$$A=\int dA=\int_{R_M}^{\infty}\gamma\frac{mM_M}{r^2}\,dr=-\gamma\frac{mM_M}{r}\Big|_{R_M}^{\infty}=\gamma\frac{mM_M}{R_M}. \tag{50.2}$$

Võttes raskusjõu võrdseks Maa külgetõmbejõuga, saame kirjutada

$$mg=\gamma\frac{mM_M}{R_M^2}$$

ning siit

$$\gamma\frac{mM_M}{R_M}=mgR_M.$$

Nii saame töö (50.2) avaldada kujul

$$A=mgR_M. \tag{50.3}$$

Et ületada Maa külgetõmbejõudu ja väljuda selle mõjupiirkonnast, peab keha energiast piisama valemiga (50.3) määratud töö sooritamiseks. Vajalik minimaalne kiirus v_2 kannab teise kosmilise kiiruse nimetust. Selle kiiruse määrab tingimus

$$\frac{mv_2^2}{2}=mgR_M,$$

kust

$$v_2=\sqrt{2gR_M}. \tag{50.4}$$

Võrreldes valemeid (50.4) ja (50.1), näeme, et teine kosmiline kiirus on $\sqrt{2}$ korda suurem kui esimene. Korrutades 8 km/s $\sqrt{2}$-ga, saame v_2 jaoks väärtuse 11 km/s.

Kosmilised kiirused saavutati kõige esmalt Nõukogude Liidus. 4. oktoobril 1957 saadeti Nõukogude Liidus välja esimene Maa tehiskaaslane inimkonna ajaloos. 2. jaanuaril 1959 ületati ka teine piir: sellel päeval alustas Nõukogudemaalt oma teekonda kosmoserakett, mis väljus Maa külgetõmbe mõjupiirkonnast ning sai esimeseks tehisplaneediks Päikesesüsteemis. 12. aprillil 1961 lendas kosmosesse esimene inimene: nõukogude kosmonaut Juri Gagarin tegi tiiru ümber Maa ning maandus õnnelikult.

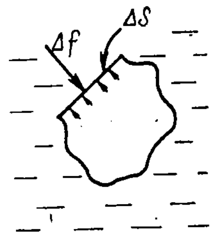
Seitsmes peatükk

GAASIDE JA VEDELIKE STAATIKA

Mehaanika osad, milles tegeldakse vedelike ja gaaside uurimisega, kannavad nimetust hüdromehaanika ja aeromehaanika. Need omakorda jagunevad hüdro- ja aerostaatikaks, kus uuritakse vedelike ja gaaside tasakaalu, ning hüdro- ja aerodünaamikaks, mis uurivad vedelike ja gaaside liikumist. Käesolevas peatükis vaadeldakse staatikat.

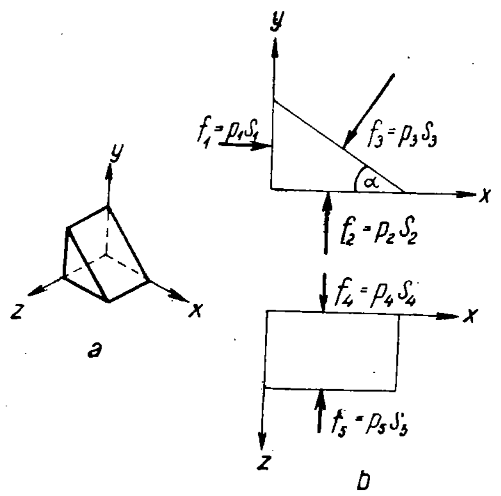
§ 51. RÕHK

Vedelatele ja gaasilistele kehadele on iseloomulik see, et nad ei avalda vastupanu nihkele, seepärast muutub nende kuju kui tahes väikeste jõudude mõjul. Vedeliku või gaasi ruumala muutmiseks aga peab neile rakendama lõplikke välisjõudusid. Ruumala muutudes tekivad vedelikus või gaasis elastsusjõud, mis lõpptulemusena tasakaalustavad välisjõudude mõju. Vedelike ja gaaside elastsusomadused avalduvad selles, et nende osade vahel, aga samuti nendega kokkupuutes olevatele kehadele mõjuvad jõud, mille suurus sõltub vedeliku või gaasi kokkusurumise astmest. Selle mõju iseloomustamiseks kasutatavat suurust nimetatakse rõhuks.



Joon. 134

Vaatleme tasakaalus olevat vedelikku. Tasakaal tähendab seda, et vedeliku osad ei liigu üksteise suhtes ega ka vedelikuga kokkupuutes olevate kehade suhtes. Kujutleme vedelikus pinnatükikest ΔS (joon. 134), mille ulatuses kokkupuutuvad vedelikuosad mõjutavad teineteist võrdvastupidiste jõududega. Nende jõudude iseloomu väljaselgitamiseks eemaldame mõttes vedeliku ühelt poolt seda pinnatükikest ning asendame eemaldatud vedeliku mõju niisuguste jõududega, et ülejäänud vedelikuosade tasakaal säiliks. Need jõud peavad olema ΔS normaali suunalised, sest vastasel juhul tekitaks nende tangentsiaalkomponent vedeliku liikumise ning tasakaal oleks rikutud. Järelikult peab pinnatükikesele ΔS mõjuvate jõudude resultant Δf mõjuma selle normaali suunas. Pindalaühiku kohta tuleva jõu Δf väärtus määrab rõhu



Joon. 135

vedelikus. Seega rõhk p avaldub valemiga

$$p=\frac{\Delta f}{\Delta S}. \tag{51.1}$$

Kui jõud, millega vedelik mõjub pinnatükikesele ΔS, on jaotunud ebaühtlaselt, määrab valem (51.1) rõhu keskmise väärtuse. Rõhu määramiseks antud punktis tuleb võtta suhte $\frac{\Delta f}{\Delta S}$ piirväärtus ΔS lähenedes nullile:

$$p=\lim_{\Delta S\to 0}\frac{\Delta f}{\Delta S}=\frac{df}{dS}. \tag{51.2}$$

Analoogiliselt määratakse ka rõhk gaasis.

Rõhk on skalaarne suurus, sest tema väärtus vedeliku (või gaasi) antud punktis ei sõltu pinnatükikese ΔS orientatsioonist. Selle väite tõestamiseks kasutame nõndanimetatud tahkestamise printsiipi, mille kohaselt võib tasakaalutingimusi rikkumata asendada vedeliku mistahes ruumala tiheduse poolest vedelikuga võrdse tahke kehaga.

Eraldame vaadeldava punkti ümber mõttes kolmetahulise prisma kujulise tahkestatud vedeliku osa, mis on kujutatud ruumiliselt joonisel 135, *a* ning kahes projektsioonis joonisel 135, *b*. Prisma igale tahule mõjub selle tahu normaali suunaline pindjõud, mis on võrdne rõhu ja tahu pindala korrutisega. Peale selle mõjub prismale ruumjõud, mis võrdub prisma kaaluga. Kuna

pind on võrdeline lineaarmõõtmete ruudu, ruumala aga kuubiga, siis prisma mõõtmete vähenedes kahaneb ruumjõud palju kiiremini kui pindjõud. Võttes arvesse, et lõpuks läheme üle piirile, s. o. lähendame ruumala nullile, võib ruumjõu jätta algusest peale kõrvale. Tasakaalutingimus kõlab siis nii: pindjõudude summa peab olema null. Projitseerides telgedele x, y ja z (joon. 135, *b*), saame tasakaalutingimuse kirjutada järgmisel viisil:

$$p_1S_1=p_3S_3\sin\alpha,\quad p_2S_2=p_3S_3\cos\alpha,\quad p_4S_4=p_5S_5. \tag{51.3}$$

Nagu näha jooniselt 135, *b*, on prisma tahkude pindalad seotud alljärgnevalt:

$$S_1=S_3\sin\alpha,\quad S_2=S_3\cos\alpha,\quad S_4=S_5.$$

See võimaldab kirjutada valemid (51.3) uuel kujul:

$$p_1=p_2=p_3,\quad p_4=p_5. \tag{51.4}$$

Minnes üle piirile, mille tulemusena väljaeraldatud ruumala tõmbub punktiks, võib lugeda, et rõhud p_1, p_2, p_3 jne. mõjuvad vedeliku ühes ja samas punktis.

Kuna prisma orientatsioon ruumis ning nurk α olid suvalised, siis avaldisest (51.4) järeldub, et rõhk ei sõltu pinnatükikese orientatsioonist, seda aga oligi vaja tõestada.

Esimesel pilgul võib tunduda imelikuna, et rõhk, olles võrdeline vektorilise suurusega (jõuga), on ise skalaarne suurus. Kuid tuleb silmas pidada, et pinnatükikest ΔS võib vaadelda samuti vektorina, mille suund ühtib selle pinnatüki normaaliga, seega pinnatükile mõjuva jõu suunaga. Järelikult on rõhk kahe kollineaarse vektori $\Delta\mathbf{f}$ ja $\Delta\mathbf{S}$ suhe, niisugune suurus aga on teatavasti skalaar.

Rõhuühikutena on kasutusel:

1) SI ühik N/m² (paskal Pa);
2) CGS-süsteemi ühik dyn/cm².

Peale nende kasutatakse veel süsteemiväliseid ühikuid:

1) tehnilist atmosfääri 1 at = 1 kG/cm²;
2) füüsikalist ehk normaalatmosfääri 1 atm, mis on 760 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhk.

Füüsikas mõõdetakse rõhku sageli elavhõbedasamba millimeetrites.

Rõhuühikute vahel on järgmised arvulised suhted:

$1\ \text{mm Hg}=0{,}001\text{m}\cdot 13{,}6\cdot 10^3\ \text{kg/m}^3\cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2=133\ \text{N/m}^2;$

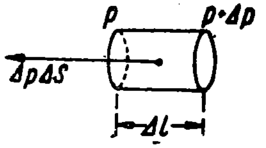
$1\ \text{atm}=760\cdot 133\ \text{N/m}^2=1{,}01\cdot 10^5\ \text{N/m}^2;$

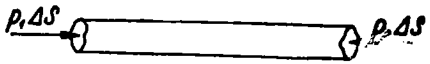
$$1\ \text{at}=\frac{9{,}81\ \text{N}}{10^{-4}\ \text{m}^2}=0{,}981\cdot 10^5\ \text{N/m}^2;$$

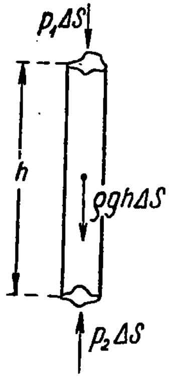
$1\ \text{atm}=1{,}033\ \text{at}.$

§ 52. RÕHU JAOTUS SEISVAS VEDELIKUS JA GAASIS

Kui vedelikus (või gaasis) poleks ruumjõudusid, siis oleks tasakaalutingimuseks rõhu võrdsus kogu ruumala ulatuses (Pascali seadus). Tõepoolest, eraldame mõttes vedeliku sees suvaliselt orienteeritud silindrilise ruumala, mille kõrgus on Δl ning põhjapindala ΔS (joon. 136). Kui punktides, mille vahemaa on Δl, rõhk erineks Δp võrra, siis peaks piki silindrikese telge mõjuma jõud $\Delta p \Delta S$, mistõttu vedelik hakkaks liikuma, seega oleks tasakaal rikutud. Järelikult peab ruumjõudude puudumisel tasakaalus oleva vedeliku igas punktis olema rahuldatud tingimus $\frac{\Delta p}{\Delta l}=0$, kust järeldub, et $p=\mathrm{const}$.







↖ Joon. 136

Joon. 137 ↑

← Joon. 138

Vaatleme rõhu jaotust ruumjõudude olemasolul. Eraldame mõttes vedeliku sees tahkestatud osa — horisontaalselt asetseva silindri väikese ristlõikega ΔS (joon. 137). Et ruumjõud on suunatud vertikaalselt, siis silindrikese telje suunas mõjuvad ainult jõud $p_1\Delta S$ ja $p_2\Delta S$. Tasakaalutingimusest järeldub, et $p_1=p_2$; tähendab, samal nivool, s. o. samas horisontaalpinnas asuvates vedeliku punktides on rõhk ühesugune.

Nüüd eraldame tahkestatud osa vertikaalselt paikneva silindrikese kujul (joon. 138). Sel juhul mõjub silindri telje sihis peale rõhumisjõudude veel ruumjõud $\varrho gh\Delta S$ (ϱ on vedeliku tihedus, h — silindrikese kõrgus) ning tasakaalutingimus avaldub võrrandina

$$p_2\Delta S=p_1\Delta S+\varrho gh\Delta S.$$

Jaganud võrrandi kõik liikmed ΔS-ga, saame

$$p_2=p_1+\varrho gh. \tag{52.1}$$

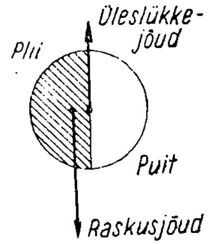
Seega on rõhkude vahe kahel eri nivool arvuliselt võrdne nende nivoode vahele jääva ühikulise ristlõikega vertikaalse vedelikusamba kaaluga.

§ 53. ÜLESLÜKKEJÕUD

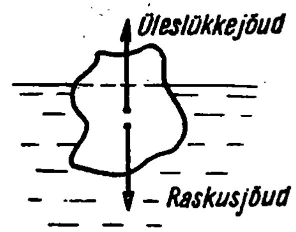
Sellest, et rõhk eri nivoodel pole ühesugune, on tingitud vedelikku või gaasi asetatud kehadele mõjuv üleslükke- ehk Archimedese jõud. Üleslükkejõu suuruse ja suuna määramiseks asendame keha tahkestatud vedeliku või gaasiga. Et see tahkestatud osa jääb tasakaalu, siis peab sellele mõjuva raskusjõu tasakaalustama tema pinnale mõjuvate rõhumisjõudude resultant. Samasugused pindjõud mõjuvad ka kehale endale ning nende resultant annabki üleslükkejõu.

Öeldust järeldub, et üleslükkejõud on võrdne vedeliku kaaluga keha ruumala ulatuses ning mõjub vertikaalselt üles. Tahkestatud vedelikuosa jääb tasakaalu suvalise orientatsiooni korral (ükskõikne tasakaal). Järelikult ühtib üleslükkejõu rakenduspunkt keha ruumala raskuskeskmega. Keha oma raskuskese ühtib ruumala raskuskeskmega ainult sel juhul, kui keha tihedus on kõikides punktides ühesugune, muidu nad ei pea ühtima. Vaatleme näitena kera, mille üks pool on pliist, teine puidust (joon. 139). Üleslükkejõud on sel juhul rakendatud kera tsentris, kera oma raskuskese aga nihkunud tsentrist plii poole.

Kui keha keskmine tihedus on väiksem kui vedelikul, sukeldub keha ainult osaliselt. Seejuures peavad keha raskuskeskmes rakendatud raskusjõud ja sukeldunud kehaosa raskuskeskmes rakendatud üleslükkejõud olema võrdsed ning mõjuma mööda sama sirget (joon. 140), vastasel juhul tekiks pöördemoment ja tasakaal oleks rikutud.



Joon. 139



Joon. 140