení ukazuje, jak se mění rychlost.
- Má **stejný směr** jako změna rychlosti.
- Pokud rychlost roste, zrychlení má **stejný směr** jako rychlost.
- Pokud rychlost klesá, zrychlení má **opačný směr** než rychlost.

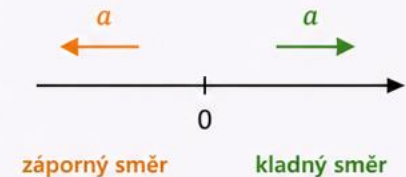
Změna rychlosti
 Δv

=

konečná rychlost v_2

–

počáteční rychlost v_1



G1 - Kinematika

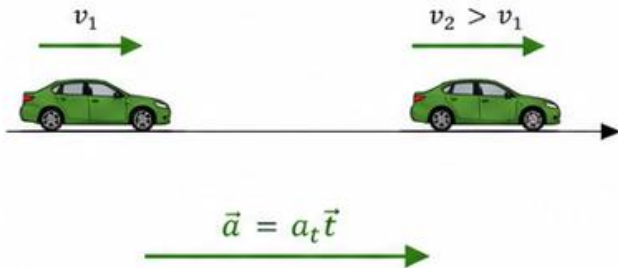
Tečné a normálové zrychlení

- tečné zrychlení a_t - vyjadřuje změnu velikosti rychlosti
- normálové zrychlení a_n - vyjadřuje změnu směru rychlosti

$$a_t \perp a_n$$

1) ROVNOMĚRNÉ ZRYCHLENÝ PŘÍMOČARÝ POHYB

Dráha je přímka → směr rychlosti se nemění.
Normálové zrychlení je nulové ($a_n = 0$).



Tečné zrychlení: $a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
Normálové zrychlení: $a_n = 0$

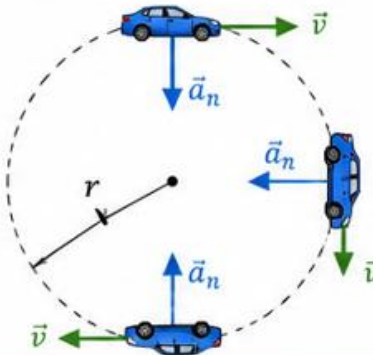
Příklad:

Auto se rozjíždí z klidu a každou sekundu zvýší svou rychlost o 2 m/s.

Pak $a_t = 2 \text{ m/s}^2$, $a_n = 0$.

2) ROVNOMĚRNÝ POHYB PO KRUŽNICI

Velikost rychlosti je konstantní → $a_t = 0$.
Zrychlení směřuje do středu kružnice.



Tečné zrychlení: $a_t = 0$
Normálové zrychlení: $a_n = \frac{v^2}{r}$

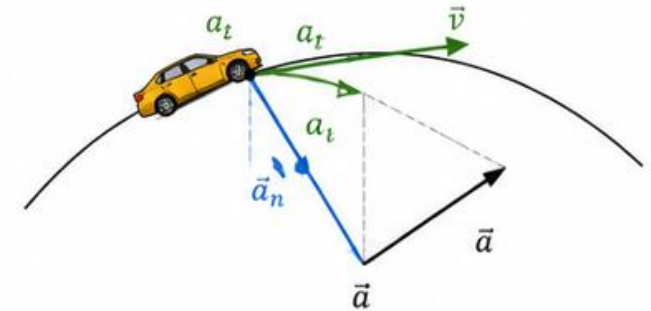
Příklad:

Auto jede po kruhovém objezdu rychlostí 15 m/s a poloměr kružnice je 25 m.

Pak $a_n = \frac{15^2}{25} = 9 \text{ m/s}^2$ (směrem do středu).

3) OBECNÝ (NEROVNOMĚRNÝ) KŘIVOČARÝ POHYB

Mění se velikost i směr rychlosti.
Obě složky zrychlení mohou být nenulové.



Tečné zrychlení: $a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
Normálové zrychlení: $a_n = \frac{v^2}{r}$

Příklad:

Auto projíždí zatáčkou a současně zrychluje. Rychlost roste z 10 m/s na 14 m/s během 2 s ($a_t = 2 \text{ m/s}^2$), poloměr zatáčky je 40 m a okamžitá rychlost 12 m/s.

Pak $a_n = \frac{12^2}{40} = 3,6 \text{ m/s}^2$ do středu zatáčky.

SHRNUTÍ

- a_t mění velikost rychlosti (zrychlování / zpomalování).
- a_n mění směr rychlosti (zakřivení trajektorie).
- Pokud je trajektorie přímka ($r \rightarrow \infty$), pak $a_n = 0$.
- Pokud je rychlost konstantní ($a_t = 0$), těleso se může pohybovat po kružnici.

Jednotky:

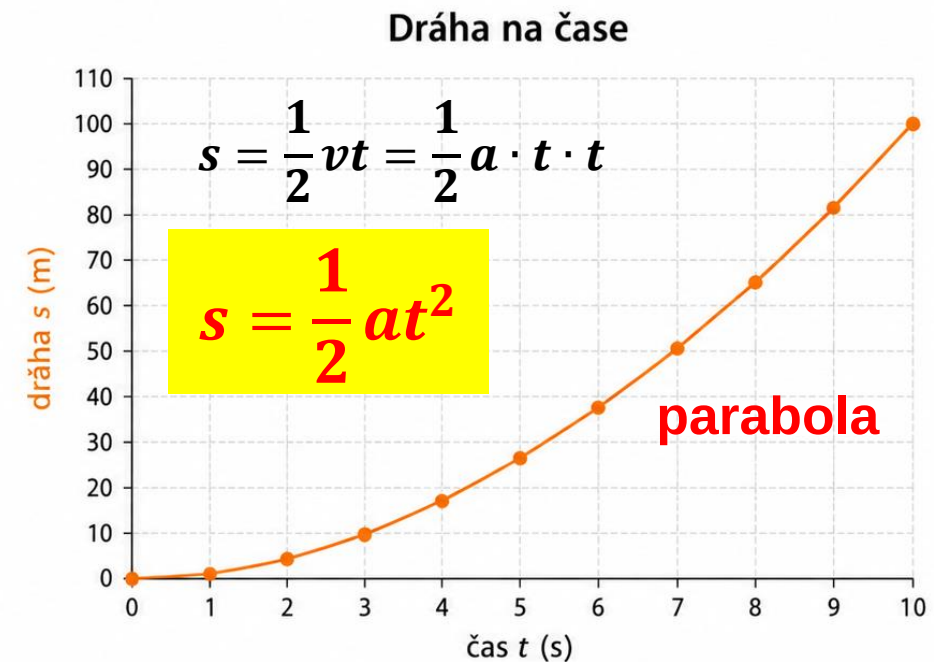
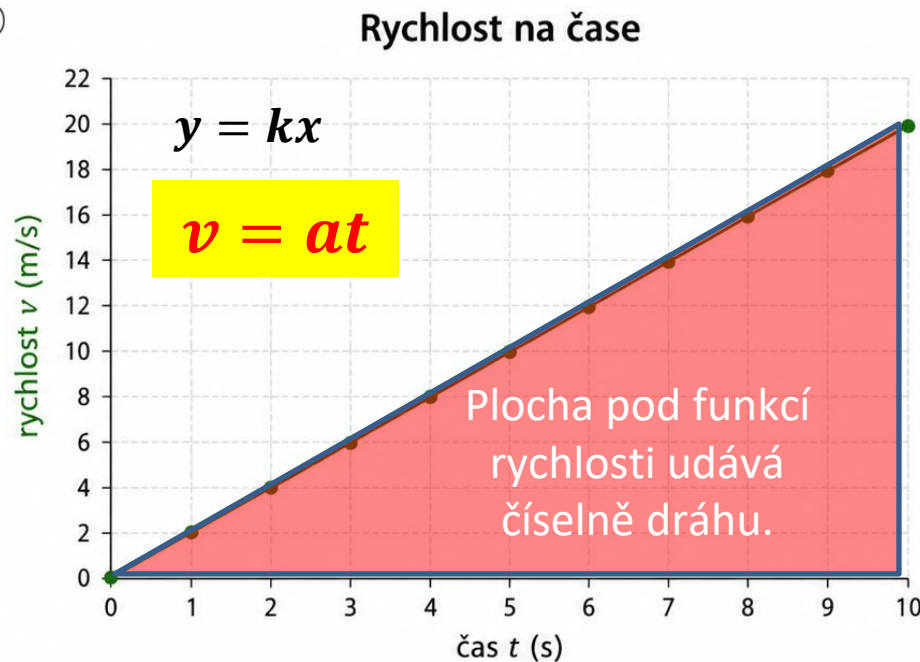
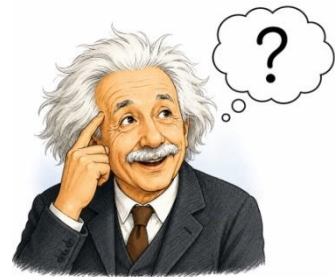
a_t, a_n, a v m/s^2
 v v m/s
 r v m

Vektory:

$\vec{v}$... rychlost (tečný směr)
 a_t ... **tečné zrychlení** (tečný směr)
 a_n ... **normálové zrychlení** (do středu křivosti)
 $\vec{a}$... výsledné zrychlení

6 Rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb

- trajektorie: **přímka**
- **rovnoměrně zrychlený** → **rychlost rovnoměrně narůstá (je lineární funkcí času)**
- **dráha roste nerovnoměrně – za stejný čas urazí těleso vždy stále větší dráhu**



čas t (s)	0	1	2	3	4
rychlost v (m/s)	0	2	4	6	8
dráha s (m)	0	1	4	9	16

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_5 - v_2}{t_5 - t_2} = \frac{8 - 2}{4 - 1} = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Zrychlení je konstantní.

25 36 49 64 81 100

G1 - Kinematika

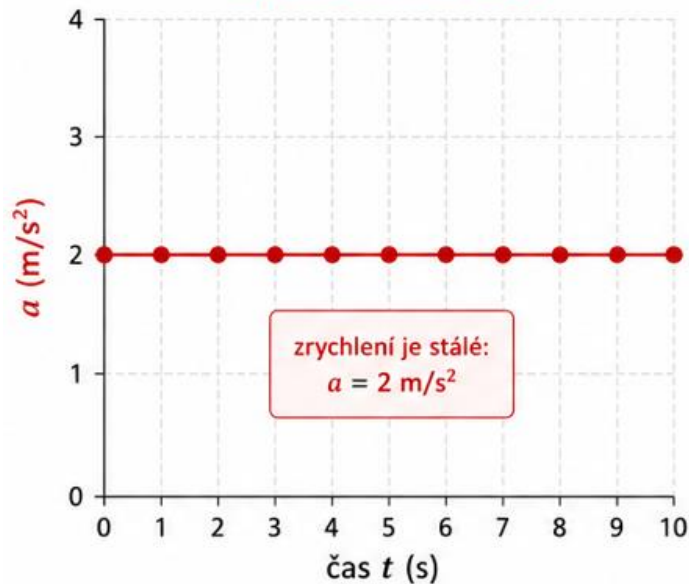
Rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb s nenulovou počáteční rychlostí

- $a = \text{konst.}$
- $v_0 \neq 0$

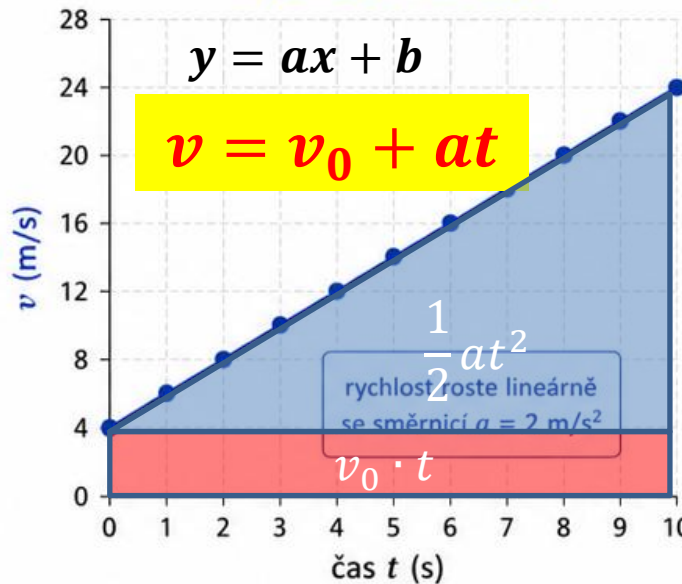
Těleso se pohybuje po přímce se stálým zrychlením $a > 0$.
Začíná nenulovou počáteční rychlostí v_0 a jeho rychlost se rovnoměrně zvětšuje.

Příklad: $v_0 = 4 \text{ m/s}$, $a = 2 \text{ m/s}^2$

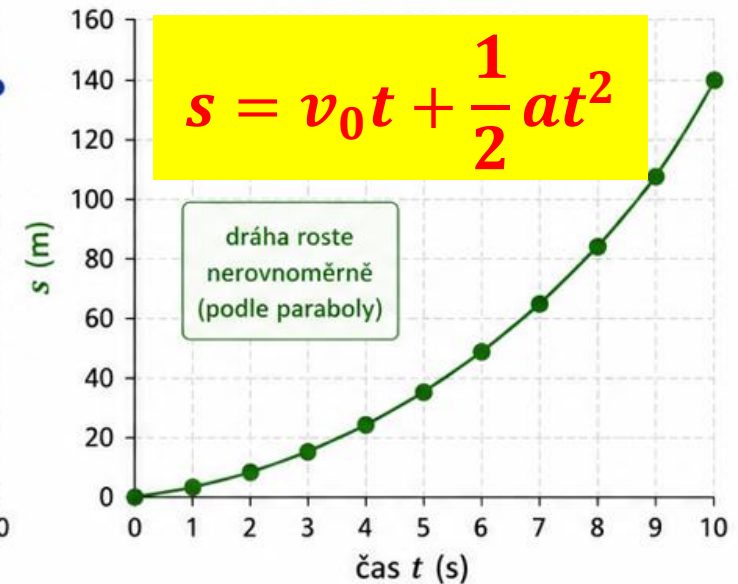
Zrychlení a na čase



Rychlost v na čase



Dráha s na čase



čas t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
rychlost v (m/s)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
dráha s (m)	0	4	10	18	28	40	54	70	88	108	140
zrychlení a (m/s ²)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Použité vztahy ($a = 2 \text{ m/s}^2$, $v_0 = 4 \text{ m/s}$):

$v = v_0 + a t$ graf $v(t)$ je přímka

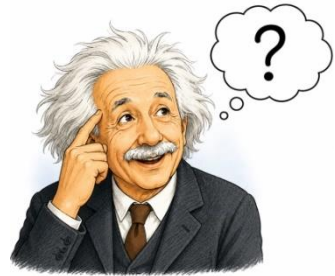
$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ graf $s(t)$ je parabola

$a = \text{konst.}$ graf $a(t)$ je vodorovná přímka

G1 - Kinematika

Rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb

- $a < 0$
- $v_0 \neq 0$



Jak můžeme jednoduše přepsat rovnice pro zrychlený pohyb, aby vyjadřovaly pohyb zpomalený?
Jak bude vypadat graf rychlosti a dráhy na čase?

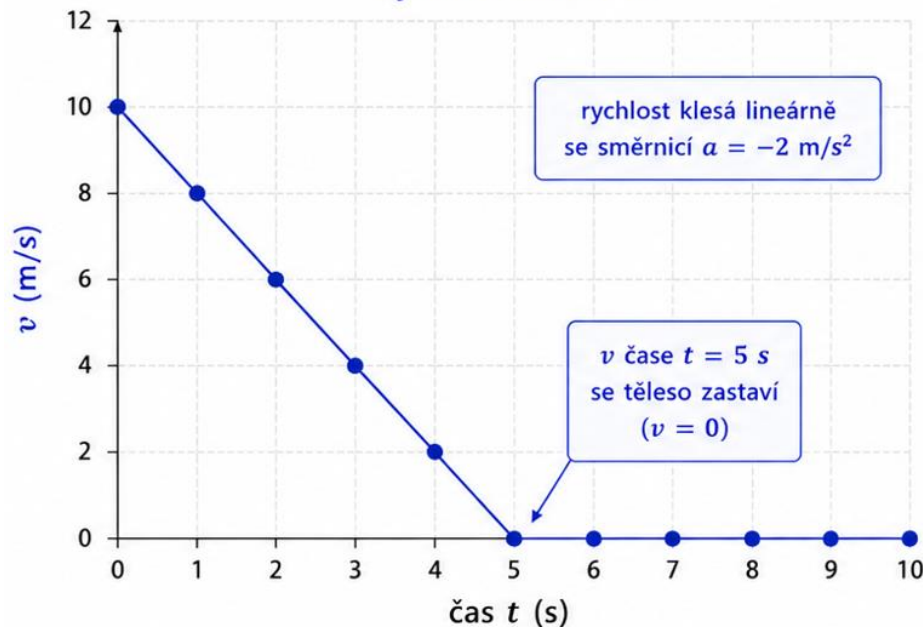
$$v = v_0 - at$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} at^2$$

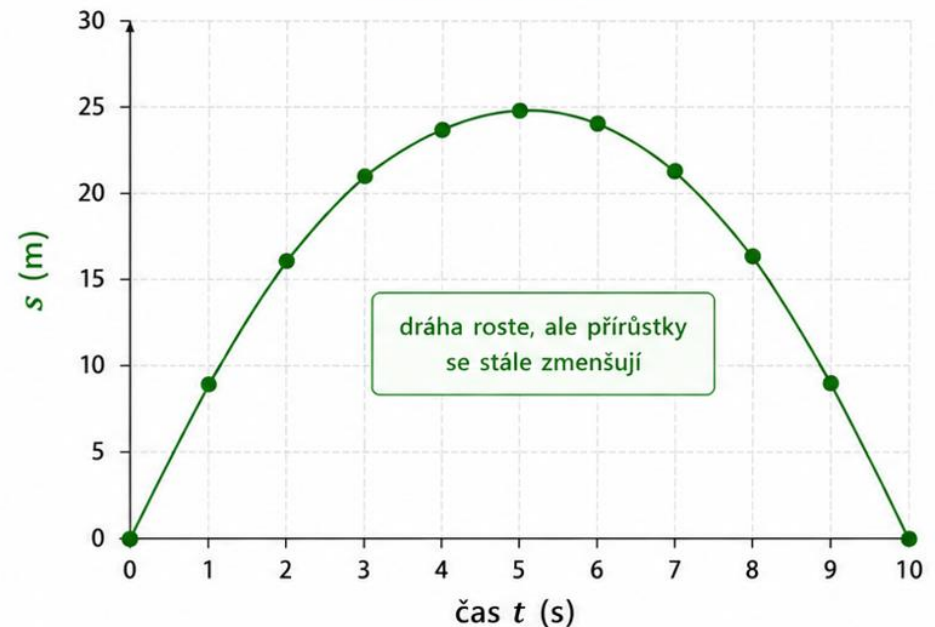
Těleso se pohybuje po přímce se stálým záporným zrychlením ($a < 0$).
Jeho rychlost se rovnoměrně zmenšuje a uražená dráha stále roste, ale stále pomaleji.

Příklad: $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $a = -2 \text{ m/s}^2$

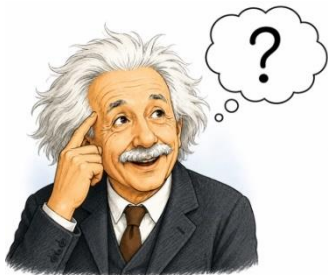
Rychlost v na čase



Dráha s na čase



7 Volný pád



Co dopadne na stůl dříve ze stejné výšky, list papíru nebo svazek klíčů?

Nezávisle na hmotnosti dopadne papír i klíče ve stejný okamžik.

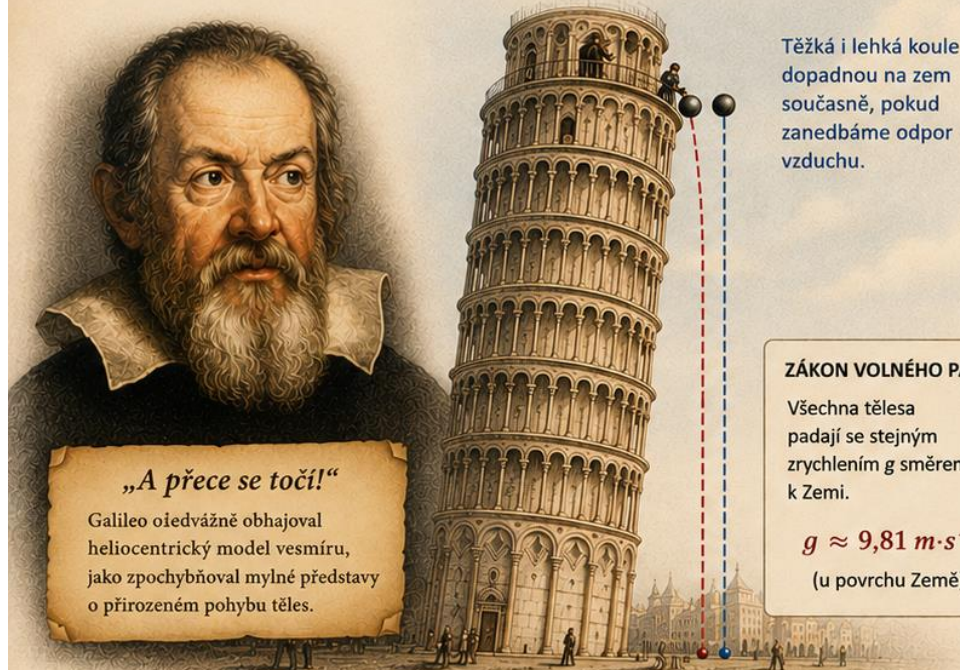
$$v = gt$$

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

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

Galileo Galilei, věž v Pise a volný pád

Kolem roku 1600 prováděl Galileo Galilei (1564–1642) pokusy, které změnily naše chápání pohybu. Jedním z nejznámějších je příběh o pouštění koulí z věže v Pise, kterým ukázal, že všechna tělesa padají stejným zrychlením bez ohledu na svou hmotnost (zanedbáme-li odpor vzduchu).



Těžká i lehká koule dopadnou na zem současně, pokud zanedbáme odpor vzduchu.

ZÁKON VOLNÉHO PÁDU

Všechna tělesa padají se stejným zrychlením g směrem k Zemi.

$$g \approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

(u povrchu Země)

„A přece se točí!“

Galileo oledvážně obhajoval heliocentrický model vesmíru, jako zpochybňoval mylné představy o přirozeném pohybu těles.

VOLNÝ PÁD – ZÁKLADNÍ VZTAHY (BEZ ODPORU VZDUCHU)

Těleso je puštěno z klidu (počáteční rychlost je: u volného pádu nulová).

Zrychlení: $a = g$ (směrem dolů)

Rychlost v v čase t : $v = g t$

Dráha (posunutí) v čase t : $s = \frac{1}{2} g t^2$

Rychlost po uražení dráhy s : $v^2 = 2 g s$

ZAÍMAVOSTI O GALILEOVĚ POKUSU



Pokus na věži v Pise není historicky doložen.

Nejspíše jde o legendu, která symbolizuje Galileovo odvážné myšlení a odpor proti tehdejší autoritě.



Galileo nepouštěl jen koule.

Používal nakloněné roviny, kyvadla a vodní hodiny, aby přesně měřil pohyb – na svou dobu neuvěřitelně moderní metody.



Teleskop mu otevřel vesmír.

Díky němu objevil měsíce Jupiteru, fáze Venuše a hory na Měsíci – další důkaz, že nebe není „dokonalé“ a neměnné.



Jeho myšlenky byly nebezpečné.

V roce 1633 byl donucen odvolat své názory a zbytek života strávil v domácím vězení.



Předběhl svou dobu o 300 let.

Jeho práce položila základy klasické mechaniky, která byla plně doceněna až Newtonem.

MÉNĚ ZNÁMÉ FAKTY O VOLNÉM PÁDU

Vakuum ruší rozdíly

Na Měsíci dopadnou pírko a kladivo současně – protože není vzduch, který by je brzdil.



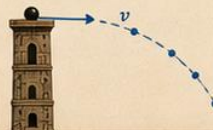
Galileo měřil čas vodou

Jeho „vodní hodiny“ mu umožnily měřit krátké časy mnohem přesněji než přesápací hodiny.



Pád není přímočarý

Vrhnete-li těleso vodorovně, nevystřeluje přímo, ale padá po křivce (parabole). Galileo to studoval pomocí kombinace vodorovného a svislého pohybu.



g se mění s místem

Hodnota g není všude stejná. Závisí na nadmořské výšce a zeměpisné šířce. Na pólech je o něco větší než na rovníku.



Nejdelší volný pád

Felix Baumgartner skočil v roce 2012 z výšky 39 km. Po dobu 4 min 19 s byl ve volném pádu rychlostí přes 1 300 km/h – než otevřel padák.



Odkaz Galilea žije dál

Jeho principy volného pádu používáme každý den – od sportu po satelity obíhající Zemi.



„Příroda je napsána jazykem matematiky.“ – Galileo Galilei

G1 - Kinematika

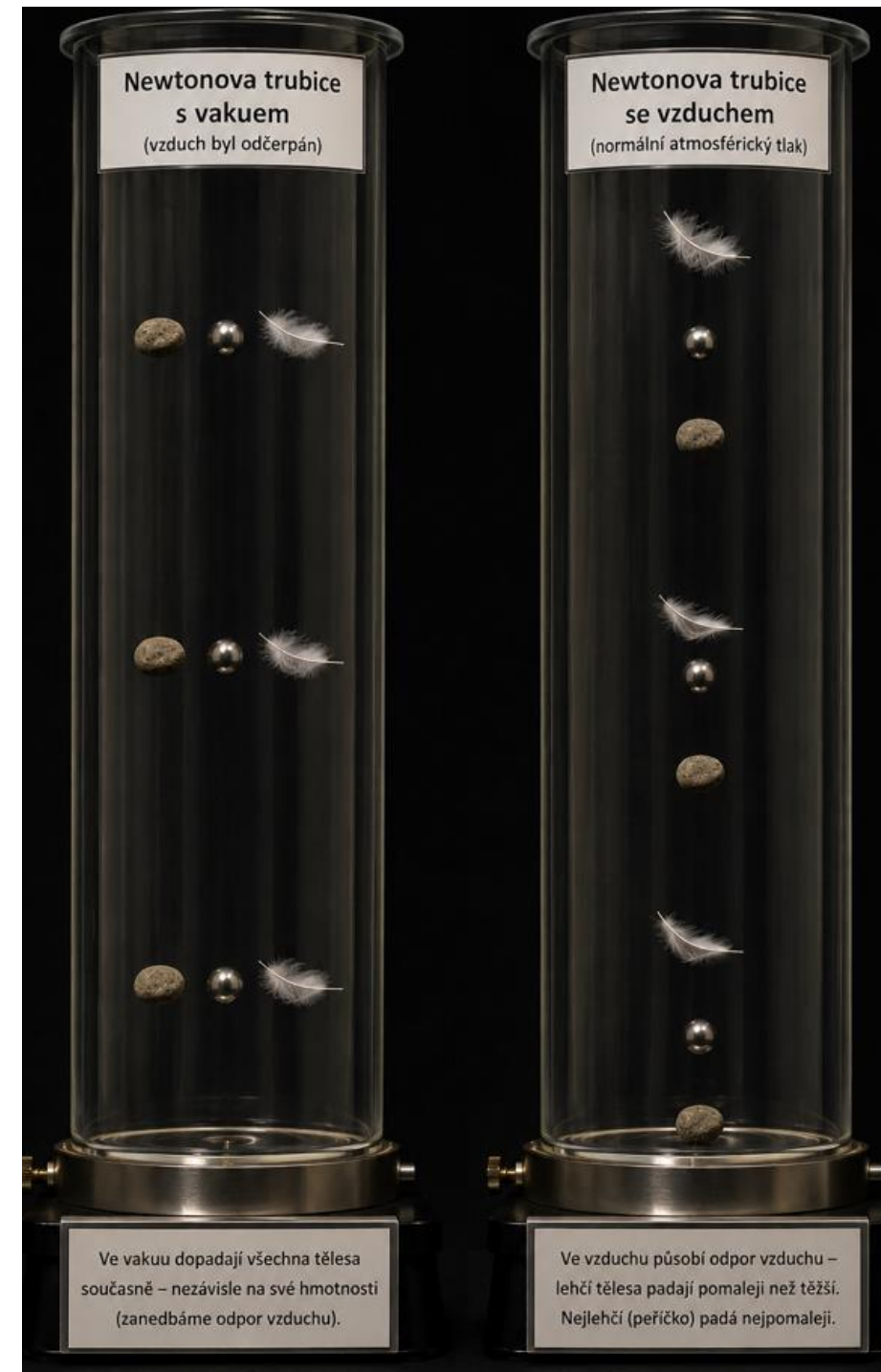
- pád volně puštěných těles v homogenním gravitačním poli Země
- rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb
- počáteční rychlost $v_0 = 0$
- **ve vakuu padají všechna tělesa stejně rychle *nezávisle na hmotnosti***
- ve vzduchu klade prostředí odpor – lehčí tělesa nebo tělesa s velkou plochou padají pomaleji (list papíru x klíče)
- tělesa padají s **tíhovým zrychlením g**

tíhové zrychlení g $[g] = \text{m s}^{-2}$

- směřuje vždy svisle dolů
- velikost závisí na zeměpisné poloze
- největší na pólu, nejmenší na rovníku

normální tíhové zrychlení

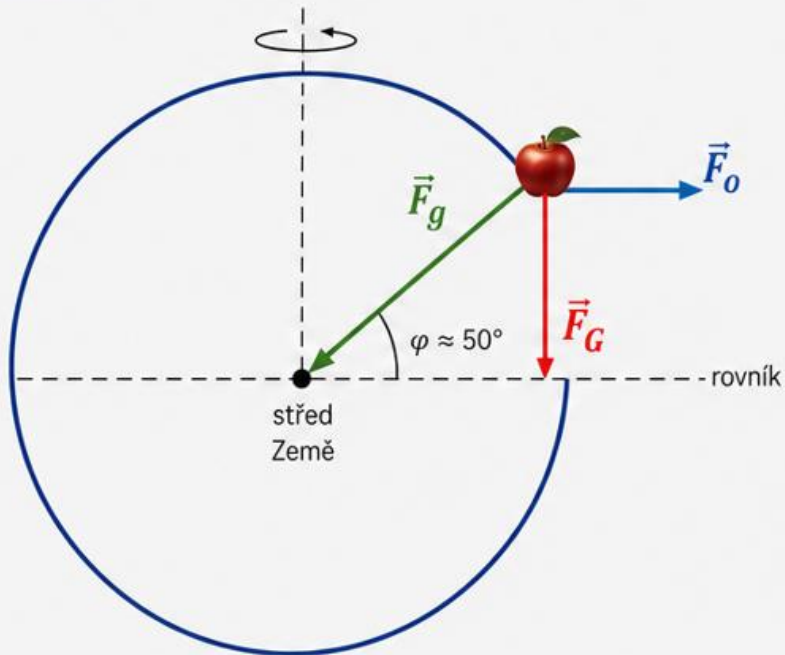
$g = 9,80665 \text{ ms}^{-2} = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ stanoveno dohodou



GRAVITAČNÍ, ODSŘEDIVÁ A TÍHOVÁ SÍLA NA POVRCHU ZEMĚ

Příklad: zeměpisná šířka $\varphi \approx 50^\circ$ severní šířky

POHLED Z BOKU (v rovině poledníku)



$\vec{F}_g$ **GRAVITAČNÍ SÍLA**
směr: do středu Země

$\vec{F}_o$ **ODSŘEDIVÁ SÍLA**
směr: kolmo na osu rotace
(vodorovně od osy)

$\vec{F}_G$ **TÍHOVÁ SÍLA**
směr: kolmo dolů
(vektorový součet $\vec{F}_g$ a $\vec{F}_o$)

TÍHOVÁ SÍLA JE VÝSLEDNICÍ:

$$\vec{F}_G = \vec{F}_g + \vec{F}_o$$

DŮLEŽITÉ POZNATKY

- Gravitační síla vždy směřuje do středu Země.
- Odstředivá síla je kolmá na osu rotace (vodorovně od osy).
- Tíhová síla je výsledkem obou sil a směřuje kolmo dolů.
- Na rovníku ($\varphi = 0^\circ$) je odstředivá síla největší, tíhová síla nejmenší.
- Na pólech ($\varphi = 90^\circ$) je odstředivá síla nulová, tíhová síla se rovná gravitační síle.
- Čím vyšší zeměpisná šířka, tím menší je vliv odstředivé síly.

ZAJÍMAVOST: VELIKOST SIL NA 50° SEVERNÍ ŠÍŘKY

Pro těleso o hmotnosti $m = 100$ kg (cca průměrná hmotnost člověka)

GRAVITAČNÍ SÍLA $\vec{F}_g$
směrem do středu Země



přibližná velikost:

980 N

je největší ze všech tří sil

ODSŘEDIVÁ SÍLA $\vec{F}_o$
kolmo na osu rotace



přibližná velikost:

34 N

je mnohem menší než $\vec{F}_g$

TÍHOVÁ SÍLA $\vec{F}_G$
kolmo dolů



přibližná velikost:

979 N

o něco menší než $\vec{F}_g$

**ROZDÍL JE MALÝ,
ALE MĚŘITELNÝ!**

Tíhová síla na 50°
je asi o 1 N menší
než gravitační síla.

To znamená, že
na 50° severní šířky
vážíte asi o 0,1 %
méně než na pólech.

STAV BEZTÍŽE NA PALUBĚ ISS

Fascinující svět, kde věda posouvá hranice poznání

CO JE STAV BEZTÍŽE?

Na ISS panuje stav beztíže, který vzniká neustálým volným pádem celé stanice kolem Země.

DŮLEŽITÉ: Ve stavu beztíže je **nulová tíha**, nikoliv **tíhová síla**.



ISS i vše na její palubě neustále padá směrem k Zemi, ale díky vysoké rychlosti se neustále „míjí“ se Zemí a obíhá kolem ní.

Proto na tělesa nepůsobí žádná tlaková síla od podložky – nevzniká tíha.

Tíhová síla (gravitace) je stále stejná jako na Zemi, ale není vyvolána reakční silou podložky.

VLIV STAVU BEZTÍŽE NA LIDSKÝ ORGANISMUS

KLADY

- ✓ Uvolnění páteře a kloubů, zmírnění bolesti zad
- ✓ Snížení zátěže na svaly a klouby
- ✓ Možnost výzkumu procesů bez vlivu gravitace
- ✓ Psychologický efekt: jedinečný zážitek beztíže

ZÁPORY

- ✗ Úbytek svalové hmoty (až 1–1,5 % za týden)
- ✗ Úbytek kostní hmoty (až 1–2 % za měsíc)
- ✗ Přesun tělních tekutin k hlavě – otok obličeje, rýma, zhoršené vidění
- ✗ Narušení rovnováhy, dezorientace
- ✗ Zvýšené riziko ledvinných kamenů
- ✗ Psychická zátěž: stres, stesk po domově, izolace

Po návratu na Zemi je nutná rehabilitace – tělo si musí znovu zvyknout na gravitaci.



PROČ JE TÍHA NULOVÁ, ALE TÍHOVÁ SÍLA PŮSOBÍ?

- Tíhová síla (gravitace) na ISS je téměř stejná jako na Zemi (asi 90 %).
- Tíha je síla, kterou na nás působí podložka nebo závěs.
- Ve stavu beztíže žádná podložka na těleso netlačí – proto je tíha nulová.

NA ZEMI



NA ISS (BEZTÍŽE)



Tíhová síla F_g směřuje ke středu Země, ale není vyvolána žádná opěrná síla.

EXPERIMENTY, KTERÉ VE STAVU BEZTÍŽE PŘINÁŠEJÍ JINÉ VÝSLEDKY NEŽ NA ZEMI

HOŘENÍ

Oheň se šíří kulovitě, protože plamen není ovlivňován prouděním vzduchu způsobeným vztlakem.



KAPALINY

Kapaliny netvoří hladinu, ale kulové kapky kvůli povrchovému napětí.



KRYSTALIZACE PROTEINŮ

V beztíži vznikají dokonalejší krystaly, což pomáhá lépe porozumět nemocem a vývoji nových léků.



MATERIÁLY

Slitiny a materiály mají rovnoměrnější strukturu, bez gravitačního usazování nečistot.



ROSTLINY

Rostliny rostou jinak, kořeny nemají směr „dolů“, zkoumá se jejich reakce na beztížné prostředí.



ZAJÍMAVOSTI



Astronauti na ISS obíhají Zemi přibližně každých 90 minut.



Na ISS vážíte stejně jako na Zemi – váhy měří tíhovou sílu, která je téměř stejná.



Kosmonauti cvičí každý den 2–3 hodiny, aby minimálně ztratili svaly a kosti.



Voda je vzácná – každá kapka se recykluje.

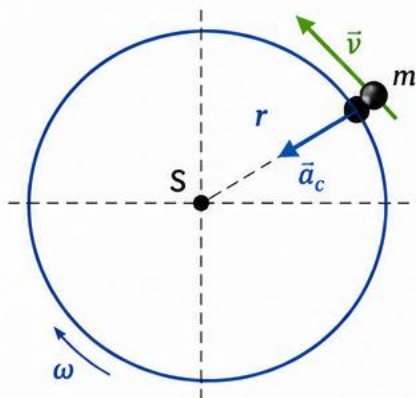


Jablko se ve stavu beztíže chová jako balónek – volně plave a nekouše se snadno!

8 Rovnoměrný pohyb po kružnici

ROVNOMĚRNÝ POHYB PO KRUŽNICI – TEORIE

Těleso se pohybuje po kružnici stálou rychlostí v – velikost rychlosti se nemění, ale směr se neustále mění.



- v – rychlost (tečná ke kružnici)
- a_c – dostředivé zrychlení (směřuje do středu S)
- F_c – dostředivá síla (směřuje do středu S)

Podmínka rovnoměrného pohybu po kružnici:

Na těleso musí působit výsledná síla směrem do středu kružnice.

ZÁKLADNÍ VZTAHY

- obvodová rychlost: $v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$
- úhlová rychlost: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$
- perioda: $T = \frac{1}{f}$
- dostředivé zrychlení: $a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$
- dostředivá síla: $F_c = ma_c = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$

VYSVĚTLIVKY

- r ... poloměr kružnice [m]
- v ... velikost rychlosti [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- a_c ... dostředivé zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
- F_c ... dostředivá síla [N]
- ω ... úhlová rychlost [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]
- T ... perioda [s]
- f ... frekvence [Hz]
- m ... hmotnost tělesa [kg]

DŮLEŽITÉ POZNATKY

- ✓ Rychlost má stále stejnou velikost, ale mění se její směr.
- ✓ Dostředivé zrychlení a dostředivá síla vždy směřují do středu kružnice.
- ✓ Výslednice sil působících na těleso musí být rovna dostředivé síle.
- ✓ Bez působení dostředivé síly by se těleso pohybovalo po tečně (1. Newtonův zákon).
- ✓ Rovnoměrný pohyb po kružnici je zrychlený pohyb ($a_c \neq 0$).

INTUITIVNĚ

Při pohybu po kružnici těleso „padá“ stále stále ke středu – ale než dopadne, pohne se dál. Proto obíhá.

ROVNOMĚRNÝ POHYB PO KRUŽNICI – PŘÍKLADY A ZAJÍMAVOSTI

PŘÍKLADY Z PRAXE



Auto v zatáčce

Dostředivou sílu zajišťuje statické tření mezi pneumatikou a vozovkou.



Ruské kolo

Kabiny se pohybují po kružnici stálou rychlostí.



Satelit na oběžné dráze

Dostředivou sílu zajišťuje gravitace Země.



Odstřeďování v pračce

Přádlo je přitlačováno ke stěnám bubnu dostředivou silou.



Kolotoč

Jezdci se drží, protože je na ně působí dostředivá síla.



Elektrony v atomu

Elektrony obíhají kolem jádra působením elektrické síly.

ZAJÍMAVOSTI



Piloté stíhaček

Při prudkých zatáčkách působí velké dostředivé zrychlení (až 9 g). Speciální oblek (G-oblek) pomáhá udržet krev v hlavě.



Beztížný stav na oběžné dráze

Na ISS nejsou astronauti v beztíži kvůli nulové tíhové síle, ale protože neustále „padají“ kolem Země – jsou v rovnoměrném pohybu po kružnici.



Nakloněné zatáčky (klopení)

Na klopené silnici působí složka tíhové síly jako dostředivá síla, což umožňuje bezpečnější průjezd zatáčkou.



Centrifuga

V centrifuze se využívá velká dostředivá síla k oddělení látek různé hustoty (např. v laboratořích, lékařství).

CO BY SE STALO, KDYBY...

• nebyla dostředivá síla?

Těleso by se pohybovalo po tečně a „odlétlo“ by z kružnice.



• byla příliš malá?

Těleso by se postupně vzdalovalo od středu a opět by opustilo kružnici.



9 SKLÁDÁNÍ POHYBŮ A RYCHLOSTÍ

Výsledný pohyb tělesa je dán vektorovým součtem jednotlivých pohybů (rychlostí).

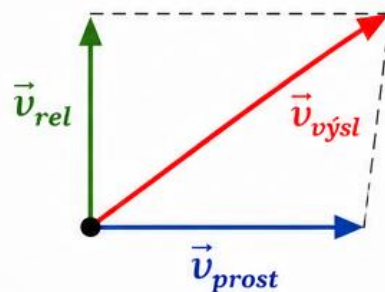
ZÁKLADNÍ PRINCIP

Je-li těleso současně v pohybu vzhledem k jednomu vztažnému bodu a tento vztažný bod je v pohybu vzhledem k jinému vztažnému bodu, pak výsledná rychlost tělesa vzhledem k druhému vztažnému bodu je vektorový součet jednotlivých rychlostí.

$$\vec{v}_{vysl} = \vec{v}_{rel} + \vec{v}_{prost}$$

výsledná rychlost tělesa vzhledem k zemi	rychlost tělesa vzhledem k prostředí (např. loď vzhledem k vodě)	rychlost prostředí vzhledem k zemi (např. proud řeky vzhledem k zemi)
--	---	--

GRAFICKÉ SKLÁDÁNÍ (pravidlo rovnoběžníku)



$|\vec{v}_{vysl}|$ = velikost výsledné rychlosti

φ = směr výsledné rychlosti (úhel vůči směru proudu)

DŮLEŽITÉ POZNATKY

- ☑ Rychlosti jsou vektorové veličiny – mají velikost i směr.
- ☑ Při skládání použijeme pravidlo rovnoběžníku nebo trojúhelníku.
- ☑ Výsledná rychlost závisí na směru a velikosti jednotlivých rychlostí.
- ☑ Stejný princip platí i pro skládání více pohybů (více vektorů).

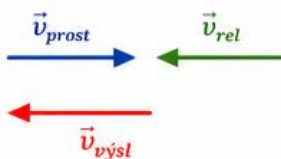
ZVLÁŠTNÍ PŘÍPADY

Stejný směr



$$v_{vysl} = v_{rel} + v_{prost}$$

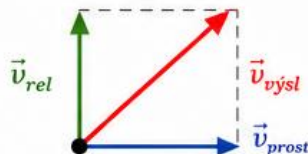
Opačný směr



$$v_{vysl} = |v_{rel} - v_{prost}|$$

(směr větší rychlosti)

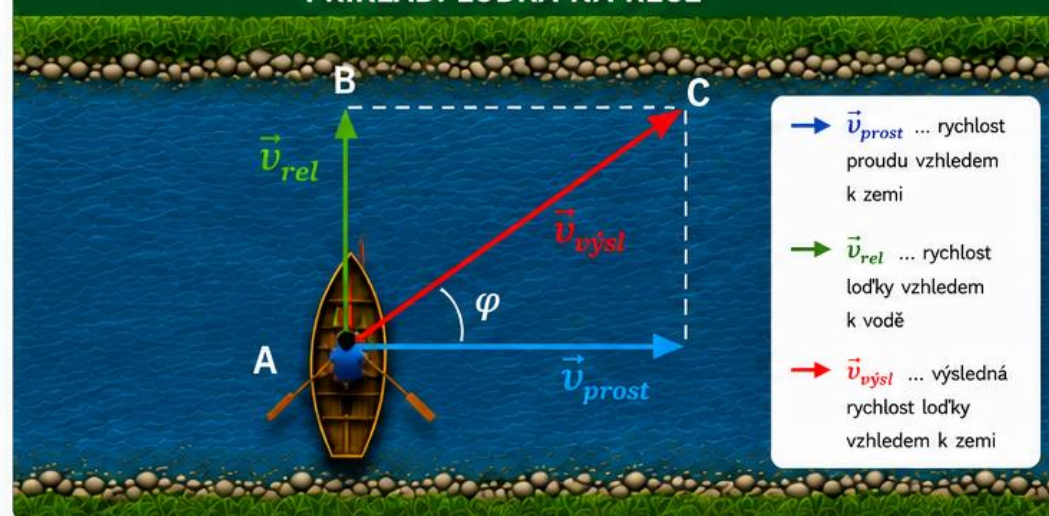
Kolmé směry



$$v_{vysl} = \sqrt{v_{rel}^2 + v_{prost}^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{v_{rel}}{v_{prost}}$$

PŘÍKLAD: LOŽKA NA ŘECE



- $\vec{v}_{prost}$... rychlost proudu vzhledem k zemi
- $\vec{v}_{rel}$... rychlost loďky vzhledem k vodě
- $\vec{v}_{vysl}$... výsledná rychlost loďky vzhledem k zemi

ZADÁNÍ

- Rychlost loďky vzhledem k vodě:
 $v_{rel} = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Rychlost proudu řeky:
 $v_{prost} = 3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Loďka míří kolmo na břeh (směr AB).
- Určete výslednou rychlost loďky vzhledem k zemi (směr AC) a úhel φ .

ŘEŠENÍ

Rychlosti jsou na sebe kolmé → použijeme Pythagorovu větu.

Velikost výsledné rychlosti:

$$v_{vysl} = \sqrt{v_{rel}^2 + v_{prost}^2} = \sqrt{4,0^2 + 3,0^2} = \sqrt{16 + 9} = \sqrt{25} = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Směr (úhel vůči směru proudu):

$$\tan \varphi = \frac{v_{rel}}{v_{prost}} = \frac{4,0}{3,0} \Rightarrow \varphi = \arctan\left(\frac{4}{3}\right) \approx 53,1^\circ$$

VÝSLEDEK: Loďka se vzhledem k zemi pohybuje rychlostí $5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pod úhlem $53,1^\circ$ po směru proudu od kolmice na břeh.

ZAJÍMAVOSTI A PRAKTICKÉ DOPADY



Plavba a navigace: Kapitán musí při plavbě počítat s proudem a větrem, aby loď doplula do cíle správným směrem.



Letectví: Letadlo letící proti větru má jinou rychlost vzhledem k zemi než vůči vzduchu.



Kosmonautika: Při manévrech se skládají rychlosti kosmických těles a sond.



Sport: Ve vodáctví je důležité správně mířit, aby loď nesla proud žádoucím směrem.



Každodenní život: Chůze do pohybujícího se autobusu, jízda na eskalátoru, pohyb na pohyblivém pásu.