Jiří Vlček

STŘEDOŠKOLSKÁ FYZIKA

mechanika
termika
optika
atomová fyzika
kmitání
akustika
astrofyzika

Jiří Vlček

Středoškolská fyzika

Praha 2003

Obsah

Úvod

Tato publikace seznamuje studenty s mechanikou, termikou, optikou, jadernou fyzikou, teorií kmitání, akustikou na středoškolské úrovni. Snažil jsem se o shrnutí všech základních poznatků z tohoto oboru při zachování stručnosti, přehlednosti a rozumného rozsahu publikace.

Protože mám při kreslení obrázků určitá technická omezení, prosím čtenáře o pochopení. Elektrotechniku, která je rovněž součástí fyziky, jsem zpracoval a dal k dispozici na své internetové stránky. Případně ji doporučuji studovat z mojí publikace Základy elektrotechniky.

1 Mechanika

Kinematika – nauka o pohybu

Pohyb je základní vlastností hmoty, neexistuje těleso, které by bylo v absolutním klidu. O klidu nebo pohybu tělesa rozhodujeme porovnáváním jeho polohy vzhledem k okolním tělesům. Např. cestující letící v letadle je vzhledem k letadlu v klidu, ale vzhledem k zemskému povrchu se pohybuje.

Klid a pohyb tělesa jsou relativní (relativní = vztažný, poměrný). Při popisu pohybů ve fyzice si volíme nějaké těleso, o kterém předpokládáme, že je v klidu, a vzhledem k němu posuzujeme pohyby ostatních těles. Jestliže zvolíme **jeden bod tělesa za počáteční** (počátek) a zvolíme **tři osy** jím procházející, dostaneme **soustavu souřadnic.** Vzhledem k této soustavě pak určujeme polohu a pohyb ostatních těles. Proto se tato soustava nazývá **vztažná soutava.** Nejčastěji budeme používat pravoúhlou vztažnou soustavu spojenou se Zemí, o které budeme předpokládat, že je v klidu. Otáčení Země okolo její osy a pohyb Země okolo Slunce nebudeme uvažovat, čímž se popis pohybů těles zjednoduší.

Pohyb skutečných těles je složitý a jejich fyzikální popis není jednoduchý. Každý pohyb brzdí tření (např. odpor vody brzdí pohyb lodě). Tření pneumatik o vozovku umožňuje pohyb auta, ale současně třetí v ložiscích kol, v převodovce a na jiných místech pohyb brzdí. Abychom následující úvahy o pohybu skutečných těles co nejvíce zjednodušili, nahradíme pohyb skutečných těles pohybem jejich modelu, který se nazývá **hmotný bod a má zanedbatelné rozměry.**

Křivka spojující jednotlivé polohy hmotného bodu, které postupně zaujímal při pohybu, se nazývá **trajektorie** hmotného bodu. Trajektorií hmotného bodu padajícího volným pádem je úsečka. Trajektorie Země obíhající okolo Slunce má tvar elipsy. **Podle tvaru trajektorie rozdělujeme pohyby na přímočaré a křivočaré.** Zvláštním případem křivočarého pohybu je **pohyb po kružnici.**

Délka trajektorie, po které se hmotný bod určitý čas pohybuje, se nazývá **dráha.** Jestliže řekneme, že těleso vykonalo dráhu 1 m, nevypovídáme nic o tvaru trajektorie, po které se se těleso pohybovalo, udáváme jen délku úseku trajektorie, který za tento čas přešlo. V tomto smyslu **je dráha fyzikální veličina.**

ROVNOMĚRNÝM POHYBEM nazýváme pohyb, při němž pohybující se těleso vykoná v libovolných, ale stejných časových intervalech stejné dráhy.

Různé rovnoměrné pohyby srovnáváme např. podle dráhy, kterou vykonají tělesa za jednu sekundu. Jestliže vykoná těleso za čas ***t*** dráhu ***s,*** potom podíl ***s/t*** určuje **velikost rychlosti** v pohybujícího se tělesa ***v = s/t.***

Jednotkou **rychlosti je metr za sekundu** (m . s^{-1}). **1 metr za sekundu je rychlost rovnoměrného pohybu, při kterém se za 1 sekundu vykoná dráha 1 metru. Velikost rychlosti rovnoměrného pohybu je konstantní, s časem se nemění.** Píšeme v = konst.

Příklad: Běžec uběhl dráhu 10 km za 40 min. Vypočítejte jeho rychlost za předpokladu, že běžel rovnoměrným pohybem.

s = 10 000 m   t = 40 . 60 = 2 400 s
v = s/t = 4,166 m/s = 4,166 . 3600/1000 = 15 km/hod

V praxi se používají i jiné jednotky rychlosti. Rychlost automobilu se udává v **km/hod.**

Z definičního vztahu pro velikost rychlosti rovnoměrného pohybu můžeme vypočítat dráhu vykonanou tělesem rovnoměrným pohybem **s = v . t.**

Z tohoto vztahu vyplývá, že dráha s rovnoměrného pohybu je přímo úměrná času **t**, po který se těleso pohybuje. Konstantou úměrnosti je velikost rychlosti ***v***.

Příklad: Chodec jde rychlostí 5 km/hod po dobu 1 hod 20 minut. Kolik km ujde? Jaká je jeho rychlost v m/s?

s = 5 . 4/3 = 20/3 = 6,66 km   v = 5 . 1000/3600 = 1,39 m/s

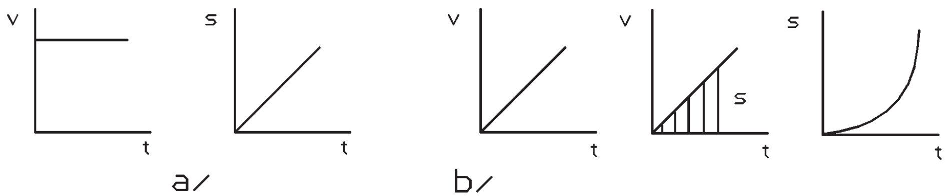
Nerovnoměrný pohyb tělesa zpravidla nahrazujeme rovnoměrným pohybem, jehož dráha a doba trvání jsou stejné jako při skutečném nerovnoměrném pohybu tělesa. Průměrnou rychlost v_p nerovnoměrného pohybu v daném úseku trajektorie vypočítáme jako podíl dráhy **s** a příslušného časového intervalu ***t,*** za který těleso vykonalo dráhu ***s.***

$$\mathbf{v_p = s/t}$$

Příklad: Cyklista ujel za 2 minuty 500 m. Jaká je jeho průměrná rychlost?

v = 500/120 m/s = 4,2 m/s   nebo   v = 0,5/(2/60) = 15 km/hod

Chceme-li zjistit rychlost tělesa v určitém místě jeho trajektorie, zvolíme v okolí tohoto místa její malý úsek. Z délky tohoto úseku trajektorie, dráhy ***s*** a krátkého časového intervalu ***t,*** za který těleso zvolený úsek trajektorie projelo, vypočítáme průměrnou rychlost v_p tělesa na tomto úseku. Čím menší úsek trajektorie zvolíme, tím méně změn rychlosti můžeme předpokládat. Proto se vypočítaná hodnota rychlosti bude víc přibližovat ke skutečné hodnotě rychlosti tělesa na zvoleném místě trajektorie, k **okamžité rychlosti** tělesa.



Obr. 1.1
a) Rovnoměrný pohyb
b) Rovnoměrně zrychlený pohyb (vyšrafovaná plocha = dráha rovnoměrně zrychleného pohybu)

Nejjednodušší nerovnoměrný pohyb je **POHYB ROVNOMĚRNĚ ZRYCHLENÝ.** Přibližně rovnoměrně zrychlený pohyb koná lyžař rozjíždějící se z kopce, volně padající těleso, rozjíždějící se vlak.

Pohyb těchto těles brzdí odporová síla, jejíž velikost se zvětšuje s rychlostí tělesa. Proto se rovnoměrně zrychlený pohyb tělesa po určité době změní v rovnoměrný pohyb, i když na těleso bude stále působit konstantní tahová síla. Aby popis pohybů těles byl jednodušší, nebudeme prozatím o vlivu brzdicích sil uvažovat.

Rozjíždí-li se těleso z klidu, znamená to, že v čase $t = 0$ s je počáteční rychlost $v = 0$. Potom je rychlost tělesa pohybujícího se rovnoměrně zrychleným pohybem přímo úměrná času **v = at.**

Konstanta úměrnosti ***a*** se nazývá velikost **zrychlení** rovnoměrně zrychleného pohybu. Platí pro ni **a = v/t.**

Jednotkou zrychlení je **metr za sekundu na druhou** (m . s^{-2}).

1 metr za sekundu na druhou je zrychlení rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu, jehož rychlost se za 1 sekundu zvětší o 1 metr za sekundu.

Velikost zrychlení rovnoměrně zrychleného pohybu je konstantní, s časem se nemění, což zapisujeme ***a*** = konst.

Vzorem pro výpočet dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu odvodíme ze závislosti ***v = f (t).*** Dráha se rovná ploše trojúhelníku v tomto grafu.

$s = a \cdot t^2/2$

Dráha rovnoměrně zrychleného pohybu roste přímo úměrně s druhou mocninou času. Grafem **závislosti dráhy** rovnoměrně zrychleného pohybu **na čase je část paraboly.**

Příklad: Vlak se rozjíždí rovnoměrně zrychleně a za dobu t = 125 s dosáhne rychlosti v = 90 km . h^{-1}. Vypočítejte zrychlení vlaku a dráhu, kterou vykonal během rozjíždění.

v = 90 km . h^{-1} = 25 m . s^{-1} (90 000/3 600) m/s
a = v/t = 25 m . s^{-1} : 125 s = 0,2 m . s^{-2}

Na daném místě Země padají ve vakuu všechna tělesa se stejným zrychlením. Zrychlení **<u>volného pádu</u>** se nazývá **tíhová zrychlení** a označuje se ***g.*** Vztahy pro rychlost a dráhu volného pádu píšeme ve tvaru

$$\mathbf{v = g\ .\ t,\ s = g\ .\ t^2/2}$$

(Pokud kámen padá rychleji než papír, způsobuje to odpor vzduchu. Ve vakuu by jejich rychlost byla stejná.)

Velikost tíhového zrychlení není na Zemi všude stejná, zvětšuje se od rovníku k pólům. Na rovníku má hodnotu 9,78 m . s^{-2}, na pólech 9,83 m . s^{-2}. Dohodou byla stanovena hodnota tzv. **normálního tíhového zrychlení g_n = 9,806 65 m . s^{-2},** která se přibližně rovná tíhovému zrychlení na 45. rovnoběžce při hladině moře.

Příklad: Jak dlouho trvá volný pád z výšky 50 m? Jak velkou rychlost má dopadající předmět?

$t = \sqrt{(2s/g)} = \sqrt{(50\ .\ 2/10)} = 10$ s $\qquad$ v = 10 . 10 = 100 m/s $\qquad$ (g_n počítáme 10)

Příklad: Jak hluboká je propast, do které padá volně puštěný kámen 4 s? Odpor vzduchu zanedbejte.

$s = gt^2/2 = 10\ .\ 4^2/2 = 80$ m $\qquad$ v = 10 . 4 = 40 m/s

V obou případech jsme zanedbali odpor vzduchu, skutečná rychlost je ve skutečnosti nižší.

Vektorové veličiny

Fyzikální veličiny rozdělujeme na **skaláry** a **vektory.** Skalární veličiny jsou např. hmotnost, hustota, teplota, objem, elektrický odpor, energie, práce. **Skalární veličina je jednoznačně určená číselnou hodnotou a jednotkou.**

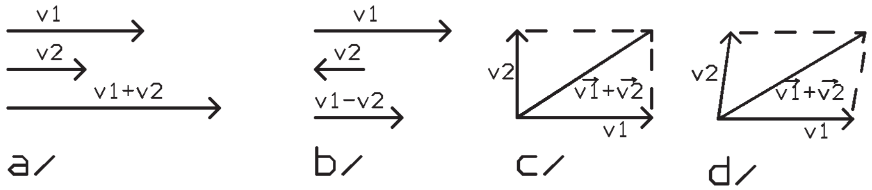
Vektorové veličiny jsou např. rychlost, zrychlení, síla, moment síly. **Vektorová veličina je jednoznačně určená působištěm, velikostí, jednotkou a směrem.** Vektory zobrazujeme **orientovanou úsečkou,** jejíž **délka je úměrná velikosti vektoru.**

V tisku se vektory označují polotučnými písmeny, např. **v** (rychlost), **F** (síla). V textu psaném rukou je označujeme šípkou nad značkou veličiny. Jestliže chceme vyjádřit pouze velikost vektoru, píšeme značku veličiny bez šipky, např. ***v, F.***

Při počítání s vektory platí jiná pravidla než při počítání s čísly. Vysvětlíme to na skládání rychlosti.

Ze zkušenosti víme, že loď plovoucí napříč řeky je unášena proudem a koná současně dva pohyby. Veslař uděluje loďce vzhledem k stojící vodě rychlost **u(vektor),** kolmou na břeh. Proud řeky ji unáší vzhledem k břehu rychlostí **v(vektor).** Loď se pohybuje přes řeku vzhledem k břehu výslednou rychlostí **w(vektor).**

Všimněte si, jak závisí výsledek vektorového součtu na velikosti úhlu, který svírají vektory **u(vektor)** a **v(vektor).** Jestliže svírají vektory **u(vektor)** a **v(vektor)** úhel **0°,** velikost výslednice se rovná **algebraickému součtu** jejich velikosti, jestliže svírají úhel **180°,** velikost výslednice se rovná **algebraickému rozdílu** jejich velikostí. Algebraické sčítání a odčítání vektorových veličin je zvláštní případ vektorového sčítání. Jsou-li **u** a **v** na sebe kolmé bude $\mathbf{w}^2 = \mathbf{u}^2 + \mathbf{v}^2$.



Obr. 1.2 Skládání rychlostí (vektorových veličin)
a) stejný směr, b) opačný směr, c) vektory vzájemně kolmé, d) obecný případ

***Příklad*:** Jakou výslednou rychlostí dopadne parašutista na zem, jestliže klesá se stálou rychlostí 5 m . s^{-1} a a vítr fouká vodorovným směrem rychlostí 3 m . s^{-1}? Úlohu řešte výpočtem i graficky.

$v = \sqrt{(}5^2 + 3^2 = \sqrt{(}25 + 9) = 6$ m . s^{-1}

***Příklad*:** Motorový člun se pohybuje vzhledem ke klidné vodě rychlostí 10 m/s. Proud řeky ho unáší rychlostí 2 m/s. Určete výslednou rychlost člunu vzhledem k břehu, jestliže pluje

a) po proudu	$v = 10 + 2 = 12$ m/s,
b) proti proudu	$v = 10 – 2 = 8$ m/s
c) kolmo na směr proudu	$v = \sqrt{(10^2 + 2^2)} = 10{,}2$ m/s

***Příklad*:** Kulička pohybující se rovnoměrným přímočarým pohybem $v_1 = 0{,}2$ m/s po stole se dostane na hranu stolu a začne padat na zem z výšky h = 80 cm. Jak daleko od hrany stolu dopadne (viz *obr. 1.3b*)?

Oba pohyby, rovnoměrný přímočarý pohyb ve směru vodorovném a volný pád ve směru svislém $v = g \,.\, t$ se skládají. Kulička se pohybuje po parabolické trajektorii a rychlost jejího pohybu je rovna vektorovému součtu obou rychlostí. Doba volného pádu kuličky bude $t = \sqrt{(2h/g)} = 0{,}4$ s. Kulička dopadne na zem ve vzdálenosti $s = v_1$, $t = 0{,}4 \,.\, 0{,}2 = 0{,}08$ m od paty kolmice vedené z hrany stolu k podlaze. Její okamžitou rychlost vypočítáme podle vztahu $v = \sqrt{(v_1{}^2 + (gt)^2)}$. Rychlost při dopadu bude $v = \sqrt{(0{,}2^2 + (10 \,.\, 4)^2)} = 0{,}447$ m/s.

Rovnoměrný pohyb po kružnici

Na *obr. 1.3a* je znázorněný pohyb hmotného bodu po kružnici a poloměru ***r.*** Za čas ***t*** se hmotný bod dostane z bodu *A* do bodu *B*, projde dráhu ***s*,** která se rovná délce oblouku *AB*. Spojnice *OA, OB* se nazývají **průvodiče** hmotného bodu.

Při pohybu hmotného bodu z bodu *A* do bodu *B* se jeho průvodič otočí o středový úhel **$\varphi = s/r$.** Úhel φ se nazývá také **úhlová dráha** hmotného bodu. Délku oblouku (dráhu s vykonanou hmotným bodem) můžeme potom vyjádřit vztahem **$s = r\varphi$.**

Velikost úhlu (rovinného úhlu) dosazujeme do tohoto a dalších vztahů v obloukové míře v **radiánech.** Tabulku na převod velikosti úhlů ze stupňové do obloukové míry najdete v tabulkách. Platí:

360° = 2π rad = 6,28 rad (obvod kruhu = 2πr)
1 rad = 360/2π = 57,296°

Hmotný bod koná rovnoměrný pohyb po kružnici, jestliže ve stejných, libovolně zvolených časových intervalech opíše stejné oblouky *s*, kterým přísluší stejné středové úhly φ.

Velikost rychlosti rovnoměrného pohybu hmotného bodu po kružnici určíme jako podíl přírůstku dráhy ***s*** a příslušného času ***t.***

v = s/t

Velikost rychlosti rovnoměrného pohybu hmotného bodu po kružnici je stálá, ale její vektor se s časem mění. **V každém bodě** trajektorie (kružnice) má **směr tečny,** je **kolmý na** průvodič – na **poloměr kružnice** (jiskry odletují od brusného kotouče ve směru tečny – ve směru vektorů rychlosti).

Pohyb hmotného bodu po kružnici můžeme popsat také pomocí veličiny **úhlová rychlost,** kterou označujeme φ (omega). Velikost úhlové rychlosti φ rovnoměrného pohybu hmotného bodu po kružnici určíme jako podíl přírůstku středového úhlu ∇φ (přírůstku úhlové dráhy) a příslušného času ***t.***

ω = ∇φ/∇**t**.

Jednotkou úhlové rychlosti je **radián za sekundu** (rad . s^{-1}). **1 radián za sekundu je úhlová rychlost rovnoměrného pohybu po kružnici, při kterém se za 1 sekundu vykoná dráha 1 radiánu.**

Ve všech výpočtech budeme vyjadřovat jednotku úhlové rychlosti radián za sekundu v základních jednotkách SI.

Mezi rychlostí hmotného bodu pohybujícího se po kružnici a jeho úhlovou rychlostí platí vztahy

ω = **φ/t = s/(r/t) = s . t/r = v/r** **v = ωr**

Čas potřebný na jeden oběh hmotného bodu po kružnici (s = 2πr; φ = 2π) se nazývá **oběžná doba *T*** nebo **perioda.** Vyjadřujeme ji v sekundách. Počet oběhů hmotného bodu po kružnici za jednu sekundu se nazývá **FREKVENCE *f.*** Mezi frekvencí ***f*** a oběžnou dobou ***T*** platí vztahy

f = 1/T T = 1/f

Jednotkou frekvence je **hertz** (Hz; čti herc); **1 Hz = 1 s^{-1}. Hmotný bod obíhá po kružnici s frekvenci 1 hertz, jestliže vykoná 1 oběh za 1 sekundu.**

Vyjádřete rychlost *v* a úhlovou rychlost ω hmotného bodu, pohybujícího se rovnoměrně po kružnici, pomocí frekvence ***f*** a oběžné doby ***T***

s = f . 2π . r . t φ = s/r ω = φ/t ω **= 2πf = 2π/T**

Dynamika

Dynamika je část mechaniky, která zkoumá zákonitosti pohybu tělesa z hlediska jeho příčin. Základ dynamiky tvoří tři **Newtony pohybové zákony.**

Příčinou změny pohybu tělesa je jeho vzájemné působení s jinými tělesy. Sílu chápeme jako míru vzájemného působení těles.

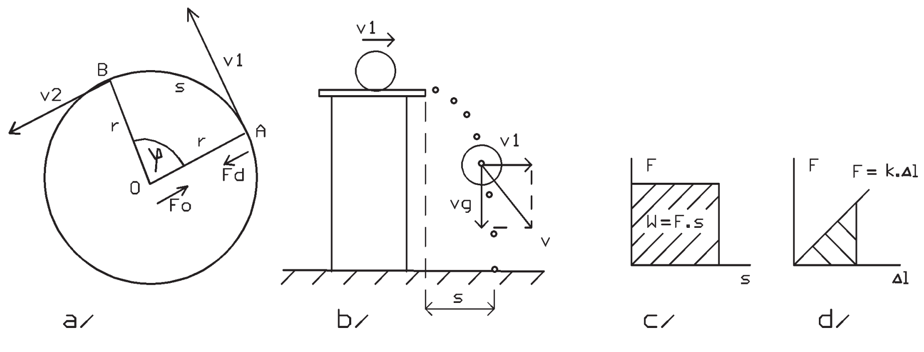
Víme ze zkušenosti, že válec položený na vodorovné podložce se sám od sebe nezačne pohybovat. Do pohybu ho může uvést pouze jiné těleso, např. ho postrčíme rukou.

Jestliže uvedeme do pohybu po vodorovné podložce kuličku, pozorujeme, že si směr pohybu zachovává, pohybuje se po přímé trajektorii. Aby se změnil směr jejího pohybu, směr její rychlosti, musí na ni působit jiné těleso, např. nějaká překážka.

Také velikost rychlosti kuličky pohybující se po přímce se zmenšuje působením tření o podložku a podporu vzduchu. Můžeme soudit, že v případě úplného odstranění tření a odporu vzduchu by se kulička pohybovala rovnoměrným přímočarým pohybem stále, nezastavila by se. Tyto zkušenosti jsou shrnuty **v PRVNÍM NEWTONOVĚ POHYBOVÉM ZÁKONU.**

Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není přinuceno tento stav změnit působením jiných těles.

Vlastnost těles setrvávat v původním stavu (v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu), se nazývá **SETRVAČNOST tělesa.** Setrvačnost na sobě pozorujeme např. při rozjíždění autobusu, kdy se nakláníme proti směru jízdy (setrváváme v klidu), nebo při brzdění, kdy se nakláníme ve směru jízdy (setrváváme v rovnoměrném pohybu).



Obr. 1.3
a) Rovnoměrný pohyb hmotného bodu po kružnici
b) Pád kuličky ze stolu – skládání rychlostí
c) Diagram práce
d) Energie pružiny

Druhý Newtonův pohybový zákon

Změna pohybového stavu tělesa, vyjádřená zrychlením tělesa, je přímo úměrná síle, která působí na těleso, a nepřímo úměrná hmotnosti tělesa.

Matematicky jej můžeme zapsat vztahy

$\mathbf{a = F/m}$ $\qquad\qquad$ $\mathbf{F = m \cdot a}$

nebo ve vektorovém tvaru

$\mathbf{F = ma}$

Sílu působící na těleso lze vyjádřit součinem hmotnosti tělesa a zrychlení, které mu uděluje. **Vektor zrychlení tělesa má stejný směr jako vektor působící síly.**

Z druhého Newtonova pohybového zákona definujeme **jednotku síly newton (N). 1 newton je síla, která volnému hmotnému bodu o hmotnosti 1 kilogram udělí zrychlení 1 metr za sekundu na druhou;** $1\ N = 1\ kg \cdot m \cdot s^{-2}$.

Příklad: Vlak o hmotnosti 300 t se rozjíždí po vodorovné trati se zrychlením $0{,}25\ m \cdot s^{-2}$. Jak velká je tažná síla lokomotivy?

$F = 300\ 000 \cdot 0{,}25 = 75\ 000\ N$

Příklad: Osobní automobil o hmotnosti 1 000 kg se působením tažné síly motoru 1 500 N rozjíždí po vodorovné cestě. Vypočítejte zrychlení automobilu. [$1{,}5\ m \cdot s^{-2}$]

Základním fyzikálním údajem o tělesech a částicích je jejich **hmotnost. Hmotnost tělesa nezávisí na jeho poloze vzhledem k Zemi, na jeho skupenství, teplotě nebo na tom, zda je zelektrizované, či zmagnetizované.**

Na těleso na povrchu Země působí **gravitační síla F_g** a **síla odstředivá**, která souvisí s otáčením Země okolo její osy. Výslednicí těchto sil je **tíhová síla,** kterou označujeme $\mathbf{F_G}$. Na pólech, kde se účinek otáčení Země neprojevuje, se tíhová a gravitační síla navzájem rovnají. Směrem od pólu k rovníku se velikost tíhové síly působící na dané těleso zmenšuje, odstředivá síla se vektorově sčítá s gravitační silou. Na rovníku působí obě síly opačným směrem, od gravitační síly se odečítá odstředivá síla.

Tíhová síla F_G je síla, kterou je těleso na daném místě zemského povrchu přitahováno k Zemi. Volnému tělesu uděluje tíhová síla tíhové zrychlení **g.** Podle druhého Newtonova pohybového zákona můžeme velikost tíhové síly vyjádřil vztahem $\mathbf{F_G = mg}$.

Velikost tíhové síly působící na dané těleso je přímo úměrná jeho hmotnosti. **Na tomtéž místě Země jsou tělesa stejné hmotnosti přitahovaná k Zemi stejnou tíhovou silou.** Tento poznatek se využívá při **vážení.** Jestliže je na váhách rovnováha, má vážené těleso stejnou hmotnost jako závaží.

Působiště tíhové síly umísťujeme do **těžiště tělesa.** Jestliže je těleso položené na vodorovné podložce, tíhová síla na něj působící se projeví jako **tlaková síla,** kterou působí těleso na podložku. Těleso zavěšené např. na laně napíná závěs **tahovou silou,** která se rovná tíhové síle působící na těleso. Je-li těleso zavěšené na pružině, tíhová síla působící na těleso napíná pružinu, dokud nenastane rovnováha se silou pružnosti pružiny.

Jestliže se těleso pohybuje po podložce, působí na ně **brzdicí síla** proti směru pohybu tělesa (proti směru vektoru rychlosti tělesa). Brzdicí síla je **třecí síla** (síla tření). Můžeme ji měřit **siloměrem.** Taháme-li těleso spojené se siloměrem po podložce rovnoměrným přímočarým pohybem, je třecí síla F_t v rovnováze s takovou silou, jejíž velikost odčítáme na siloměru.

Měřením se můžeme přesvědčit, že **třecí síla F_t je přímo úměrná tlakové síle F_n,** kterou působí těleso kolmo na podložku.

$$\mathbf{F_t = f \cdot F_n}$$

Konstanta úměrnosti ***f*** se nazývá **součinitel smykového tření.** Jeho velikost závisí na materiálu tělesa a podložky a na drsnosti styčných ploch. Hodnoty součinitele smykového tření pro různé látky jsou uvedeny v tabulkách. Součinitel smykového tření je poměrná veličina, a proto nemá jednotku.

Víte ze zkušenosti, že na uvedení tělesa z klidu do pohybu je nutné vynaložit větší sílu než na udržení tělesa v rovnoměrném pohybu. Pro dvě daná tělesa má součinitel klidové tření f_o vždy větší hodnotu než součinitel smykového tření f.

Příklad: Vypočítejte, jakou hmotnost má přibližně kmen, vlečený traktorem po vodorovné cestě silou 10 kN, jestliže průměrná velikost součinitele vlečného tření je 0,5.

Fg = 10 000/0,5 = 20 000 N   m = Fg/g = 2 000 kg
(normálová síla se v tomto případě rovná tíhové síle)

Zákon zachování hybnosti platí i tehdy, jestliže se součet hybnosti na začátku nerovná nule. V tomto případě ho můžeme vyjádřit slovy: **Vzájemným silovým působením těles, která tvoří izolovanou soustavu, se součet jejich hybností nemění, je konstantní.**

Inerciální a neinerciální vztažné soustavy

Na vozíček položíme kuličku a uvedeme ho do zrychleného pohybu. Pozorujeme, že se kulička pohybuje opačným směrem než vozík. Ve vztažné soustavě spojené s vozíkem má kulička zrychlení, ačkoliv na ni nepůsobí žádné těleso. Z toho vyplývá, že ve vztažné soustavě spojené s rozjíždějícím se vozíkem neplatí první Newtonův pohybový zákon.

Vztažná soustava, ve které platí první Newtonův zákon, se nazývá inerciální (z lat. inertia = setrvačnost). Vztažná soustava spojená se Zemí není pro všechny pohyby v ní probíhající inerciální. Velmi přesnou realizací inerciální vztažné soustavy je soustava spojená se Sluncem. Země se v heliocentrické vztažné soustavě pohybuje okolo Slunce a otáčí se okolo své osy. Pohybuje se zrychleně, proto každá **vztažná soustava** spojená se Zemí je **neinerciální.** Zrychlení bodů na povrchu Země způsobené jejími pohyby je však v porovnání s tíhovým zrychlením malé, prakticky pod hladinou citlivosti měřicích přístrojů. Proto **při většině zkoumaných jevů můžeme vztažnou soustavu spojenou se Zemí považovat za inerciální.**

Příkladem neinerciálních vztažných soustav je vztažné soustavy spojené např. se startujícím letadlem, rozjíždějícím se vlakem apod.

Vztažná soustava spojená s vlakem je neinerciální, protože vlak se při rozjíždění, při brzdění anebo při zatáčení nepohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem. Pozorovatel v autobuse, který neví, že autobus se pohybuje, vysvětlí jev takto: Cestující se pohybují zrychleným pohybem směrem dozadu, respektive dopředu. To znamená, že na cestující působí nějaká síla, pro kterou platí **F(vektor)$_s$ = ma(vektor),** kde ***m*** je hmotnost cestujícího.

Sílu **F$_s$** nazýváme **setrvačná síla.** Zrychlení cestujícího má opačný směr oproti zrychlení vlaku ve vztažné soustavě spojené se Zemí. Ale nebylo vyvolané působením jiného tělesa. Je způsobené neinerciální vztažnou soustavou. Setrvačná síla tedy nemá původ ve vzájemném působení těles.

Jestliže řešíme úlohy v neinerciální soustavě, musíme k silám, kterými působí na dané těleso jiná tělesa, přidat ještě setrvačnou sílu. Setrvačná síla má opačný směr, než je směr zrychlení vztažné soustavy.

Příklad: Člověk o hmotnosti 80 kg stojí ve výtahu, který se pohybuje vzhůru se zrychlením 0,6 m . s^{-1}. Jakou tlakovou silou působí člověk na podlahu kabiny výtahu? Za tíhové zrychlení dosaďte

10 m . s^{-2}. F = m . (a + g) = 80 . 10,6 = 848 N

Příklad: Ocelové lano se přetrhne silou 5 000 N. S jakým největším zrychlením je možné zdvíhat předmět o hmotnosti 200 kg zavěšený na laně, aby se nepřetrhlo. Za tíhové zrychlení dosaďte

10 m . s^{-1}. a + g = F/m = 5 000/200 = 25 m . s^{-2} a = 15 ms^{-2}

Energie, práce, výkon

S veličinami práce a energie jste se seznámili už na základní škole. **Těleso koná mechanickou práci, jestliže působí silou na jiné těleso a přemísťuje ho po určité dráze.** Mechanická práce je skalární veličina a označuje se *W.*

Jestliže působí na dané těleso ve směru jeho pohybu stálá síla *F* a posune ho o délku *s,* vykoná mechanickou práci W = F . s.

Pokud svírá stálá síla ***F*** se směrem pohybu tělesa úhel α**,** způsobuje pohyb tělesa jen složka síly **F$_1$ = F cos** α působící ve směru pohybu tělesa. Práci vypočítáme ze vztahu

W = F$_1$s nebo **W = Fs cos** α

Jednotkou práce je **joule** (J). **1 joule** (čti: džaul) **je práce, kterou vykoná stálá síla 1 newtonu, působící po dráze 1 metru ve směru síly. 1 J** = 1 N .1 m = **1 kg . m^2 . s^{-2}.**

Velikost mechanické práce můžeme znázornit výše uvedeným (*obr. 1.3*) diagramem práce. Práce *W* se číselně rovná obsahu vyšrafovaného obrazce.

Víme ze zkušenosti, že např. pohybující se koule nárazem posune lehkou kostku umístěnou na podložce. **Pohybující se těleso má kinetickou** (pohybovou) **energii.** Koule nárazem uvedla kostku do pohybu a vykonala určitou práci. Kostka získala kinetickou energii.

Velikost kinetické energie tělesa měříme prací, která byla vykonána na uvedení tělesa z klidu do pohybu. Vztah pro výpočet velikosti kinetické energie odvodíme jednoduchou úvahou.

Předpokládáme, že těleso o hmotnosti ***m*** je v klidu. Jeho kinetická energie je nulová. Na těleso začne působit stálá síla **F.** Síla **F** působí ve směru pohybu, uvede těleso do rovnoměrně zrychleného pohybu, udělí mu zrychlení ***a.*** Za čas ***t*** vykoná těleso dráhu ***s,*** získá rychlost ***v*** a bude mít kinetickou energii $\boldsymbol{E_k}$. Kinetická energie E_k tělesa v čase ***t*** se rovná práci vykonané silou **F** po dráze *s,* $\boldsymbol{E_k} = \mathbf{W}$.

Použitím druhého Newtonova pohybového zákona a vztahů pro dráhu a rychlost rovnoměrně zrychleného pohybu vyjádříme vztahy pro práci vykonanou silou *F* a pro kinetickou energii tělesa

$$\mathbf{W = F \cdot s = m \cdot a \cdot a \cdot t^2/2 = m(at)^2 = mv^2/2}$$

Vykonáním práce *W* jedním tělesem, získalo druhé těleso stejně velkou kinetickou energii E_k,$E_k = W$, takže platí $\mathbf{E_k = mv^2/2}$.

Kinetická energie tělesa je přímo úměrná hmotnosti tělesa a druhé mocnině jeho rychlosti. Jednotka energie je stejná jako jednotka práce joule (J).

Protože rychlost tělesa je relativní, je relativní i jeho kinetická energie. Dané těleso má v různých vztažných soustavách různé kinetické energie.

Např. automobil, který jede po dálnici rychlostí 100 km . h^{-1}, má jinou kinetickou energii vzhledem k silnici, jinou k autu, které právě předjíždí, a jinou k autu, které jede v protisměru.

V každé vztažné soustavě však platí, že změna kinetické energie E_k tělesa se rovná práci *W* vykonané silou působící na dané těleso $E_k = W$. Změnu kinetické energie určíme, jestliže od její konečné hodnoty odečteme počáteční hodnotu.

Jestliže je změna kinetické energie daného tělesa **kladná,** $\mathbf{E_k > 0}$, kinetická energie tělesa se zvětšila; na těleso **byla vykonána práce.** Je-li změna kinetické energie tělesa **záporná,** $\mathbf{E_k < 0}$, kinetická energie se zmenšila; těleso **vykonalo práci na úkor své energie.**

Příklad: Porovnejte kinetickou energii vlaku hmotnosti 100 t jedoucího rychlostí 18 km . h^{-1} s kinetickou energií střely hmotnosti 20 g letící rychlosti 800 m . s^{-1}.

18 km/hod =5 m/s $\quad$ E_k vlaku = $10^5 \cdot 5^2/2$ = 1,25 MJ
E_k střely = $0{,}02 \cdot 600^2/2$ = 3,6 kJ

Těleso má vzhledem k Zemi **potenciální energii tíhovou,** která mu umožňuje po uvolnění konat mechanickou práci. Natáhnuté hodinové pero má **potenciální energii pružnosti,** která pohánějící sbíječku má **potenciální energii tlakovou.**

Potenciální energie tíhová, tlaková, pružnosti a kinetická energie jsou různé formy mechanické energie.

Tíhová potenciální energie $\boldsymbol{E_p}$ tělesa je vzhledem k povrchu Země stejně velká jako mechanická práce *W*, kterou vykonáme při zdvihání tělesa o hmotnosti ***m*** do výšky ***h***. Zdviháme-li těleso rovnoměrným pohybem, působíme na ně svisle vzhůru stálou silou *F*, jejíž velikost se rovná velikosti tíhové síly $\boldsymbol{F_G}$ působící na dané těleso svisle dolů, $\mathbf{F = F_G = mg}$.

Pro velikost vykonané práce potom platí

$\mathbf{W = F \cdot h}$ nebo $\mathbf{W = m \cdot g \cdot h}$

Vyzdvižením získalo těleso stejně velkou potenciální energii tíhovou, $\mathbf{E_p = W}$, tedy platí

$$\mathbf{E_p = m \cdot g \cdot h}$$

Prodloužení pružiny je přímo úměrné velikosti síly působící na pružinu. Síla pružnosti vzniká deformací pružiny a působí proti jejímu prodlužování. Pokud jsou síla pružnosti **F´** a tíhová síla $\mathbf{F_G}$, která způsobuje prodloužení, v rovnováze, usuzujeme, že velikost síly pružnosti **F´** je přímo úměrná prodloužení pružiny ∇l.

$$\mathbf{F' = k \,.\, \nabla l}$$

kde ***k*** je konstanta úměrnosti, tzv. **tuhost pružiny.**

Práce, vykonaná při prodlužování pružiny, rovná obsahu vyšrafovaného trojúhelníku ve výše uvedeném obrázku **d.** Její velikost určíme použitím vztahu pro obsah trojúhelníka

$$\mathbf{W = F'l/2}$$

Tato práce se rovná potenciální energii pružnosti natažené pružiny, $W = E_p$.
Jestliže dosadíme za sílu pružnosti $\mathbf{F' = k \,.\, \nabla l}$, dostaneme $\mathbf{E_p = k\,(\nabla l)^2/2}$.

Při mechanických dějích probíhajících v izolované soustavě těles se mění jejich potenciální a kinetické energie tak, že celková energie soustavy těles zůstává stálá.

Příklad: Kabina výtahu o hmotnosti 600 kg vystoupí o 12 m výše. O kolik se změní její potenciální energie tíhová? Za tíhové zrychlení dosaďte 10 m . s^{-2}.

$\nabla W = 600 \,.\, 12 \,.\, 10 = 72$ kJ

Příklad: Tíhou závaží 180 N se gumové vlákno prodloužilo o 4 cm. O kolik se změnila potenciální energie pružnosti vlákna?

$\nabla W = F \,.\, h/2 = 180 \,.\, 0{,}04/2 = 3{,}6$ J

Příklad: Míč o hmotnosti 70 g volně padá z výšky 2,5 m a po dopadu na podlahu se odrazí do výšky 1,8 m. Určete, kolik mechanické energie se při pádu přeměnilo na jinou energii. Vysvětlete, jaká je forma této energie.

Polohová energie míče se změnila v kinetickou (její maximální velikost byla při dopadu). Ta se změnila v energii pružnosti, poté opět v kinetickou energii a nakonec opět v polohovou energii (při maximální výšce při odrazu). Z úbytku polohové energie vznikly ztráty, které se proměnily v teplo.

$\nabla W = \nabla h \,.\, m \,.\, g = 0{,}7 \,.\, 0{,}070 \,.\, 10 = 0{,}49$ J

Jestliže chceme porovnávat dva stroje stejného druhu, např. dva automobily, neuvažujeme jen práci, kterou vykonají, ale také čas, který na to potřebují. Výkonnější je stroj, který určitou práci vykoná za kratší čas. Takováto porovnávání děláme pomocí veličiny **VÝKON,** který označujeme *P*.

Výkon vypočítáme, jestliže velikost vykonané práce *W* dělíme časem *t*, za který se práce vykonala.

$$\mathbf{P = W/t}$$

Jednotkou výkonu je **watt** (W). **1 watt je výkon, při kterém se rovnoměrně vykoná práce 1 joule za 1 sekundu**

$1\ W = 1\ J\ .\ s^{-1} = 1\ kg\ .\ m2\ .\ s^{-3}$

Pracuje-li stroj se stálým výkonem, určíme práci vykonanou strojem za čas *t* ze vztahu

W = Pt

Výkon, který se přivádí stroji nebo jinému spotřebiči, se nazývá **PŘÍKON,** značka P_p. **Příkon P_p skutečného stroje je vždy větší než jeho výkon *P*. Část energie dodávané stroji se totiž přemění na energii, kterou stroj dále nevyužívá, např. na vnitřní energii – teplo.**

Podíl výkonu a příkonu stroje nazýváme **ÚČINNOST**, značka η (éta).

$\eta = \mathbf{P/P_p}$

Účinnost je číslo vždy menší než jedna. Obyčejně se vyjadřuje v **procentech.** Příkon se uvádí např. na žárovkách nebo na štítcích elektrických spotřebičů. Ze známého příkonu spotřebiče a času, po který je spotřebič v činnosti, vypočítáme velikost elektrické energie dodané spotřebiči.

E = P . t

Příklad: S jakým výkonem pracuje motor jeřábu, který rovnoměrným pohybem zdvihne panel o hmotnosti 500 kg za 15 s do výšky 12 m? Za tíhové zrychlení dosaďte $10\ m\ .\ s^{-2}$.

P = m . g . h/t = 500 . 12 . 10/15 = 4 000 W

Příklad: Traktor se při orbě pohybuje rychlostí 0,5 m/s. Jeho výkon přitom je 20 kW. Jak velkou tažnou silou působí na pluh?

F . s = W = P . t   **F = P/v** (s = v . t)   F = 20 000/0,5 = 40 kN

Příklad: Vodní čerpadlo, které má příkon 1,2 kW, vyčerpá z hloubky 8 m za 1 minutu 600 l vody. Vypočítejte, s jakou účinností pracuje. Za tíhové zrychlení dosaďte $10\ m\ .\ s^{-2}$.

Práce vykonaná čerpadlem = m . g . h = 600 . 10 . 8 = 48 000 J.
Výkon čerpadla = 48 000 J/60 s = 800 W.
Účinnost = 800/1200 = 0,666 = 66,6 %.

Gravitace

Ze zkušenosti víme, že Země působí na všechna tělesa přitažlivou tíhovou silou. Proto zavěšená tělesa napínají závěs, tělesa položená na podložce na ni tlačí, popřípadě ji deformují, volná tělesa padají k Zemi. Přitažlivá síla nepůsobí pouze mezi Zemí a tělesy na ní, ale mezi všemi tělesy. **Všechna tělesa se navzájem přitahují silami, které se nazývají gravitační.**

Gravitační síla působí mezi Sluncem a planetami, ale i mezi hvězdami. **Vzájemná přitažlivost (gravitace) je všeobecnou vlastností hmotných objektů.** Velikost gravitační síly, působící mezi dvěma hmotnými body, vyjadřuje **Newtonův gravitační zákon.**

Dva hmotné body o hmotnostech m_1, m_2 se navzájem přitahují silou F_g, jejíž velikost je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti *r*.

$$\mathbf{F_g = \chi \,.\, m_1 \,.\, m_2/r^2,\ \chi\ (kapa) = 6{,}67 \,.\, 10^{-11}\ N\ m^2kg^{-2}}$$

kde χ (kappa) je **gravitační konstanta.**

Gravitační zákon platí přesně pro dva hmotné body nebo dvě homogenní koule. V případě dvou koulí *r* vzdálenost jejich středů. Pro tělesa jiných tvarů gravitační zákon platí s dostatečnou přesností, jsou-li jejich rozměry velmi malé vzhledem k jejich vzdálenosti, tj. jestliže je můžeme považovat za hmotné body.

Gravitační síla je vektor a působí ve směru spojnice hmotných bodů nebo středů koulí. Gravitační síly, které působí mezi dvěma tělesy, jsou stejně velké opačného směru.

Pokud do výše uvedeného vzorce dosadíte hmotnost Zeměkoule = 6 . 10^{24} kg a vzdálenost od jejího povrchu ke středu R = 6,37 . 10^6 m , ověříte, že na těleso o hmotnosti 1 kg působí na zemském povrchu síla přibližně 10 N (výpočet konstanty ***g***).

Na Měsíci, jehož hmotnost je 6krát menší než hmotnost Země je tato síla 6krát menší. Na člověka o hmotnosti 90 kg tam bude působit síla 150 N. Hmotnost ale zůstává stejná. Obdobně je tomu na jiných planetách.

V kosmickém prostoru v dostatečné vzdálenosti od velkých kosmických těles je **stav beztíže.** Tento stav vzniká na oběžné dráze okolo Země vyrovnáním přitažlivé síly Země s odstředivou silou.

Příklad: Jak velkou silou se vzájemně přitahují dvě stejně velké koule o hmotnosti 1 kg ze vzdálenosti 1 m, 10 m (6,67 . 10^{-11} N, 6,67 . 10^{-12} N)?

Volnému tělesu o hmotnosti *m*, umístěnému v gravitačním poli, uděluje gravitační síla $\boldsymbol{F_g}$ gravitační zrychlení $\boldsymbol{a_g}$, které je podle druhého Newtonova pohybového zákona vyjádřené vztahem

$$a_g = \mathbf{F_g/m}$$

Aby se nějaké těleso mohlo stát **družicí Země,** musí být nejprve vyneseno do výšky, kde je ovzduší řídké a při pohybu v něm se družice nerozžhaví a neshoří. Potom se musí tělesu udělit potřebná rychlost ve směru kolmém na spojnici tělesa se středem Země. Vztah pro výpočet této rychlosti odvodíme v následujícím řešeném příkladu.

Příklad: Na družici působí gravitační síla $F_g = \chi\ .\ m_z\ m/(R + h)^2$, která směřuje do středu Země. Družice obíhá okolo Země po kružnici, proto je gravitační síla při pohybu družice současně dostředivou silou $F_d = mv^2/(R + h)$.

Oba vztahy vyjadřují tutéž sílu, proto platí

$F_d = F_g$
$mv^2/(R + h) = \chi m_z m/(R + h)^2$
$\mathbf{v = \sqrt{(\chi m_z/(R + h))}}$
pro h = 200 km bude v = 7,8 m/s…

Oběžnou dobu družice určíme ze vztahu pro rychlost rovnoměrného pohybu $v = s/t$. Po dosazení

$v = 2\pi(R + h)/T$

odtud

$T = 2\pi(R + h)/v = 6{,}28 \cdot (6{,}37 + 0{,}2) \cdot 10^6/7{,}8 \cdot 10^3 = 5289$ s = 1 hod 28 min 9 s

Ze vztahu $\mathbf{v = \sqrt{(\chi m_z/(R + h))}}$ se vypočítá velikost tzv. **kruhové rychlosti** družice. Největší kruhovou rychlost v = 7,9 km . s^{-1} by měla družice, která by obíhala těsně při zemském povrchu po kružnici o poloměru *R*. Takovou družici nelze realizovat, protože by v důsledku tření o ovzduší shořela.

Družice, které obíhají ve větších vzdálenostech od středu Země, mají menší kruhové rychlosti. Všimněte si, že velikost kruhové rychlosti nezávisí na hmotnosti družice.

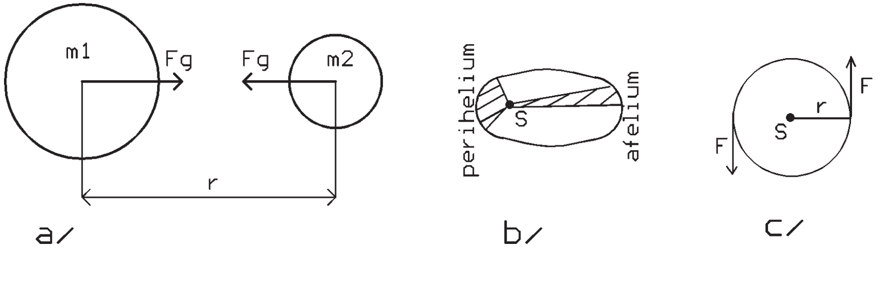
Měsíc obíhá okolo Země přibližně po trajektorii tvaru kružnice. Příčina jeho oběhu je stejná jako u družic. Hodnota kruhové rychlosti ve vzdálenosti Měsíce od Země je přibližně 1 km . s^{-1}. Takovou rychlostí se skutečně Měsíc pohybuje.

Udělíme-li družici z našeho příkladu **větší rychlost než 7,37 km . s^{-1}**, změní se její trajektorie z kružnice na elipsu. Jedním ohniskem eliptické trajektorie družice je střed Země. Na níže uvedeném *obr. 1.4* je vyznačen nejbližší bod trajektorie družice od středu Země – **perigeum** a její nejvzdálenější bod – **apogeum.**

Dalším zvětšováním rychlosti se eliptická trajektorie prodlužuje, až se změní na **parabolickou trajektorii** a družice se už k Zemi nevrátí, stane se satelitem Slunce. To nastane při tzv. **parabolické** (únikové) **rychlosti.** U povrchu Země je její velikost **11,2 km . s^{-1}.** S rostoucí vzdáleností družice od zemského povrchu se parabolická rychlost zmenšuje.

Kruhová rychlost se někdy nazývá první kosmická rychlost a parabolická rychlost zase druhá kosmická rychlost.

Družice s dobou oběhu 24 hodin a jejíž směr pohybu je stejný jako zemská rotace se nazývá **stacionární.** Je na obloze vidět trvale na stejném místě. Slouží pro přenos signálů. Zkuste vypočítat její výšku nad Zemí. (Vypočítejte rychlost tak aby T = 24 hod, nejlépe numericky, postupně, vychází přibližně 36 000 km nad zemským povrchem).



Obr 1.4 a) gravitační síla, b) 2. Keplerův zákon, c) dvojice sil

Gravitační pole Slunce je mnohonásobně silnější než gravitační pole Země. Je to způsobeno tím, že hmotnost Slunce je přibližně 333 000krát větší než hmotnost Země. Gravitační zrychlení na povrchu Slunce je asi 28krát větší než na povrchu Země. V gravitačním poli Slunce se pohybuje mnoho těles, z nichž jsou nejnápadnější planety a komety. Protože jsou dobře viditelné, byly od pradávna středem zájmu astronomů.

Keplerovy zákony

1. Keplerův zákon:

   Planety obíhají okolo Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce.

2. Keplerův zákon:

   Průvodič, který spojuje střed planety se středem Slunce, opíše za stejné časy stejné plochy.

Planeta se nepohybuje okolo Slunce rovnoměrným pohybem. Jestliže se vzdaluje od Slunce, její rychlost klesá, při přibližování roste. Planeta má největší rychlost v perihéliu (přísluní), nejmenší v aféliu (odsluní).

3. Keplerův zákon:

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

$$\mathbf{T^2_1/T^2_2 = a^3_1/a^3_2}$$

Podle třetího Keplerova zákona můžeme určit poměrné vzdálenosti jednotlivých planet od Slunce. Vzdálenost planet od Slunce porovnáváme ve střední vzdálenosti Země od Slunce. Tuto vzdálenost považujeme za jednotkovou, nazývá se **astronomická jednotka** (UA) a přibližně se rovná **150 milionu kilometrů.**

Příklad: Oběžná doba planety Jupiter okolo Slunce je asi 12 roků. Určete, jaká je její průměrná vzdálenost od Slunce. Použijte známé údaje o pohybu Země okolo Slunce.

$12^2/1^2 = 144$ $\qquad$ $\sqrt[3]{144} = 5{,}2$ UA $= 5{,}2 \,.\, 150 \,.\, 10^6$ km $= 780 \,.\, 10^6$ km

Třetí pohybový zákon

Pokus: Stlačujeme pružinu. Cítíme sílu, kterou musíme přemáhat. Jestliže naše ruka působí na pružinu, pak pružina působí na naši ruku silou opačného směru. Přestane-li toto působení, pak říkáme, že síly jsou nulové.

Pokus: Dva siloměry spojíme háčky. Jeden siloměr upevníme na stojan, druhý táhneme rukou. Pozorujeme, že oba siloměry ukazují v určitém okamžiku vždy stejnou sílu.

Výsledky podobných pozorování, doplněné pečlivým měřením, jsou vyjádřeny ve **3. Newtonově zákonu:**

Dvě tělesa na sebe vzájemně působí silami, které mají vždy stejnou velikost, ale opačný směr.

Jedno těleso působí tzv. akcí na jiné těleso a vyvolává tzv. reakci. Obě síly mají různá působiště. Jejich účinky se nemohou sčítat, protože síly působí na různá tělesa. Jakmile zanikne jedna z obou sil, přestává působit i druhá síla.

Třetí pohybový zákon je zákonem o vzájemném silovém působení těles. Zobecňuje mnoho případů z praxe, s nimiž se v běžném životě neustále setkáváme.

Hybnost těles

Automobil o hmotnosti m jede rychlostí v_1 po přímé vodorovné silnici, když na něj začne působit taková síla motoru velikosti F. Rychlost automobilu se zvětší na dobu t na hodnotu v_2. Můžeme určit zrychlení

$$\mathbf{a = (v_2 - v_1)/t = \nabla v/t}$$

Podle druhého pohybového zákona zrychlení automobilu určíme

$$\mathbf{a = F/m}$$

Spojením obou vztahů dostáváme pro automobil při přímočarém pohybu

$$\mathbf{F/m = \nabla v/t} \qquad \text{neboli} \qquad \mathbf{Ft = m\nabla v}$$

K popisu pohybového stavu těles zavádíme veličinu – **hybnost tělesa** vzhledem ke zvolené vztažné soustavě. Protože pohybový stav tělesa souvisí s vektorem rychlosti, bude hybnost tělesa vektorovou veličinou. Pro její velikost platí vztah

$$\mathbf{p = m \,.\, \nabla v}$$

Jestliže před působením síly F byla hybnost automobilu $\mathbf{p_1 = mv_1}$, po době t byla hybnosti

$$\mathbf{p_2 = mv_2}$$
$$\mathbf{m\nabla v = m(v_2 - v_1) = mv_2 - mv_1 = p_2 - p_1 = \nabla p}$$

Hybnost vyjadřuje změnu pohybového stavu tělesa. Je to vektorová veličina. Ve vztahu

F(vektor)t = mv(vektor)

představuje levá strana rovnosti velikost **impulsu síly**

I(vektor) = F(vektor) . t

pravá strana **hybnosti tělesa**

p(vektor) = m . v(vektor)

Impuls síly je vektor, který má se silou souhlasný směr. Popisuje děje, při nichž se projevuje **časový účinek síly** a dochází při nich **ke změně hybnosti tělesa.** Závisí na velikosti působící síly, na době t jejího působení i na hmotnosti pohybujícího se tělesa.