

## 2.1 Pohyb hmotného bodu

Přeměty okolo nás

- jsou z hlediska fyziky **tělesa**
- **tělesa** mají určitý tvar, objem a hmotnost
- koná-li těleso **pohyb** z místa na místo, nemění svůj tvar a objem a jeho rozměry jsou malé v porovnání se vzdáleností, kterou proběhne, můžeme těleso nahradit zjednodušeným modelem, který nazýváme **hmotný bod**

Pohyb a klid jsou **relativní**

- záleží na pozorovateli

# Relativita polohy a pohybu

## Relativita

- jedná se o klasickou Galileovu relativitu, nikoliv o moderní Einsteinovu teorii
- relativní je poloha: udělej čelem vzad, a to co bylo vlevo, je teď vpravo, co bylo vpředu je vzadu a naopak
- relativní je pohyb: jedu-li ve vlaku, spolucestující je vůči mně v klidu, ale vůči osobě na nástupišti se pohybuje
- pro popis pohybu musíme určit **vztažnou soustavu**

# Studium pohybu a sil v mechanice

## **Kinematika**

- studuje pohyb HB či tělesa pouze popisně, nezajímá se o příčiny pohybu

## **Dynamika**

- studuje příčiny pohybu HB nebo tělesa, dochází k závěru, že změnu pohybu způsobují síly

## **Statika**

- zjišťuje, že síly mohou mít i jiné účinky než pohyb
- zabývá se silami působícími na tělesa v klidu

# Trajektorie, dráha, posunutí,

## Trajektorie

- křivka (myšlená čára), po které se HB pohybuje

## Dráha $s$

- délka této křivky; fyzikální veličina  $[s] = \text{m}$

## Posunutí $r$

- šipka spojující počáteční a koncový bod trajektorie
- fyzikální veličina – vektor (má nejen velikost, ale i směr)
- $|\mathbf{r}| = r$  ;  $[r] = \text{m}$  ... metr, jednotka délky

# Rychlost průměrná a okamžitá

**Čas**  $t$  (angl. time)

- fyzikální veličina – skalár       $[t] = \text{s} \dots$  sekunda

**Rychlost**  $v$  (angl. velocity)

- urazí-li hmotný bod dráhu  $s$  za čas  $t$ , pak jeho průměrná rychlost  $v_p$  je

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

- okamžitou rychlost vypočteme z pohybu za velmi krátký časový úsek  $\Delta t$ , kdy HB urazí dráhu  $\Delta s$

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

# Jednotky rychlosti

## Hlavní jednotka rychlosti - SI

- metr za sekundu

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{m.s}^{-1}$$

## Vedlejší jednotky rychlosti

- kilometr za hodinu  $1 \text{ m.s}^{-1} = 3,6 \text{ km.h}^{-1}$
- rychlost zvuku ve vzduchu  $1 \text{ mach} = 331,5 \text{ m.s}^{-1}$
- rychlost světla ve vakuu  $1 c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Vedlejší jednotky se používají pro měření rychlostí automobilů ( $\text{km.h}^{-1}$ ), tryskových letadel (mach), nebo částic v urychlovačích ( $c$ )

# Druhy pohybů

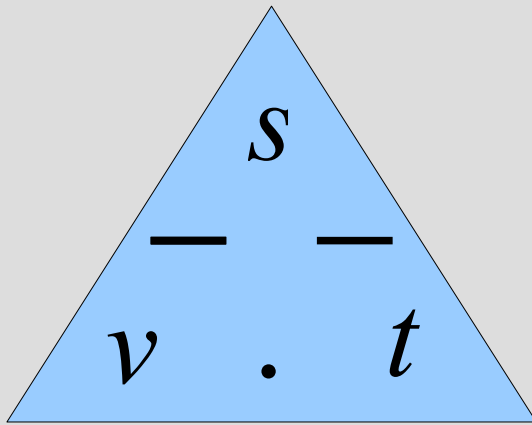
## Podle okamžité rychlosti

- rovnoměrný (okamžitá rychlost je konstantní)
- nerovnoměrný (okamžitá rychlost se mění)
  - rovnoměrně zrychlený
  - obecný

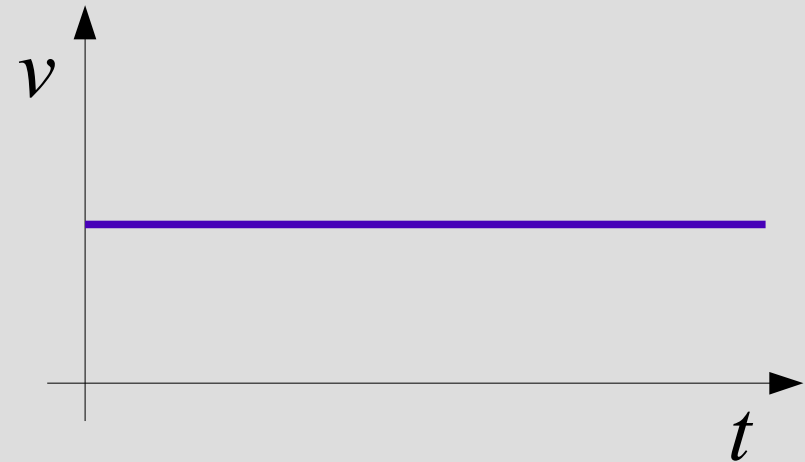
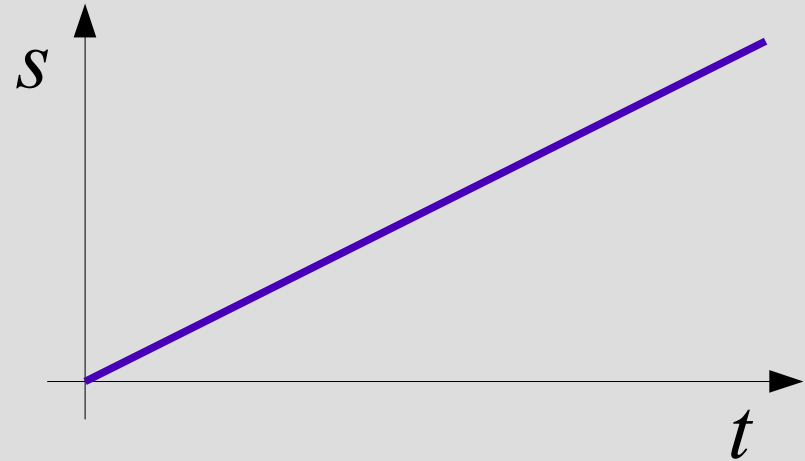
## Podle trajektorie

- přímočarý (trajektorie je přímka)
- křivočarý (trajektorie je křivka)
  - po kružnici
  - po jiné kuželosečce (elipse, parabole, hyperbole)
  - obecný

# Rovnoměrný přímočarý pohyb



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





## 2.1p Pohyb po kružnici

### Rovnoměrný pohyb po kružnici (RPK)

- není rovnoměrný pohyb, protože rychlost jako vektor nezůstává konstantní (mění se totiž směr rychlosti!)
- pro jeho popis zavádíme úhlové veličiny, které jsou analogické veličinám popisující rovnoměrný pohyb přímočarý

#### úhlová dráha $\varphi$

- orientovaný úhel, který urazí průvodič HB
- měří se v radiánech  $[\varphi] = \text{rad}$

# Úhlová rychlost, perioda, frekvence

## úhlová rychlost $\omega$

- je definována jako poměr úhlové dráhy a času, za který HB tuto úhlovou dráhu urazí
- $[\omega] = \text{rad.s}^{-1}$

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

## perioda $T$

- je doba, za kterou se jednou uskuteční nějaký opakující se děj; u RPK je to jeden oběh kružnice
- protože úhlová dráha odpovídající jednomu oběhu je  $2\pi$ , vypočteme periodu
- $[T] = \text{s}$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

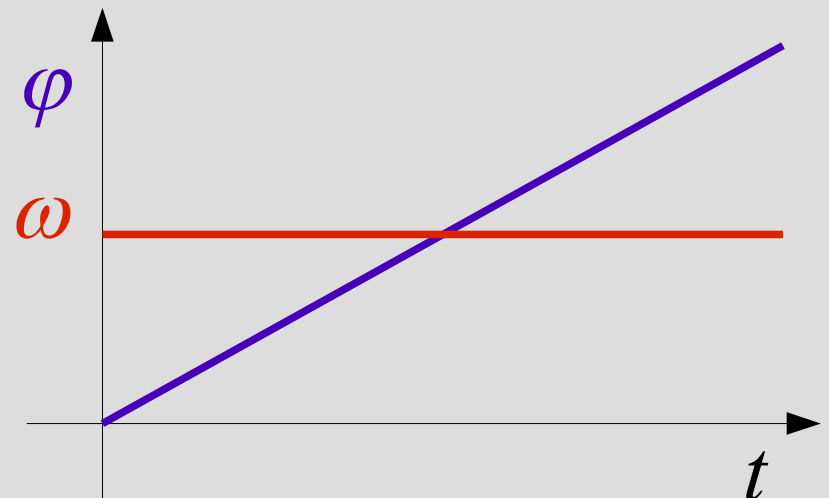
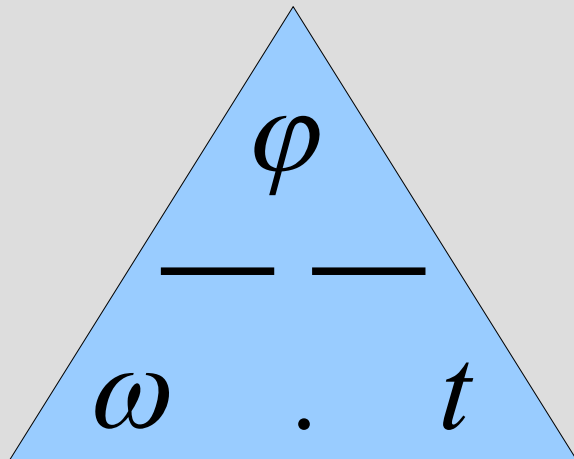
# Úhlová rychlost, perioda, frekvence

## frekvence $f$

- je počet opakování periodického děje za jednotku času (tj. za 1 sekundu)
- $[f] = \text{s}^{-1} = \text{Hz} \dots$  hertz

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

## vztah mezi $\varphi$ , $\omega$ a $t$



# Úhlové a „neúhlové“ veličiny

**vztah mezi  $s$  a  $\varphi$ , resp.  $v$  a  $\omega$**

- je velmi jednoduchý, pokud známe poloměr  $r$  kruhové trajektorie RPK

$$s = r \varphi \quad v = r \omega$$

- v astronomii ovšem často používáme úhlové veličiny i úhlové souřadnice (např. azimut a výšku nad obzorem), aniž bychom museli znát vzdálenost  $r$  pozorovaného kosmického tělesa

# Rovnoměrně zrychlený pohyb

**zrychlení  $a$**  (angl. acceleration)

- je veličina vyjadřující změnu rychlosti  $v$  v čase

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

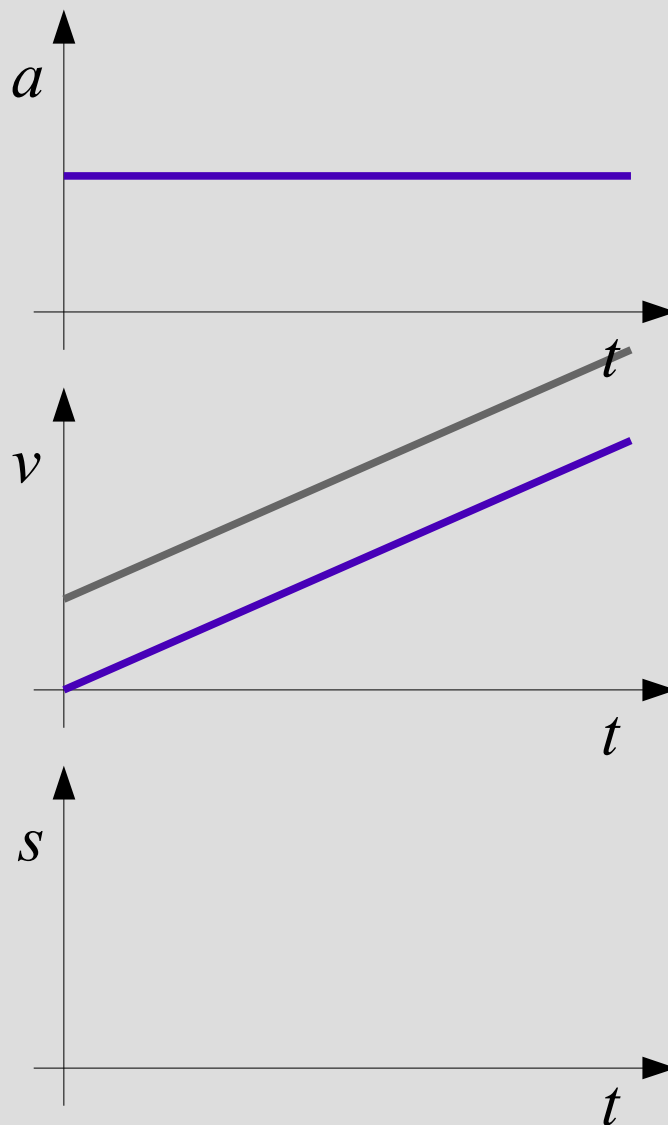
- zrychlení  $a$  se stejně jako rychlost  $v$  může během pohybu HB měnit
- v praxi se často vyskytuje pohyb, při kterém je zrychlení  $a$  konstantní a rychlost  $v$  se mění lineárně s časem  $t$ , nazýváme ho **rovnoměrně zrychlený pohyb (RZP)**

# Rovnoměrně zrychlený pohyb

$$a = \textit{konst.}$$

$$v = at$$

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



obecně:

$$v = at + v_0$$

$$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0$$

# RPK a dostředivé zrychlení

## co víme o RPK

- při rovnoměrném pohybu po kružnici se rychlost  $v$  neustále mění (nemění se sice její velikost, ale směr ano, tedy vektor rychlosti se mění)
- rychlost  $v$  RPK má v každém okamžiku směr tečny ke kružnici, zrychlení  $a$  RPK k ní musí být kolmé, takže se jedná o:

## dostředivé zrychlení $a_d$

- jehož velikost je

$$a_d = r \omega^2 = \frac{v^2}{r}$$

## 2.2 Síly

### Síla

- v běžném jazyce slovo s mnoha významy
- ve fyzice veličina popisující vzájemné působení (interakci) dvou těles
  - přímo = dotykem
  - na dálku = prostřednictvím silového **pole**

### Účinky sil

- pohybové ... dynamické ... zkoumá je **dynamika**
- deformační ... statické ... zkoumá je **statika**



# Pohybové (dynamické) účinky sil

## Dynamika

- část mechaniky, která zkoumá pohybové účinky sil
- základní zákony zformuloval Isaac Newton v díle Matematické základy přírodní filozofie (tzv. Principia)
- ale už Galileo Galilei opravil chybný Aristotelův názor, že působení síly je nutnou podmínkou pohybu
- bez působení sil by se těleso pohybovalo rovnoměrně přímočaře (zákon setrvačnosti) – viz kámen vržený do vesmíru bez tření, odporu vzduchu, nacházející se ve stavu beztíže; ale přibližně i volný dojezd bruslaře
- **Když síla není příčinou pohybu, co tedy způsobuje?**

# Pohybové (dynamické) účinky sil

## Síla a změna pohybu

- síla způsobuje změnu pohybu (zrychlení, zpomalení, uvedení do pohybu, zastavení, změnu směru pohybu, ovlivnění tvaru trajektorie)
- někdy takovou sílu na první pohled nevidíme, přesto reálně působí (např. třecí síla zastaví pohyb saní)
- RPP = setrvačný pohyb je popsán rychlostí  $v = konst.$
- změna pohybu je popsána zrychlením  $a$
- Newton ukázal, že zrychlení  $a$  pohybu tělesa či HB s hmotností  $m$  je přímo úměrné působící síle  $F$  a nepřímo úměrné hmotnosti  $m$

# Newtonovy pohybové zákony

## 1. NPZ = zákon setrvačnosti

- **Každé těleso setrvává v klidu nebo v RPP, dokud není vnějšími silami donuceno tento stav změnit.**
- všimněte si, že stav klidu a stav RPP jsou rovnocenné
- všimněte si, že situace, kdy na těleso nepůsobí žádná vnější síla, a situace, kdy výslednice vnějších sil je nulová (tj. vnější síly se vzájemně vyruší) jsou také rovnocenné
- vztažné soustavy, ve kterých platí zákon setrvačnosti, se nazývají **inerciální vztažné soustavy**

# Newtonovy pohybové zákony

## 2. NPZ = zákon síly

- **Zrychlení tělesa je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.**

- tento zákon lze vyjádřit matematicky

$$a = \frac{F}{m}$$

**síla  $F$**  (angl. force)

- fyzikální veličina vyjadřující účinek vzájemného působení těles – vektor
- $[F] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N} \dots$  newton

# Newtonovy pohybové zákony

## 3. NPZ = zákon akce a reakce

- **Působí-li jedno těleso na druhé silou, působí druhé těleso na první stejně velkou silou opačného směru.**
  - někdy je nazýván zákon vzájemného silového působení těles
- $$F_{B \rightarrow A} = -F_{A \rightarrow B}$$
- zákonem akce a reakce můžeme vysvětlit řadu jevů kolem sebe (odraz míče od podlahy či stěny, chůzi, běh, skoky, pohyb automobilu, příliv a odliv, ...)
  - s 3. NPZ souvisí reaktivní = raketový pohon

## 2.2p Odporové síly, hybnost

### Síly odporu proti pohybu

- smykové tření
  - statické (v klidu)
  - dynamické (za pohybu)
- valivý odpor
- odpor prostředí (např. vzduchu nebo vody)
- každá síla odporu proti pohybu způsobí, že pohyb tělesa, na které nepůsobí žádná jiná vnější síla, je odporovou silou postupně zpomalován až do úplného zastavení

# Smykové tření

## **Třecí síla závisí**

- na materiálu a drsnosti styčných ploch (porovnejte dřevo – dřevo, dřevo – sklo, dřevo – brusný papír)
- na tlakové síle  $F_n$  kolmé ke styčným plochám

## **Třecí síla nezávisí**

- na obsahu  $S$  styčných ploch
- na rychlosti (při malých rychlostech)

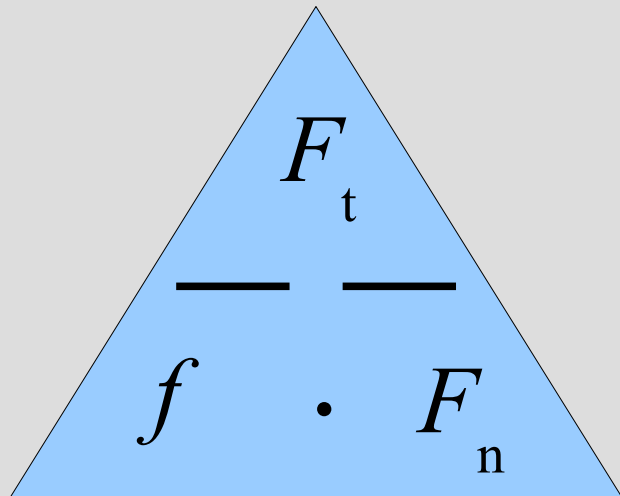
## **Materiál a jeho drsnost**

- charakterizuje koeficient  $f$  nazývaný **součinitel smykového tření**

# Smykové tření

## Součinitel smykového tření

- je bezrozměrná veličina  $0 < f < 1$
- bezrozměrná znamená, že veličina nemá jednotku
- v klidu je o něco větší než za pohybu (tj. statické tření je vždy o něco větší než dynamické tření)



$F_t$  ... třecí síla

$F_n$  ... normálová síla



# Valivé tření / valivý odpor

## Valivý odpor

- je vždy výrazně menší než smykové tření
- proto se v dopravě používají kola (u aut, vlaků, ...)
- vypočteme jej pomocí vzorce

$$F_v = \xi \frac{F_n}{r}$$

- kde  $\xi$  je rameno rameno valivého odporu  $[\xi] = \text{m}$
- k uložení hřídelů se používají kuličková ložiska
- které veličiny označují symboly  $F_v$ ,  $F_n$  a  $r$  ?

# Hybnost

## Hybnost $p$

- je fyzikální veličina vyjadřující pohybový stav a pohybové účinky pohybujícího se tělesa
- porovnejte účinky nárazu jízdního kola a plně naloženého kamiónu do sloupu pouličního osvětlení
- porovnejte účinky nárazu tělesa různými rychlostmi
- závěr: pohybové účinky tělesa jsou přímo úměrné hmotnosti  $m$  a rychlosti  $v$  pohybujícího se tělesa

$$p = m v$$

- $[p] = \text{kg.m.s}^{-1}$  ... kilogrammetr za sekundu

# Zákon zachování hybnosti (ZZH)

## Hybnost soustavy těles

- je vektorový součet hybností jednotlivých těles
- v rámci **izolované** soustavy těles se celková hybnost soustavy nemění (zachovává se) ... ZZH
- důležitý speciální případ ZZH
  - dvě tělesa jsou na počátku v klidu  $v_1 = v_2 = 0$
  - po jejich oddělení (odrazí se od sebe), platí

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

- využití: reaktivní pohon (např. rakety)

## 2.3 Práce, energie

### Práce $W$ (angl. work)

- v běžném jazyce slovo s mnoha významy
- ve fyzice **dějová veličina** popisující změnu stavu tělesa, tato změna je způsobena silou  $F$  působící po dráze  $s$

$$W = F \cdot s = F s \cos \alpha$$

### Skalární součin vektorů

- práce  $W$  je skalární veličina, vypočteme ji jako součin dvou vektorových veličin  $F$  a  $s$
- skalární součin vektorů značíme tečkou, je určen nejen velikostmi vektorů, ale i úhlem, který svírají

# Energie

## Energie $E$ (angl. energy)

- v běžném jazyce slovo s mnoha významy
- ve fyzice **stavová veličina** vyjadřující okamžitý stav tělesa **vzhledem k dané vztažné soustavě**
- fyzika zná mnoho druhů energie, nyní nás zajímá **mechanická energie**
  - potenciální (polohová) ...  $E_p$
  - kinetická (pohybová) ...  $E_k$
- později se budeme zabývat např. elektrickou energií, energií chemických vazeb, či energií fotonů
- $[E] = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} \dots$  joule

# Kinetická energie

## Kinetická energie $E_k$

- energie související s pohybem tělesa vzhledem k dané vztažné soustavě
- změna stavové veličiny  $E_k$  nastává konáním práce  $W$  (podobně jako změna stavu bankovního konta nastává provedením platby)
- zjednodušené odvození vztahu kinetickou energií:

$$E_k = F s = (m a)(\bar{v} t) = \left(m \frac{v}{t}\right) \left(\frac{1}{2} v t\right) = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

- ověřte dosazením jednotek, že  $E_k$  vychází v joulech:

# Kinetická energie

## Kinetická energie $E_k$

- kromě kinetické energie posuvného pohybu tělesa můžeme zjišťovat energii otáčivého pohybu tělesa
- vzoreček je podobný, místo rychlosti  $v$  tělesa píšeme úhlovou rychlost  $\omega$  otáčení a místo hmotnosti  $m$  tzv. moment setrvačnosti  $J$

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$$

# Potenciální energie

## Potenciální energie $E_p$

- tíhová (v tíhovém poli země)

- $E_p = G h = m g h$

$$E_p = m g h$$

- pružnosti (stlačení, nebo natažení pružiny s tuhostí  $k$  o délku  $x$ )

$$E_p = \frac{1}{2} k x^2$$

- oba druhy  $E_p$  mohou mít „zásobníky“ mechanické energie pro pohyb mechanických kyvadlových hodin; hodiny „natahujeme“ buď vytažením závaží směrem svisle vzhůru (tíhová  $E_p$ ), nebo natažením spirálové pružiny ( $E_p$  pružnosti)



# Mechanická energie - přehled

## Potenciální energie $E_p$

- tíhová
- pružnosti

$$E_p = m g h$$

$$E_p = \frac{1}{2} k x^2$$

## Kinetická energie $E_k$

- posuvného pohybu
- otáčivého pohybu

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$$

# Zákon zachování energie

## Platnost ZZE

- pro izolovanou soustavu těles (a silových polí)
- energie se nemůže ztrácet ani vznikat z ničeho
- bereme-li v úvahu pouze mechanickou energii, platí ZZCME pouze v tom případě, že můžeme zanedbat přeměnu „čisté“ mechanické energie na vnitřní energii těles v soustavě (zvýšení vnitřní energie tělesa se projeví navenek zvýšením jeho teploty, viz např. ohřátí hřebíku při jeho zatloukání či ohýbání, ohřátí materiálu při řezání, vrtání, broušení)
- Při všech dějích v izolované soustavě se jeden druh energie mění v jiný nebo přechází z jednoho tělesa na druhé, ale **celková energie soustavy se nemění.**

# ZZ celkové mechanické energie

## Použití ZZCME

- můžeme-li zanedbat přeměnu mechanické energie na vnitřní energii těles v soustavě
- mění se pouze  $E_p$  na  $E_k$  a naopak, ale  $E = E_p + E_k$  se nemění

$$m g h_1 + \frac{1}{2} m v_1^2 = m g h_2 + \frac{1}{2} m v_2^2$$

- v konkrétních případech je vhodné volit vztažnou soustavu tak, aby některé členy v rovnici byly rovny nule

## 2.3p Výkon, účinnost

**Výkon**  $P$  (angl. power)

- skalární veličina vyjadřující rychlost konání práce
- výkon  $P$  je tím vyšší, čím větší práci  $W$  vykoná těleso v daném čase  $t$  nebo čím kratší dobu  $t$  potřebuje k vykonání dané práce  $W$

$$P = \frac{W}{t}$$

- $[P] = \text{J} \cdot \text{s}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} = \text{W} \dots \text{ watt}$

# Okamžitý mechanický výkon

## Výkon síly $F$ pohybující tělesem rychlostí $v$

- okamžitý mechanický výkon  $P$  je tím vyšší, čím větší silou  $F$  tělesem pohybujeme a čím vyšší je jeho rychlost  $v$
- odvození je jednoduché

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{F \Delta s}{\Delta t} = F v$$

# Práce počítaná z výkonu, kWh

## Práce $W$ počítaná z výkonu $P$

- známe-li výkon nějakého stroje, vypočteme práci, kterou koná, z jeho výkonu  $P$  a doby činnosti  $t$

$$W = P t$$

## Jednotka práce kilowatthodina

- vyplývá z výše uvedeného vzorce
- $[W] = [P] [t] = \text{kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} =$   
 $= 3600000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$
- tedy  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$

# Příkon, výkon a účinnost

## Příkon $P_0$ a výkon $P$

- řada strojů mění jeden druh energie na jiný (např. elektrickou na mechanickou, či naopak)
- příkon je podíl energie dodané stroji a k tomu potřebného času
- výkon je podíl práce vykonané strojem a k tomu potřebného času

## Účinnost $\eta$ (éta, z angl. efficiency)

- je podíl výkonu a příkonu stroje
- $0 < \eta < 1$ ; resp.  $0 \% < \eta < 100 \%$
- často ji udáváme v procentech

$$\eta = \frac{P}{P_0}$$

## 2.4 Gravitace

### Volný pád

- pokud můžeme zanedbat odpor vzduchu, padají všechna tělesa volným pádem se stejným zrychlením
- je to RZP svisle dolů se zrychlením  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
- tento fakt odůvodnil Galileo Galilei pomocí reálných experimentů s tělesy o různé hmotnosti, ale také pomocí myšlenkového experimentu
- předtím se učil i na středověkých univerzitách Aristotelův názor, totiž, že těžší tělesa padají k zemi rychleji než lehká (peříčko skutečně padá k zemi rychleji než těžší kámen, ale jen ve vzduchu, nikoliv ve vakuu, působí na něj i jiné síly než gravitace)
- experiment s mincí a papírovým kotoučkem



# Volný pád

## Volný pád – matematický popis

- pro volný pád platí stejné rovnice jako pro každý jiný RZP, jen místo dráhy  $s$  píšeme výšku  $h$  a zrychlení označujeme  $g$  místo  $a$ , protože jde o gravitační zrych.
- je to RZP svisle dolů se zrychlením  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ; směru dolů odpovídá záporné znaménko a počáteční výšku označíme  $h_0$

$$v = g t$$

$$h = h_0 - \frac{1}{2} g t^2$$

$$t_d = \sqrt{\frac{2 h_0}{g}}$$

# Vrh svislý vzhůru

## Popis pohybu

- těleso nejprve stoupá po svislé přímce, v nejvyšším bodě trajektorie se na okamžik zastaví a pak klesá k zemi volným pádem
- po celou dobu jde o RZP svisle dolů se zrychlením  $g$ , počáteční výška  $h_0 = 0$  (člen vypadne), ale těleso má počáteční rychlost  $v_0$

$$v = v_0 - g t$$

$$h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$t_v = \frac{v_0}{g}$$

# Stav beztíže

## Gravitační síla a setrvačná síla

- působící na těleso padající volným pádem (ve vakuu) se zcela vyrovnají (velikost setrvačné síly je rovna velikosti gravitační síly působící na těleso, síly však mají opačný směr, takže jejich výslednice je nulová)
- v takovém stavu se nachází těleso padající volným pádem i těleso vržené vzhůru, pokud lze zanedbat odpor vzduchu
- velmi dobře a dlouhodobě nastává stav beztíže pro umělé družice Země (volný pád k Zemi způsobuje zakřivení dráhy družice); na předměty uvnitř družice pak nepůsobí gravitace, protože ji vyruší setrvačnost

# Vodorovný vrh

## Princip skládání pohybů

- výsledný pohyb tělesa je takový, jako by byl v každém okamžiku složen ze dvou pohybů
  - vodorovného RPP (pohyb ve směru osy  $x$ )
  - svislého volného pádu (pohyb ve směru osy  $y$ )
- pro jednotlivé časové okamžiky vypočítáme  $x$ -ovou a  $y$ -ovou souřadnici a body zakreslíme do kartézské soustavy souřadnic  $xOy$
- výslednou křivkou pro vodorovný vrh je parabola
- po stejné křivce vytéká pramínek tekutiny vytékající otvorem ve stěně nádoby

# Šikmý vrh

## Princip skládání pohybů

- platí i pro složitější pohyby jak je šikmý vrh pod tzv. elevačním úhlem  $\alpha$ 
  - vodorovný RPP rychlostí  $v_x = v_0 \cos \alpha$
  - svislý vrh (RZP)  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$   $v_{y0} = v_0 \sin \alpha$
- trajektorií šikmému vrhu je opět parabola (část paraboly)
- maximální dolet dostaneme pro elevační úhel  $45^\circ$
- pro úhly  $45^\circ + \delta$  a  $45^\circ - \delta$  dostaneme stejný dolet (tyto dva vrhy se samozřejmě liší maximální výškou)

# Balistická křivka

## Šikmý vrh v atmosféře Země

- pro reálné šikmé vrhy větší rychlostí musíme počítat s odporem vzduchu
- trajektorií pak není část paraboly, ale nesymetrická **balistická křivka**
- v praxi musí s balistickou křivkou počítat dělostřelci
- také v některých sportech (vrh oštěpem, golf, ...) je dobré mít představu o balistice

# Tíha tělesa

## Těleso v tíhovém poli Země

- je tímto polem přitahováno svislým směrem k Zemi
- hovoříme o tíhovém poli, což je gravitační pole mírně zeslabené odstředivými silami v důsledku rotace Země kolem své osy
- síla, kterou působí těleso v tíhovém polo Země na podložku, nebo na závěs se nazývá **tíha tělesa  $G$**
- pro velikost tíhy platí 
$$G = m g$$
- hmotnost  $m$  má těleso stále, ale tuto tíhu  $G$  má pouze v tíhovém poli v klidu nebo RPP, při nerovnoměrném pohybu se tíha mění a ve stavu beztíže je nulová!

## 2.4p Centrální silové pole

### Centrální silové pole

- je pole, které na všechna tělesa v něm umístěná působí silami, které směřují do (případně vycházejí z) jednoho bodu
- má kulovou symetrii (v určité vzdálenosti od centra má pole stejnou intenzitu bez ohledu na polohu na kulové ploše)
- je např. gravitační pole velkých kosmických objektů, jako jsou planety, hvězdy, galaxie, ale také elektrostatické pole elektricky nabitě kovové koule; zatímco gravitační síly jsou vždy přitažlivé, elektrostatické síly mohou být i odpuzivé
- vzhledem k obecné platnosti 3. NPZ (akce a reakce) je gravitační působení těles vždy vzájemné, např. padá nejen jablko na Zemi, ale také Země na jablko, jen vzhledem ke značnému rozdílu v hmotnosti obou těles je pohyb Země prakticky nezměřitelný



# Newtonův gravitační zákon

## Co si Newton uvědomil

- při velkém poloměru koule se její povrch zdá být plochý, tj. jeví se jako rovina (zeměplocha místo zeměkoule)
- podobně se centrální gravitační pole jeví jako homogenní gravitační pole (intenzita pole je „všude“ stejně velká a má stejný směr – svisle dolů)
- síla, která přitahuje padající jablko k Zemi má stejnou příčinu jako síla, která poutá Měsíc k Zemi (zakřivuje jeho trajektorii), aby neodletěl do hlubin vesmíru
- vztah pro velikost síly, kterou se přitahují kosmická tělesa, lze odvodit z Keplerových zákonů

# Newtonův gravitační zákon

## Slovní vyjádření NGZ

- Dva hmotné body nebo dvě kulově symetrická tělesa se vzájemně přitahují silou, jejíž velikost  $F_g$  je přímo úměrná součinu jejich hmotností  $m_1$ ,  $m_2$  a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti  $r$  jejich středů.

## Matematické vyjádření NGZ

$$F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

gravitační konstanta kappa  
 $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$

# Gravitační zrychlení na povrchu Země

## Odvození

- na těleso o hmotnosti  $m$  působí gravitační síla Země

$$m a_g = \kappa \frac{m M_Z}{R_Z^2} \qquad a_g = \kappa \frac{M_Z}{R_Z^2}$$

- úkol: najděte na internetu hmotnost a poloměr Země a dosad'te do vzorce pro  $a_g$
- Proč je vypočítané gravitační zrychlení  $a_g$  trochu větší než normální tíhové zrychlení  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$  ?

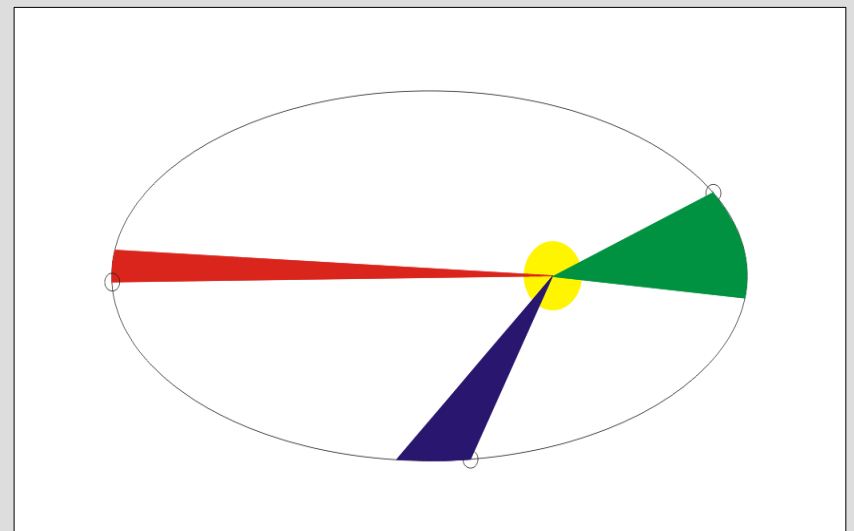
# Keplerovy zákony

## 1. Keplerův zákon

- Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce.

## 2. Keplerův zákon

- Obsahy ploch opsaných průvodičem planety za stejnou dobu jsou stejné



# Keplerovy zákony

## 3. Keplerův zákon

- Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin délek hlavních poloos jejich trajektorií.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

# Z historie fyziky – počátek 17. stol.

## **Praha – dvůr císaře Rudolfa II.**

- roku 1600 přijíždí Johannes Kepler na císařský dvůr, doporučil ho český vědec Tadeáš Hájek z Hájku
- navazuje na přesná pozorování Tycha Brahe (†1601), která dánský vědec prováděl ještě bez dalekohledu
- z přesných pozorování odvozuje 1. a 2. KZ

## **Anglie – dvůr královny Alžběty I.**

- roku 1600 vydává William Gilbert své pojednání O magnetu, tím pokládá základy nauky o elektřině a magnetismu

# 1. a 2. kosmická rychlost

## 1. kosmická rychlost

- minimální rychlost potřebná k udržení družice na kruhové oběžné dráze kolem Země
- odvození viz učebnice str. 47 a 48
- též kruhová rychlost

$$v_1 = 7,90 \text{ km.s}^{-1}$$

## 2. kosmická rychlost

- minimální rychlost meziplanetární sondy potřebná k opuštění gravitačního pole planety Země
- odvození viz učebnice str. 47 a 48
- též parabolická rychlost

$$v_2 = 11,2 \text{ km.s}^{-1}$$

Určeno pro prezentaci přednášky Vybrané kapitoly z fyziky pro studenty OVP.

Byly použity materiály z <http://www.musilek.eu/fyzika> , které vycházejí z učebnice

Ivan Štoll: Fyzika pro netechnické obory SOŠ a SOU, Prometheus, Praha 2001