

ktorá má rovnakú hodnotu ako sila $\mathbf{f}_2$ a leží so silou $\mathbf{f}_2$ v tej istej priamke, má však opačný smer. Je teda vždy

$$\mathbf{f}_1 = -\mathbf{f}_2 \quad (1)$$

Vzťah (1) nevyjadruje však úplne obsah zákona akcie a reakcie, nevyjadruje, že sily $\mathbf{f}_1$ a $\mathbf{f}_2$ pôsobia v spoločnej priamke.

Aby sme aj túto okolnosť mohli vyjadriť nejakou rovnicou, zavedieme si už na tomto mieste pojem *momentu sily* vzhľadom na bod. Momentom sily $\mathbf{f}$, pôsobiacej v nejakom bode A , vzhľadom na bod O budeme nazývať vektorový súčin

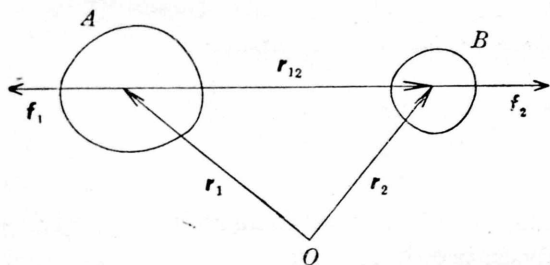
$$\mathbf{D} = \mathbf{r} \times \mathbf{f} \quad (2)$$

kde $\mathbf{r}$ je polohový vektor pôsobiska A sily $\mathbf{f}$ vzhľadom na bod O (obr. 2.2).

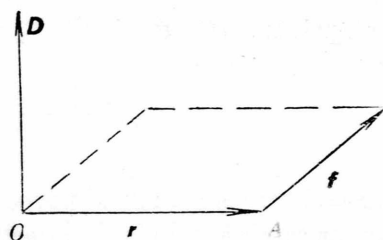
Pre súčet momentov síl $\mathbf{f}_2$ a $\mathbf{f}_1$, ktorými na seba pôsobia naše telesá A a B , vzhľadom na ľubovoľný bod dostávame

$$\mathbf{r}_1 \times \mathbf{f}_1 + \mathbf{r}_2 \times \mathbf{f}_2 = -\mathbf{r}_1 \times \mathbf{f}_2 + \mathbf{r}_2 \times \mathbf{f}_2 = (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1) \times \mathbf{f}_2 = 0$$

lebo vektor $\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_{12}$ je so silou $\mathbf{f}_2$ rovnobežný.



Obr. 2.1



Obr. 2.2

Sily akcie a reakcie okrem vzťahu (1) spĺňajú teda aj rovnicu $\mathbf{r}_1 \times \mathbf{f}_1 = -\mathbf{r}_2 \times \mathbf{f}_2$, alebo ak tieto momenty označíme $\mathbf{D}_1$ a $\mathbf{D}_2$, rovnicu

$$\mathbf{D}_1 = -\mathbf{D}_2 \quad (3)$$

ktorá vyjadruje, že sily $\mathbf{f}_1$ a $\mathbf{f}_2$ účinkujú v jednej priamke.

2.5. Skladanie síl pôsobiacich v jednom bode. Newtonov zákon sily ani v tvare $\mathbf{f} = m\mathbf{a}$ nehovorí, že sa sila pôsobiaca na hmotný bod rovná súčinnu jeho hmotnosti a zrýchlenia, ktorým sa pohyb hmotného bodu za pôsobenia sily

vyznačuje, ale že sa rovná súčinnu hmotnosti hmotného bodu a zrýchlenia, ktoré mu sila udeľuje. Ak teda chceme, aby symbol $\mathbf{a}$ značil zrýchlenie za pôsobenia sily, musíme písať Newtonov zákon sily v tvare

$$\mathbf{f} = m(\mathbf{a} - \mathbf{a}_0) \quad (1)$$

kde $\mathbf{a}_0$ je zrýchlenie bez pôsobenia sily $\mathbf{f}$, ktoré sa nerovná nule napríklad preto, že okrem sily $\mathbf{f}$ účinkujú na hmotný bod ešte iné sily, alebo preto, lebo pohyb bodu nevzťahujeme na inerciálny systém. Vzťah (1) môžeme písať aj takto

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \frac{\mathbf{f}}{m} \quad (a)$$

Predstavme si, že nejaký hmotný bod hmotnosti m z nejakých, nám neznámych príčin pohybuje sa vzhľadom na nejakú ľubovoľne zvolenú súradnicovú sústavu so zrýchlením $\mathbf{a}_0$. Podľa toho, čo bolo práve povedané, ak na hmotný bod začne účinkovať aj sila $\mathbf{f}_1$, bude zrýchlenie pohybujúceho sa hmotného bodu

$$\mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_0 + \frac{\mathbf{f}_1}{m}$$

a ak pridáme ešte ďalšie sily $\mathbf{f}_2$, $\mathbf{f}_3$ až $\mathbf{f}_n$, bude toto zrýchlenie

$$\mathbf{a}_n = \mathbf{a}_0 + \frac{\mathbf{f}_1}{m} + \frac{\mathbf{f}_2}{m} + \dots + \frac{\mathbf{f}_n}{m} = \mathbf{a}_0 + \frac{\Sigma \mathbf{f}_i}{m} \quad (b)$$

Sila, ktorá sama zmení pôvodné zrýchlenie $\mathbf{a}_0$ na zrýchlenie $\mathbf{a}_n$ a ktorej účinkov na priebeh pohybu hmotného bodu je teda totožný so spoločným účinkom všetkých síl $\mathbf{f}_1$, $\mathbf{f}_2$ až $\mathbf{f}_n$ (a na poradí ich pridávania zrejme nezáleží), nazýva sa ich *výslednicou (rezultantou)*, *sily* $\mathbf{f}_i$ jej *zložkami (komponentami)*. Podľa svojej definície výslednica $\mathbf{f}_r$ síl $\mathbf{f}_i$ spĺňa teda rovnicu

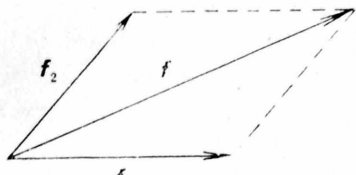
$$\mathbf{a}_n = \mathbf{a}_0 + \frac{\mathbf{f}_r}{m} \quad (c)$$

Z porovnania rovníc (b) a (c) dostávame veľmi dôležitý výsledok

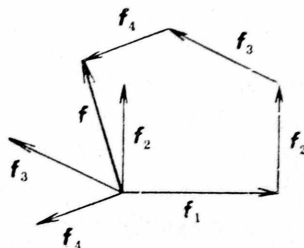
$$\mathbf{f}_r = \Sigma \mathbf{f}_i \quad (2)$$

slovami: *Výslednica síl pôsobiacich na hmotný bod sa rovná ich súčtu (ako vektorov).*

Výsledok (2) sa v niektorých príručkách fyziky pokladá za základný fyzikálny zákon (axióm silového rovnobežníka). V skutočnosti, ako sme sa presvedčili, je to dôsledok nezávislosti silového pôsobenia, čo je však už vyjadrené samotným Newtonovým zákonom sily.

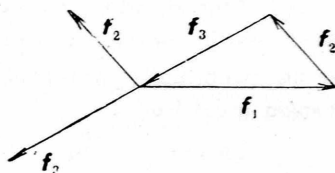


Obr. 2.3



Obr. 2.4

Obr. 2.3 znázorňuje grafickú konštrukciu výslednice dvoch síl pomocou silového rovnobežníka, obr. 2.4 konštrukciu výslednice väčšieho počtu síl pomocou silového mnohoúhelníka. Na obr. 2.5 sú znázornené sily, ktorých výslednica sa rovná nule. Ich silový mnohoúhelník je uzavretý. Výslednica dvoch síl sa teda rovná nule, len ak obidve sily majú rovnaké absolútne hodnoty a opačné smery, čiže ak je $\mathbf{f}_2 = -\mathbf{f}_1$. Výslednica troch síl, ktorých priamky neležia v jednej rovine, sa nikdy nerovná nule.



Obr. 2.5

Práve tak ako niekoľko síl pôsobiacich na hmotný bod môžeme nahradiť jedinou silou, ich výslednicou, môžeme danú silu nahradiť väčším počtom síl, jej zložkami. Ich vektorový súčet sa rovná danej sile. Pri riešení mnohých úloh často rozkladáme sily na dve alebo tri ich zložky, napríklad rovnobežné s osami zvoleného súradnicového systému.

Vzťah (b) možno upraviť na tvar

$$\Sigma \mathbf{f}_i = m(\mathbf{a} - \mathbf{a}_0) \quad (3)$$

Keď v ňom $\Sigma \mathbf{f}_i$ znamená súčet všetkých na hmotný bod pôsobiacich síl, $\mathbf{a}_0$ je zrýchlenie pohybu hmotného bodu vzhľadom na zvolený súradnicový systém, ak na hmotný bod neúčinkuje nijaká sila. Keď sa pohyb vzťahuje na inerciálny systém, je stále $\mathbf{a}_0 = \mathbf{0}$ a rovnica (3) sa zjednoduší na tvar

$$\Sigma \mathbf{f}_i = m\mathbf{a} \quad (4)$$

Ak teda chceme, aby v rovnici (4) zrýchlenie $\mathbf{a}$ bolo zrýchlenie nie silami vyvolané, ale skutočné zrýchlenie pohybu hmotného bodu, musíme vzťahovať

pohyb na inerciálnu súradnicovú sústavu. Inakšie pri riešení úloh mechaniky treba vychádzať z rovnice

$$\Sigma \mathbf{f}_i = m(\mathbf{a} - \mathbf{a}_0) \quad (5)$$

O určitej možnosti zachovania platnosti rovnice (4) aj v prípade neinerciálnych súradnicových sústav sa poučíme v čl. 2.15.

2.6. Podmienky rovnováhy hmotného bodu. Hovoríme, že hmotný bod je vzhľadom na nejaké teleso (súradnicový systém) v rovnováhe, ak sa jeho poloha vzhľadom na toto teleso s časom nemení. Jeho rýchlosť a zrýchlenie vzhľadom na toto teleso sú potom nulové: $\mathbf{v} = \mathbf{0}$ a $\mathbf{a} = \mathbf{0}$.

Ak súradnicový systém viazaný na toto teleso je inerciálny, podľa vzťahu (2.5.4) aj výslednica síl pôsobiacich na hmotný bod sa za rovnováhy rovná nule. Podmienkou rovnováhy hmotného bodu vzhľadom na inerciálny súradnicový systém teda je, aby sa výslednica síl pôsobiacich na hmotný bod rovnala nule, čiže aby bola splnená rovnica

$$\Sigma \mathbf{f}_i = \mathbf{0} \quad (1)$$

Keď však súradnicový systém, vzhľadom na ktorý polohu bodu máme na mysli, nie je inerciálny, z podmienky $\mathbf{a} = \mathbf{0}$ a zo vzťahu (5 čl. 2.5.) dostávame, že za rovnováhy hmotného bodu vzhľadom na neinerciálny súradnicový systém musí byť

$$\Sigma \mathbf{f}_i = -m\mathbf{a}_0 \quad (2)$$

Ak teda chceme udržať hmotný bod v rovnováhe vzhľadom na neinerciálny súradnicový systém, musíme na hmotný bod pôsobiť silou vo všeobecnosti rôznou od nuly. Táto sila je potrebná, aby hmotný bod sledoval pohyb neinerciálneho súradnicového systému, ktorého jednotlivé body sa vo všeobecnosti pohybujú s nenulovými zrýchleniami vzhľadom na inerciálny súradnicový systém.

Osvetlíme si vec pomocou dvoch jednoduchých príkladov. Ako sme už pripomenuli (čl. 2.1), súradnicový systém viazaný na našu Zem možno prakticky pokladať za inerciálny. Predstavme si najprv, že po vodorovnej priamej trati sa pohybuje vlak konštantnou rýchlosťou. Súradnicový systém viazaný na železničný vozeň je potom tiež prakticky inerciálny, a ak na podlahu vozňa položíme nejakú guľu, ona ostane na svojom mieste, čo súhlasí s výsledkom (1), lebo na guľu okrem jej váhy pôsobí aj reakcia jej podložky, sila rovnako veľká, avšak opačného smeru.

Predstavme si teraz, že vlak zväčšuje svoju rýchlosť, takže zrýchlenie jeho pohybu je $\mathbf{a}$. Keby na guľu, ktorú sme položili na podlahu vozňa, ani v tomto