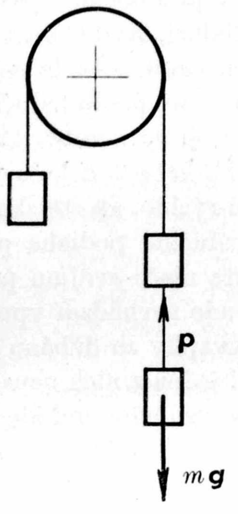
Napriek tomu, že rovnica (2), ktorá je matematickým vyjadrením d'Alembertovho princípu, nepredstavuje nový fyzikálny zákon, presvedčíme sa na niekoľkých príkladoch, že uľahčuje riešenie niektorých fyzikálnych úloh.

Príklad 1. Na ľavom konci nite v zariadení podľa *obr. 2.8* visí závažie s hmotnosťou m a na pravom konci dve závažia, z ktorých každé má hmotnosť m. Treba vypočítať silu, ktorou je napínaná niť, nesúca dolné pravé závažie, keď sme koleso zanedbateľnej hmotnosti pustili.

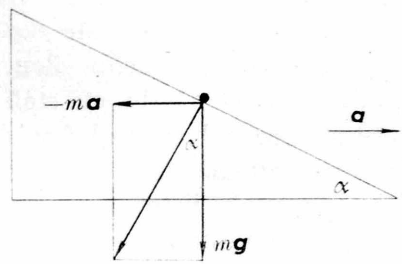
Pred uvoľnením kolesa dolné závažie napínalo niť svojou tiažou $m\mathbf{g}$, takže sila, ktorou niť pôsobila na závažie, bola $\mathbf{F}_0 = -m\mathbf{g}$. Po uvoľnení kolesa musela sa táto sila zmenšiť na $\mathbf{F}$, pretože ináč by závažie neklesalo. Keďže závažie s hmotnosťou m svojou tiažou uvádza do zrýchleného pohybu telesá s celkovou hmotnosťou $3m$, jeho zrýchlenie $\mathbf{a} = \mathbf{g}/3$ a d'Alembertov princíp určujú pre silu $\mathbf{F}$ rovnicu

$$m\mathbf{g} + \mathbf{F} - \frac{m\mathbf{g}}{3} = 0$$

takže $\mathbf{F} = \dfrac{2}{3}\, m\mathbf{g}$.



Obr. 2.8



Obr. 2.9

Príklad 2. Treba vypočítať zrýchlenie $\mathbf{a}$ naklonenej roviny vo vodorovnom smere, pri ktorom na nej sa nachádzajúca guľôčka *(obr. 2.9)* je práve v rovnováhe, keď uhol sklonu roviny je α.

Podmienkou je zrejme, aby výslednica tiaže guľôčky $m\mathbf{g}$ a zotrvačnej sily $-m\mathbf{a}$ bola na naklonenú rovinu kolmá. Vyplýva z nej

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{ma}{mg} \qquad \text{alebo} \qquad a = g \operatorname{tg} \alpha.$$

2.8. Mechanický princíp relativity. Ako sme sa presvedčili, vzťah (2.5.4) $\mathbf{f} = m\mathbf{a}$, v ktorom $\mathbf{f}$ je výslednica všetkých síl pôsobiacich na hmotný bod a $\mathbf{a}$ zrýchlenie jeho pohybu, je splnený vzhľadom na všetky inerciálne súradnicové sústavy. Z tohto vzťahu pri daných začiatočných podmienkach jednoznačne vyplýva priebeh pohybu hmotného bodu a — ako neskoršie uvidíme — aj telies konečných rozmerov. To však znamená, že pri rovnakých podmienkach sa mechanické deje rovnako odohrávajú vo všetkých inerciálnych sústavách.

Keď sme v železničnom vozni, ktorý sa pohybuje rovnomerne a priamočiaro, a chceme udeliť nejakému telesu určité zrýchlenie vzhľadom na vozeň za predpokladu, že hmotnosť vlaku je veľká, musíme účinkovať na teleso rovnakou silou, aká by bola potrebná, keby sa vozeň nepohyboval. Alebo ak cestujúci nachádzajúci sa v železničnom, takto sa pohybujúcom vozni pustí z ruky nejaký predmet, padá tento predmet zvisle dolu a koná presne taký pohyb vzhľadom na železničný vozeň, aký koná vzhľadom na zem teleso pustené z ruky osobou, ktorá stojí vedľa železničnej trate.

Prvý, čo si jasne uvedomil, že nemožno mechanickými pokusmi vykonanými vo vnútri inerciálnej sústavy zistiť rovnomerný a priamočiary pohyb tejto sústavy vzhľadom na inú takútu sústavu, bol už Galilei. Keď Galilei študoval r. 1632 mechanické deje v uzavretej kabíne lode, napísal: „Ak je pohyb lode rovnomerný, nepozorujete nijaké zmeny na javoch, a ani podľa jedného z nich nebudete môcť súdiť, či sa loď pohybuje, alebo či stojí na mieste. Ak skočíte, doskočíte do rovnakej vzdialenosti na podlahe, ako keby loď bola v pokoji, t. j. neskočíte ďalej, pretože sa loď pohybuje veľmi rýchlo, ak ste skočili proti smeru pohybu lode, hoci kým sa vznášate vo vzduchu, podlaha pod vami uteká v opačnom smere, než ste skočili. Ak hodíte niečo svojmu priateľovi, nebudete musieť hádzať väčšou silou, keď sa on bude nachádzať vpredu a vy vzadu, než v prípade, že by ste stáli obrátene. Kvapky zo džbánu s vodou, ktorý visí pri strope, budú padať zvisle dolu, a ani jedna z nich nepadne smerom k zadnej časti lode, hoci zatiaľ čo je kvapka vo vzduchu, loď ide dopredu. Muchy budú rovnako lietať na všetky strany, a nestane sa, že by sa — akoby boli unavené sledovaním rýchleho pohybu lode — nahromadili pri stene bližšej k zadnej časti lode."

Celkove možno povedať: Nijakými mechanickými pokusmi vykonanými vo vnútri sústavy nemožno rozhodnúť, či je inerciálna súradnicová sústava v pokoji, alebo či sa pohybuje rovnomerne a priamočiaro vzhľadom na nejakú inú. Nielen zo stanoviska kinematického, ale aj zo stanoviska dynamického sú teda všetky inerciálne sústavy úplne rovnocenné. Každú z nich možno s rovnakým oprávnením vyhlásiť za nehybnú a vzťahovať na ňu pohyb ostatných inerciálnych sústav. Rovnomerný a priamočiary translačný pohyb telesa s ohľadom na mechanické deje má teda význam len relatívny.

To je obsah tzv. *mechanického princípu relativity* alebo Galileovho princípu relativity.

Einsteinova špeciálna teória relativity zovšeobecňuje tento výsledok a tvrdí, že nijakými pokusmi vykonanými vo vnútri sústavy, teda ani elektrickými a optickými, ani akýmikoľvek inými, nemožno zistiť *rovnomerný* a *priamočiary* pohyb inerciálnej sústavy.

V ďalších svojich úvahách, pokiaľ výslovne nepripomenieme opak, budeme mať na mysli vždy pohyb hmotných bodov a telies vzhľadom na inerciálny súradnicový systém, akým je prakticky aj súradnicový systém viazaný na našu Zem.

2.9. Impulz sily a hybnosť. Impulz, budeme ho označovať I, konštantnej sily $\boldsymbol{f}$ je definovaný vo fyzike ako súčin sily a času t, za ktorý sila účinkovala, teda $\boldsymbol{I} = \boldsymbol{f}t$. Pre prípad, že sa sila s časom mení, zovšeobecňujeme definíciu impulzu sily vzorcom

$$\boldsymbol{I} = \int_0^t \boldsymbol{f}\,\mathrm{d}t$$

Impulz sily je teda vektor, ktorý v prípade konštantnej sily je so silou súhlasne rovnobežný.

Impulz sily sa volá aj jej *časovým účinkom.*

Vyjadríme impulz sily $\boldsymbol{f}$, pôsobiacej na voľný hmotný bod hmotnosti m, pomocou zmeny jeho pohybového stavu. Dostávame:

$$\boldsymbol{I} = \int_0^t \boldsymbol{f}\,\mathrm{d}t = \int_0^t m\boldsymbol{a}\,\mathrm{d}t = \int_0^t m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t = m\int_{\boldsymbol{v}_0}^{\boldsymbol{v}}\mathrm{d}\boldsymbol{v} = m(\boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_0) \qquad (1)$$

Súčin hmotnosti hmotného bodu a jeho rýchlosti nazýva sa vo fyzike jeho *hybnosťou,* ktorú budeme značiť $\boldsymbol{H}$, teda $\boldsymbol{H} = m\boldsymbol{v}$. Použitím hybnosti výsledok (1) môžeme písať aj takto

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{H} - \boldsymbol{H}_0 \qquad (2)$$

Impulz na voľný hmotný bod pôsobiacej sily rovná sa zväčšeniu jeho hybnosti. Výsledok (1) môžeme však písať aj v diferenciálnom tvare

$$\boldsymbol{f}\,\mathrm{d}t = m\boldsymbol{a}\,\mathrm{d}t = m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\,\mathrm{d}t = m\,\mathrm{d}\boldsymbol{v} = \mathrm{d}\boldsymbol{H}$$

alebo

$$\boldsymbol{f} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{H}}{\mathrm{d}t} \qquad (3)$$

Sila pôsobiaca na voľný hmotný bod sa rovná derivácii jeho hybnosti podľa času.

Základnou jednotkou impulzu sily v sústave SI je impulz konštantnej sily s absolútnou hodnotou 1 newton, ktorej účinok trval 1 sekundu, základnou jednotkou hybnosti je hybnosť translačne sa pohybujúceho telesa hmotnosti 1 kg pri rýchlosti 1 m/s. Spoločný rozmer impulzu a hybnosti je v tejto sústave $[\mathrm{I}] = [\mathrm{H}] = \mathrm{KMS}^{-1}$.