

tože naša Zem obieha okolo Slnka rýchlosťou, ktorej smer a hodnota sa pomerne málo menia, a pretože sa okolo svojej osi otáča aj pomerne malou uhlovou rýchlosťou, pri riešení mnohých mechanických úloh môžeme s dostatočnou presnosťou aj súradnicový systém viazaný na našu Zem pokladať za inerciálny.

Mnohé mechanické javy veľmi presvedčivo naznačujú platnosť zákona zotrvačnosti, ktorý však jednako bezprostredne experimentálne nemožno overiť, lebo 1. súradnicový systém viazaný na Zem nie je dokonale inerciálny a 2. podmienky pokusu nemožno voliť tak, aby na pozorované teleso iné telesá vôbec nepôsobili. Platnosť zákona zotrvačnosti potvrdzuje iba dokonalá zhoda dôsledkov so skutočnosťou, ktoré z neho vyplývajú. Stav pokoja telies vzhľadom na povrch zemský, ktorý pozorujeme denne na rôznych predmetoch, nie je podmienený tým, že na tieto telesá nepôsobia nijaké vonkajšie vplyvy, ale tým, že sa tieto vplyvy prakticky navzájom kompenzujú. Ostávajúce výsledné pôsobenie má za následok, že teleso sleduje pohyb príslušného miesta povrchu Zeme, pričom — ako už vieme — súradnicová sústava viazaná na zemský povrch nie je, presne vzaté, inerciálna. Na teleso, ktoré pokojne stojí na podlahe miestnosti, pôsobí príťažlivosť zemská, ale aj odpor podložky, ktorý vplyv zemskej príťažlivosti prakticky ruší.

Omnoho ľahšie než o platnosti zákona zotrvačnosti pre pohyb vzhľadom na vhodne zvolené teleso môžeme sa presvedčiť o jeho neplatnosti pre pohyb vzhľadom na telesá, ktoré vzhľadom na predošlé sú v nerovnomernom pohybe translačnom alebo sa otáčajú. Guľa spočívajúca na vodorovnej podlahe železničného vozňa sa rozbehne smerom k lokomotive, ak vlak znižuje svoju rýchlosť, a v smere opačnom, ak sa rýchlosť vlaku zväčšuje. Ak vlak zatáča vľavo, guľa odbehne vpravo.

2.2. Zákon sily. Newtonov zákon sily vo formulácii platnej pre hmotný bod hovorí: *Sila pôsobiaca na hmotný bod je úmerná súčine jeho hmotnosti a zrýchlenia, ktoré mu udeľuje.*

Touto vetou vyslovený obsah Newtonovho zákona sily vyžaduje bližšie objasnenie, pretože sa tu hovorí o sile a hmotnosti, fyzikálnych to veličinách, s ktorými sme sa ešte výslovne nezaoberali.

Z Newtonovho zákona zotrvačnosti vyplýva, že len pôsobenie iných telies môže zmeniť pohybový stav telesa pohybujúceho sa vzhľadom na inerciálnu súradnicovú sústavu určitou rýchlosťou. Na druhej strane aj v dennom živote hovoríme, že ak chceme zmeniť pohybový stav telesa, napríklad ak chceme uviesť teleso z pokoja do pohybu alebo zmeniť jeho rýchlosť, musíme na teleso pôsobiť silou, ktorú podľa svojich zmyslových vnemov pokladáme za tým väčšiu, čím rýchlejšie meníme rýchlosť, t. j. čím väčšie je silou vyvolá-

vané zrýchlenie. Preberajúc pojem sily z bežnej reči do svojich fyzikálnych úvah, nazývame vo fyzike silou pôsobiaca na dané teleso fyzikálnu veličinu vektorovej povahy, charakterizujúcu tie účinky iných telies, ktoré sa môžu prejaviť zmenou jeho pohybového stavu. Pritom *smer sily* stotožňujeme so smerom zrýchlenia, ktoré sila vyvoláva, a bod telesa, v ktorom sa silové účinky bezprostredne uplatňujú, nazývame *pôsobiskom sily*.

Zo skúsenosti vieme, že tie isté vplyvy (napríklad pôsobenie svalov človeka a živočíchov), ktoré za vhodných podmienok menia pohybový stav telies, pri pôsobení na tak nazvané pružné telesá menia aj ich tvar a rozmery, čiže — ako hovoríme — ich deformujú. Jednoduchý a veľmi názorný prípad silového pôsobenia dostaneme, ak si predstavíme, že tuhé teleso spočívajúce na dostatočne hladkej vodorovnej podložke uvádzame do translačného pohybu po tejto podložke pomocou pružného lanka (ocelovej špirály), upevneného vo vhodnom bode telesa tak, aby vznikol čistý translačný pohyb. Pri takýchto a podobných pokusoch sa presvedčame, že smer zrýchlenia geometrického stredu pravidelného telesa je rovnobežný so smerom lanka pripevneného na teleso, ako aj o tom, že pri rovnakom zväčšení dĺžky pružného lanka (ocelovej špirály) aj zrýchlenie udelené tomu istému telesu je rovnaké. Pružné lanko svojím smerom a predĺžením dovoľuje nám teda kontrolovať, a to oveľa presnejšie než naše svalové pocity, či v dvoch rôznych prípadoch sily pôsobiace na tuhé teleso sú rovnaké.

Po týchto prípravných úvahách majme teraz na mysli dve telesá, T_1 a T_2 , a pôsobme na ne postupne silami S_1 a S_2 (symboly S_1 a S_2 sú len „mená“ týchto síl, nie však ich hodnoty, pretože sme ešte nezaviedli predpis na meranie síl) tak, aby vznikol čistý translačný pohyb. Príslušné zrýchlenia nech majú absolútne hodnoty a_{ik} podľa tabuľky

	T_1	T_2
S_1	a_{11}	a_{22}
S_2	a_{21}	a_{22}

v ktorej napríklad zrýchlenie a_{12} je zrýchlenie udelené silou S_1 telesu T_2 . Konaním pokusov sa môžeme presvedčiť, že je splnená úmera

$$a_{11} : a_{21} = a_{12} : a_{22} \quad (1)$$

Táto úmera je vlastným obsahom Newtonovho zákona sily. Hovorí, že podiel absolútnych hodnôt zrýchlení, ktoré *dve rôzne sily* udeľujú *tomu istému telesu*, od zvoleného *telesa* nezávisí. Je preto prirodzené z dvoch síl pokladať napríklad druhú za násobok prvej sily podielom zrýchlení a_2 a a_1 , ktoré ony tomu istému telesu udeľujú, t. j. pre ich hodnoty F_2 a F_1 písať úmeru

$$F_2 : F_1 = a_2 : a_1$$

rovnocennú so vzorcom

$$F_2 = \frac{a_2}{a_1} F_1$$

Na meranie síl podľa práve opísaného spôsobu (*dynamické meranie síl*) treba už len zvoliť nejakú silu za jednotku sily. Ak zvolená jednotka sily, označíme ju F_1 , udeľuje nejakému telesu zrýchlenie a_1 a meraná sila udeľuje tomu istému telesu zrýchlenie a , je hodnota meranej sily F určená vzorcom

$$F = \frac{a}{a_1} F_1 \quad (2)$$

Úmeru (1) môžeme však upraviť na tvar

$$a_{11} : a_{12} = a_{21} : a_{22} \quad (3)$$

V tomto tvare písaný vzťah medzi zrýchleniami, ktoré udeľujú dve rôzne sily dvom rôznym telesám, vyjadruje, že podiel zrýchlení, ktoré teraz *tá istá sila* udeľuje dvom *rôznym telesám*, je od *sily* nezávislý.

Ak sa nejaké teleso za pôsobenia nejakej sily dostáva do pohybu, ktorý sa vyznačuje *veľkým zrýchlením*, hovoríme, že teleso má len malú *hmotnosť*. Ak toto zrýchlenie je *malé*, hovoríme, že teleso má veľkú *hmotnosť*. Hmotnosť telies (budeme ju značiť pomocou písmena m alebo M) je fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje jednu z najdôležitejších vlastností materiálnych telies, a podľa toho, čo sme práve povedali, charakterizuje odpor telies proti zmenám ich pohybového stavu.

S ohľadom na úmeru (3) pri meraní hmotností telies môžeme postupovať podobne ako pri meraní síl: hmotnosti telies môžeme pokladať za nepriamo úmerné zrýchleniam, ktoré im *tá istá sila* udeľuje, čiže ak nejaká sila dvom rozličným telesám udeľuje zrýchlenia a_1 a a_2 , môžeme písať pre ich hmotnosti úmeru

$$m_1 : m_2 = a_2 : a_1$$

z ktorej pre hmotnosť druhého telesa vyplýva

$$m_2 = \frac{a_1}{a_2} m_1$$

Ak sme teda už za realizáciu jednotky hmotnosti zvolili nejaké teleso, ktorému ľubovoľná sila udeľuje zrýchlenie a_1 a *tá istá sila* telesa s hľadanou hmotnosťou zrýchlenie a , je

$$m = \frac{a_1}{a} m_1 \quad (4)$$

kde m_1 je označenie zvolenej jednotky hmotnosti.

Vzorec (2) vyjadruje predpis na meranie síl pomocou ľubovoľne zvolenej jednotky sily, vzorec (4) predpis na meranie hmotností tiež pomocou ľubovoľne zvolenej jednotky hmotnosti a obidve merania sa zakladajú na Newtonovom zákone sily, vyjadrenom zatiaľ pomocou úmery (1), resp. (3).

Majme teraz na mysli ľubovoľné teleso o hmotnosti m , teleso predstavujúce jednotku hmotnosti m_1 a pôsobme na tieto telesá ľubovoľnou silou F a silou jednotkovou F_1 . Označenie príslušných zrýchlení nech vyjadruje tabuľka

$$\begin{array}{c|cc} & m & m_1 \\ \hline F & a & a_{*1} \\ F_1 & a_{1*} & a_{11} \end{array}$$

Ako už vieme, sú potom splnené vzťahy

$$F = \frac{F_1}{a_{1*}} a \quad (\text{a})$$

$$m = \frac{m_1 a_{*1}}{a} \quad (\text{b})$$

a

$$a : a_{1*} = a_{*1} : a_{11} \quad (\text{c})$$

Ak delíme rovnicu (a) rovnicou (b) a súčasne použijeme aj úmeru (c), dostaneme

$$\frac{F}{m} = \frac{F_1 a}{a_{1*}} \cdot \frac{a}{m_1 a_{*1}} = \frac{F_1}{m_1 a_{11}} a = ka$$

alebo

$$F = kma \quad (\text{5})$$

Pretože silu F a teleso s hmotnosťou m sme zvolili ľubovoľne, výsledok (5) má všeobecnú platnosť. Predstavuje iné vyjadrenie obsahu Newtonovho zákona sily a hovorí: Absolútna hodnota sily je úmerná súčinu hmotnosti telesa konajúceho translačný pohyb, na ktoré sila účinkuje, a absolútnej hodnoty zrýchlenia, ktoré mu sila udeľuje. Pripomenie, že vo vzťahu (5) vystupujúca sila pôsobí na teleso, ktoré je stále v translačnom pohybe, môžeme sa vyhnúť, ak toto teleso nahradíme hmotným bodom. Výsledok (5) môžeme teda vysloviť aj takto: Absolútna hodnota sily pôsobiacej na hmotný bod je úmerná súčinu jeho hmotnosti a absolútnej hodnoty zrýchlenia, ktoré mu sila udeľuje. Silu sme však zaviedli do svojich úvah ako vektor, ktorého smer je súhlasne rovnobežný so zrýchlením, ktoré vyvoláva. Newtonov zákon sily môžeme preto písať aj vo vektorovom tvare

$$F = kma \quad (\text{6})$$

2.3. Jednotky sily a hmotnosti. Už v úvode sme pripomenuli (él. 5), že hlavné jednotky odvodených fyzikálnych veličín v každej sústave jednotiek sú už dané ich definíciami a na tom istom mieste sme si uvedomili, že ak chceme, aby vo vzťahoch vyjadrujúcich fyzikálne zákony nevystupovali prebytočné konštanty úmernosti, nemôžeme ani pre všetky — podľa svojej povahy základné — veličiny voliť ich jednotky ľubovoľne. Ak teda chceme, aby vo vyjadrení Newtonovho zákona sily, danom vzorcom (2.2.6, t. j. vzorec 6 z časti 2.2), nevystupovala konštanta úmernosti k , môžeme to dosiahnuť napríklad tak, že za kvantitatívne vyjadrenie sily zvolíme priamo súčin $\mathbf{f} = m\mathbf{a}$, ktorému je sila úmerná, súčin hmotnosti telesa, na ktoré sila pôsobí, a zrýchlenia, ktoré mu udeľuje. Tým však sila, ktorá podľa svojho významu je fyzikálnou veličinou základnou, nadobúda charakter veličiny odvodenej a Newtonov zákon sily dostáva jednoduchší tvar

$$\mathbf{f} = m\mathbf{a} \quad (1)$$

Budeme ho používať v tomto tvare.

V sústave SI základnou jednotkou hmotnosti je 1 kg, hlavnou jednotkou zrýchlenia je 1 ms^{-2} . Hlavnou jednotkou sily je preto sila, ktorá telesu hmotnosti 1 kg udeľuje zrýchlenie 1 ms^{-2} ; nazýva sa newton (N). Rozmer sily je $[f] = \text{KMS}^{-2}$.

Zo vzorca (2.2.5) však vyplýva, že správny je aj vzťah

$$m = \frac{1}{k} \frac{F}{a} = k' \frac{F}{a}$$

Slovami: Hmotnosť telies je úmerná podielu absolútnej hodnoty sily, ktorá na teleso (hmotný bod) pôsobí, a absolútnej hodnoty zrýchlenia, ktoré mu sila udeľuje. Aby sme odstránili konštantu úmernosti k zo vzťahov (2.2.5) a (2.2.6), môžeme namiesto jednotky hmotnosti ľubovoľne zvoliť jednotku sily a hmotnosť telies vyjadrovať podielom $G = F/a$. Hlavnou jednotkou hmotnosti ako formálne odvodenej veličiny je potom hmotnosť telesa, ktorému zvolená jednotka sily udeľuje jednotkové zrýchlenie.

Okrem sústavy SI sa vo fyzike dnes ešte stále používajú aj rôzne trojjednotkové *gram-centimeter-sekundové sústavy* (sústavy CGS), v ktorých všetky elektrické a magnetické veličiny, teda aj elektrický prúd a elektrický náboj, majú odvodené jednotky. Vo všetkých CGS-sústavách ľubovoľne volenými jednotkami sú 1 cm = 0,01 m ako jednotka dĺžky, 1 g = 0,001 kg ako jednotka hmotnosti a 1 s ako jednotka času. Vo všetkých týchto sústavách základnou jednotkou sily je preto sila, ktorá telesu hmotnosti 1 g udeľuje zrýchlenie 1 cms^{-2} . Nazýva sa 1 dyn: