strojarstvo i kemijsku industriju). U 1976. proizvodnja elektrografita može se procijeniti otprilike na 600kt.

LIT.: *Е. Ф. Чалых*, Производство электродов, Металлургиздат, Москва, Ленинград 1954. — Proceedings of the first to eleventh carbon conferences, Pergamon Press, Oxford 1956-1974. — *А. С. Фиалков*, Технология и оборудование электроугольного производства, Госэнергоиздат, Москва, Ленинград 1958. — *A. R. Ubbelohde, F. R. S.*, Graphite and its crystal compounds, University Press, Oxford 1960. — *П. С. Лившиц*, Щетки для электрических машин, Госэнергоиздат, Москва, Ленинград 1961. — Carbon, An International Journal, vol. 1-14, Pergamon Press, Oxford, Paris, New York, Frankfurt 1963-1976. — *В. Н. Крылов и Ю. Н. Вилк*, Углеграфитовые материалы, Издательство Химия, Москва, Ленинград 1965. — *P. J. Walker*, Chemistry and physics of carbons, vol. 4, Editions Marcel Dekker, New York 1968. — *C. L. Mantell*, Carbon and graphite handbook, Interscience Publishers, John Wiley and Sons, New York 1968. — Gmelin's Handbuch der anorganischen Chemie, Kohlenstoff, Weinheim/Bergstr. 1968. — *L. C. P. Blackmann*, Modern aspects of graphite technology, Academie Press, Oxford 1970.

M. Kršul

GRAVIMETRIJA, mjerenje Zemljinog gravitacijskog polja, sile teže ili njenog ubrzanja (gravitacije) (v. *Gravitacija*).

Sila teže je rezultanta privlačne sile svih Zemljinih masa i centrifugalne sile. Privlačna sila na jediničnu masu na površini Zemlje (Newtonov zakon gravitacije) jest

$$F = k\frac{M}{R^2}, \tag{1}$$

a centrifugalna sila

$$C = r\omega^2, \tag{2}$$

gdje je k Newtonova konstanta gravitacije, koja iznosi $(6{,}672 \pm \pm 0{,}0041) \cdot 10^{-11}\,\mathrm{N\,m^2\,kg^{-2}}$, M masa Zemlje, R njezin polumjer, r udaljenost od osi rotacije, a ω kutna brzina rotacije Zemlje.

Privlačna sila ima najveću vrijednost na polovima a najmanju na ekvatoru. Centrifugalna je sila najveća na ekvatoru a na polovima jest nula. Često se u primijenjenoj gravimetriji zanemaruje centrifugalna sila C, pa se sila teže izjednačuje sa silom F (1), koja se pojavljuje zbog privlačenja mase.

Na privlačnu silu više utječu mase koje se nalaze neposredno ispod Zemljine površine. Kako se mase mijenjaju zbog različite gustoće, mijenja se i sila teže.

POTENCIJAL SILE TEŽE

Općenito razmatranje provodi se bez unaprijed pretpostavljenog oblika Zemlje i razdiobe masâ u njoj. Ishodište koordinatnog sustava smješta se u težište Zemlje: aplikata z u os rotacije Zemlje, a koordinata x i y u ravninu ekvatora (sl. 1).

Privlačna sila

$$\mathrm{d}F = k\frac{\mathrm{d}M}{d^2} \tag{3a}$$

ili nakon integriranja

$$F = k\int_M \frac{\mathrm{d}M}{d^2}, \tag{3b}$$

a centrifugalnu silu određuje izraz (2).

Komponente privlačne sile u smjeru koordinatnih osi jesu:

$$\begin{aligned} F_x &= F\cos\alpha = k\int_M \frac{x-x'}{d^3}\mathrm{d}M \\ F_y &= F\cos\beta = k\int_M \frac{y-y'}{d^3}\mathrm{d}M \\ F_z &= F\cos\gamma = k\int_M \frac{z-z'}{d^3}\mathrm{d}M, \end{aligned} \tag{4}$$

a komponente centrifugalne sile:

$$\begin{aligned} C_x &= C\cos\alpha_1 = \omega_x^2 \\ C_y &= C\cos\beta_1 = \omega_y^2 \\ C_z &= C\cos\gamma_1 = 0. \end{aligned} \tag{5}$$

U izrazima (4) α, β, γ su kutovi koje zatvara sila F sa smjerom koordinatnih osi, a u (5) α_1, β_1, γ_1 kutovi koje zatvara sila C sa smjerom koordinatnih osi.

Formula (4) sadrži posebnu funkciju koja omogućuje integraciju, i to

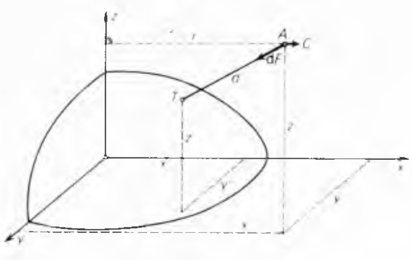
$$V_{(x,y,z)} = k\int_M \frac{\mathrm{d}M}{d}. \tag{6}$$

Izrazi (5) mogu se dobiti kao parcijalne derivacije funkcije

$$U_{(x,y,z)} = \frac{\omega^2}{2}(x^2+y^2). \tag{7}$$

Funkcije $V_{(x,y,z)}$ i $U_{(x,y,z)}$ nazivaju se potencijalnim funkcijama. Prema najjednostavnijoj definiciji, potencijalne funkcije jesu one funkcije čije parcijalne derivacije u određenom smjeru daju komponente sile u tom smjeru. Kako je sila teže rezultanta privlačne i centrifugalne sile, potencijal je sile teže W jednak zbroju potencijala privlačne i potencijala centrifugalne sile

$$W = V + U = k\int_M \frac{\mathrm{d}M}{d} + \frac{\omega^2}{2}(x^2+y^2) \tag{8}$$



Sl. 1. Dio Zemljine plohe. U točki T, s koordinatama x', y', z', na površini Zemlje postoji masa $\mathrm{d}M$; u točki A, s koordinatama x, y, z, izvan površine Zemlje nalazi se jedinična masa koja rotira zajedno sa Zemljom, r udaljenost A od osi rotacije, d razmak točaka T i A, $\mathrm{d}F$ privlačna sila između mase $\mathrm{d}M$ i jedinične mase, C centrifugalna sila

Na osnovi izraza (8) mogu se napisati za komponente ubrzanja sile teže

$$\begin{aligned} g_x &= \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} = -F_x + C_x = -k\int_M \frac{x-x'}{d^3}\mathrm{d}M + \omega_x^2 \\ g_y &= \frac{\partial W}{\partial y} = \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial y} = -F_y + C_y = -k\int_M \frac{y-y'}{d^3}\mathrm{d}M + \omega_y^2 \\ g_z &= \frac{\partial W}{\partial z} = \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial U}{\partial z} = -F_z + C_z = -k\int_M \frac{z-z'}{d^3}\mathrm{d}M, \end{aligned} \tag{9}$$

a odatle i drugi diferencijalni kvocijenti potencijala sile teže. To su:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial g_x}{\partial x} = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = W_{xx}, \quad \frac{\partial g_y}{\partial y} = \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = W_{yy}, \quad \frac{\partial g_z}{\partial z} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = W_{zz} \\ &\frac{\partial g_x}{\partial y} = \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} = W_{xy}, \quad \frac{\partial g_x}{\partial z} = \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} = W_{xz}, \quad \frac{\partial g_y}{\partial z} = \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} = W_{yz}. \end{aligned} \tag{10}$$

Ukoliko se pretpostavi linearna promjena ubrzanja sile teže u okolišu neke točke na Zemlji, drugi diferencijalni kvocijenti potencijala sile teže jesu male promjene (varijacije) komponenata ubrzanja sile teže u određenom smjeru pri pomaku za 1 cm. Npr., W_{xx} je promjena komponente g_x u smjeru osi x pri pomaku za 1 cm.

Jedinice ubrzanja sile teže i njenih promjena. Jedinica je ubrzanja $\mathrm{m\,s^{-2}}$, pa ona vrijedi i za ubrzanje Zemljine teže. Često se, međutim, u gravimetriji upotrebljava jedinica gal (po G. Galileju), koja ima dimenziju $\mathrm{cm\,s^{-2}}$, pa je $1\,\mathrm{gal} = 10^{-2}\,\mathrm{m\,s^{-2}}$.

U praksi se podaci navode obično u miligalima (mgal) koji imaju dimenziju $10^{-5}\mathrm{m\,s^{-2}}$.

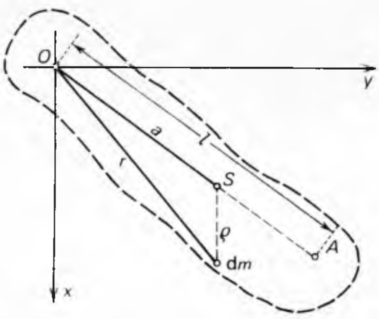
Jedinica malih promjena ubrzanja sile teže nazvana je etveš (po R. Eötvösu), a ima dimenziju $10^{-9}\mathrm{m\,s^{-2}}$.

APSOLUTNO I RELATIVNO ODREĐIVANJE UBRZANJA SILE TEŽE

Apsolutno je ubrzanje sile teže ubrzanje u punom iznosu. Ono se određuje pomoću njihala ili slobodnog pada nekog tijela. Relativno je ubrzanje sile teže razlika ubrzanja između pojedinih točaka. Ono se određuje njihalima ili gravimetrima.

Određivanjem apsolutnih vrijednosti ubrzanja sile teže dobivaju se ne samo vrijednosti na koje se svode one ostale (osnovne točke za razvijanje gravimetrijskih mreža) već i osnove za stvaranje jedinstvenog mjerila pri relativnom određivanju ubrzanja sile teže gravimetrima te podaci o vremenskim promjenama ubrzanja. Apsolutne vrijednosti ubrzanja sile teže dobivene različitim instrumentima, uređajima i metodama daju uvid u postojanje sistematskih utjecaja. Danas se postiže točnost apsolutnih vrijednosti od $\pm(0{,}1\cdots0{,}03)$mgal. Relativne vrijednosti moraju se priključiti bar na jednu točku s poznatom apsolutnom vrijednosti ubrzanja sile teže. Točnost je relativnih vrijednosti $\pm0{,}01$ mgal; to odgovara relativnoj pogreški od $1\cdot10^{-8}$. Tako mala relativna pogreška ne postiže se u drugim geodetskim mjerenjima.

Određivanje apsolutnog ubrzanja sile teže njihalima i slobodnim padom. Određivanje ubrzanja sile teže fizikalnim njihalima svodi se na teorijski slučaj matematičkog njihala pri čemu je potrebno poznavati duljinu fizikalnog njihala. Matematičko njihalo je materijalna točka koja njiše u zrakopraznom prostoru na nerastezljivoj bestežinskoj niti. Vrijeme njihaja je vrijeme u kojem njihalo prijeđe put iz jednog krajnjeg položaja u drugi i vrati se u početni položaj.



Sl. 2. Fizikalno njihalo. O os, S težište, l reducirana duljina njihala, A središte njihaja koje je udaljeno od osi O u smjeru težišta S za duljinu l, r udaljenost točke njihala dm od osi O, ϱ udaljenost točke dm od težišta S

Vrijeme potrebno za prijelaz matematičkog njihala iz jednog krajnjeg položaja u drugi — vrijeme polunjihaja — iznosi

$$T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1+\left(\frac{1}{2}\sin\frac{\vartheta}{2}\right)^2+\left(\frac{1\cdot3}{2\cdot4}\sin^2\frac{\vartheta}{2}\right)^2+\left(\frac{1\cdot3\cdot5}{2\cdot4\cdot6}\sin^3\frac{\vartheta}{2}\right)^2+\dots\right]. \tag{11}$$

Budući da je amplituda ϑ mala, mogu se zanemariti svi članovi osim prva dva izraza u zagradama (11), pa je

$$T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1+\frac{\vartheta^2}{16}\right). \tag{12}$$

Ako je duljina njihala l, vrijeme polunjihaja T i amplituda ϑ, može se iz formule (11) izračunati ubrzanje sile teže g. Fizikalno njihalo je skup beskonačno velikog broja materijalnih točaka pa se ono svodi na matematičko njihalo neke druge duljine, koja se naziva reducirana duljina fizikalnog njihala. Ona se dobiva iz formule

$$l=\frac{a^2+k^2}{a}, \tag{13}$$

gdje je a udaljenost osi od težišta (sl. 2), a k^2 omjer između polarnog momenta tromosti njihala $\int\varrho^2\mathrm{d}m$ s obzirom na težište S njihala i mase njihala M.

Posebni je slučaj fizikalnog njihala reverzijsko njihalo (sl. 2). Ako se nanese od osi O u smjeru težišta S reducirana duljina njihala, dobit će se točka A, koja se naziva centar njihaja s obzirom na os O. Ako njihalo njiše oko centra njihaja A, ono ima isto vrijeme njihaja kao kad njiše oko osi O. Dakle, može se provesti reverzija njihala pa se zbog toga takvo njihalo i naziva reverzijsko njihalo. Praktički je veoma teško postići da je razmak osi O i središta njihaja A jednak reduciranoj duljini i taj se uvjet zadovoljava približno. Tada vrijedi formula

$$T^2=\pi^2\frac{a_1+a_2}{g}\left(1-\frac{2x}{T}\,\frac{a_1+a_2}{a_1-a_2}\right), \tag{14}$$

gdje je

$$T=\frac{T_1+T_2}{2},\qquad x=\frac{T_1-T_2}{2}, \tag{15}$$

a tu je T_1 vrijeme polunjihaja kad se njihalo njiše oko osi O, a_1 udaljenost osi O od težišta S, T_2 vrijeme polunjihaja kad se njihalo njiše oko središta njihaja A i a_2 udaljenost središta njihaja A od težišta S. Iz toga izraza proizlazi da a_1 mora biti različito od a_2, tj. težište reverzijskog njihala ne smije biti u sredini njihala. Reverzijskim njihalima različitih konstrukcija i modela može se postići zadovoljavajuća točnost u praktičnim mjerenjima, tako da se ona i danas upotrebljavaju. Međutim, u novije vrijeme za određivanje apsolutnog ubrzanja sile teže služi kao njihalo teška masa na dugoj niti, što je u biti približenje matematičkom njihalu. Nakon II svjetskog rata u SSSR-u određuje se ubrzanje sile teže njihalima duljine 35m i 215m, smještenima u cijevi promjera 80cm. U Finskoj su upotrijebljena njihala duljine 8 i 4m, odnosno 220m i 110m. Takvim se postupcima nastoji ostvariti Besselova zamisao (1835) prema kojoj je jednostavnije i točnije mjeriti razliku duljina dvaju njihala (l_1-l_2) nego pojedinačne duljine l_1 i l_2. Mjerenjem vremena polunjihaja T_1 i T_2 ubrzanje je sile teže

$$g=\pi^2\frac{l_1-l_2}{T_1^2-T_2^2}. \tag{16}$$

Osnovna teškoća pri određivanju ubrzanja sile teže njihalima jest mjerenje duljine njihala s potrebnom točnošću. Za određivanje ubrzanja sile teže s točnošću od samo ±1 mgal, u sekundnom njihalu, potrebno je mjeriti duljinu njihala s točnošću $\pm0{,}3\,\mu$m, što je veoma velik zahtjev (na duljinu fizikalnog njihala utječu temperaturne promjene, što utječe i na vrijeme njihaja).

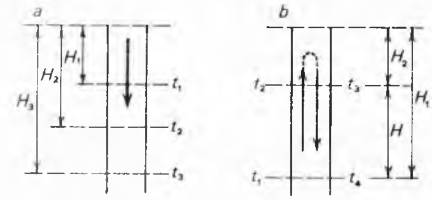
Uređaji i postupci određivanja duljine njihala ovise o tipu njihala i mogućnostima primjene tehničkih pomagala; od jednostavnog projiciranja, tj. klasičnog mjerenja duljina, do modernih interferometrijskih postupaka.

U načelu, vrijeme njihaja određuje se utvrđivanjem trenutaka uzastopnih koincidencija njihala, astronomskog sata i gravimetrijskog njihala. Označi li se broj njihaja astronomskog njihala između dvije uzastopne koincidencije sa c a gravimetrijskog u istom vremenskom intervalu $(c\pm1)$, vrijeme je njihaja gravimetrijskog njihala u sekundama astronomskog sata

$$T=\frac{c}{c\pm1}. \tag{17}$$

Uzastopne koincidencije astronomskog i gravimetrijskog njihala promatrane su u početku vizuelno bez ikakvih pomagala pa je i točnost bila mala. U XVIII je stoljeću R. Bošković predložio točniji postupak čiji je princip zadržan do danas. Točnost tog postupka iznosi 1···2 sekunde, ali je za određivanje ubrzanja sile teže potrebna veća točnost. To je postignuto primjenom tzv. koincidentnog aparata, što je zapravo usavršena zamisao R. Boškovića. Ako je u sekundnom njihalu srednja pogreška u određivanju duljine njihala $\pm 0{,}3\,\mu$m, vrijeme se njihaja mora poznavati sa srednjom pogreškom $\pm 5 \cdot 10^{-7}$s. Na kraju, na točnost određivanja vremena njihaja utječe i gibanje stativa. Naime, zbog njihaja i stativ se njihala počinje pomicati pa to utječe na vrijeme njihaja.

Apsolutno ubrzanje sile teže, osim njihalima, može se odrediti i pomoću slobodnog pada. Iako ta zamisao nije nova, počela se primjenjivati tek pedesetih godina ovog stoljeća. Razlikuju se tri mogućnosti: slobodni pad — pad tijela po vertikali (sl. 3a), vertikalni hitac — gibanje tijela po vertikali u oba smjera (simetrični pad, sl. 3b) i kombinirani pad — tijelo slobodno pada unutar jedne kutije koja se spušta po nitima u zraku pod normalnim tlakom. Promatra se padanje



Sl. 3. Slobodan (a) i simetričan (b) pad. H_1, H_2, H_3 udaljenosti od polaznog horizonta, t_1, t_2, t_3, t_4 momenti prolaza tijela kroz promatrani horizont, $H = H_1 - H_2$

mjerila, kugle, a u posljednje vrijeme trostranog zrcala. Kako je veoma teško odrediti trenutak početka pada tijela, mjeri se vrijeme prolaza kroz tri horizonta (sl. 3a), a ubrzanje sile teže računa se po formuli

$$g = 2\frac{(H_3 - H_1)(t_2 - t_1) - (H_2 - H_1)(t_3 - t_1)}{(t_2 - t_1)(t_3 - t_1)(t_3 - t_2)}. \tag{18}$$

Za simetrični pad (sl. 3b) ubrzanje iznosi

$$g = \frac{8H}{(t_4 - t_1)^2 - (t_3 - t_2)^2}. \tag{19}$$

Za mjerenje udaljenosti upotrebljavaju se i laseri.

Sustavi za definiranje ubrzanja sile teže. Još u nedavnoj prošlosti navodilo se ubrzanje sile teže s obzirom na vrijednost u nekoj ishodišnoj točki kao osnovnoj. Takva je ishodišna točka bila najprije u Beču, zatim u Potsdamu pa su se i sustavi, kojima se definiralo ubrzanje sile teže, nazivali bečki, potsdamski. Ovi sustavi povezani su izrazom

Sustav Potsdam = Sustav Beč − 16mgal.

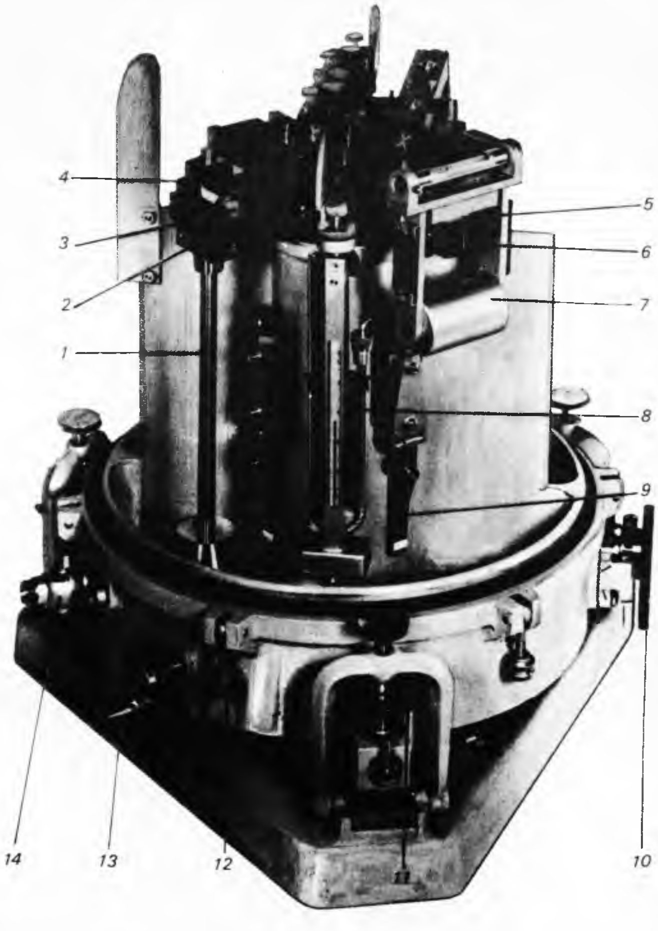
Vrijednost ubrzanja sile teže u Potsdamu, određena na početku ovog stoljeća, iznosila je 981 274mgal. Mnogo kasnije pokazalo se da je ta vrijednost prevelika za 14mgal, pa popravljena vrijednost iznosi 981 260mgal. Kako se povećavao broj točaka na kojima je određena vrijednost ubrzanja sile teže, dolazilo se do spoznaje da tadašnje definicije pojedinog sustava nisu najispravnije. Naime, bolje je definirati ubrzanje sile teže na većem broju točaka rasprostranjenih širom Zemlje nego samo u ishodišnoj točki.

Zbog toga je na XV generalnom zasjedanju Međunarodne unije za geodeziju i geofiziku u Moskvi (1971) prihvaćen novi sustav, tzv. Međunarodna gravimetrijska standardna mreža 1971 (IGSN 1971 — *The International Gravity Standardization Net 1971*). Ta je mreža rasprostranjena po cijeloj Zemlji, osim područja SSSR i NR Kine, i obuhvaća vrijednosti ubrzanja sile teže za 1854 točke. Te su vrijednosti rezultat mjerenja i izjednačivanja u razdoblju od 20 godina prije usvajanja tog sustava.

Relativno određivanje ubrzanja sile teže njihalima i gravimetrima. Razlika ubrzanja sile teže među pojedinim točkama određuje se njihalima ili gravimetrima. Određivanje tih razlika njihalima jednostavnije je nego kad se određuju apsolutne vrijednosti jer ne treba mjeriti duljinu njihala, već samo vrijeme njihaja uz nepromijenjenu duljinu njihala. Gravimetrijska se razlika između točaka A i B računa po formuli

$$\Delta g = g_B - g_A = 2g_A\left(\frac{T_A - T_B}{T_B}\right) + g_A\left(\frac{T_A - T_B}{T_B}\right)^2, \tag{20}$$

gdje je g_A ubrzanje sile teže na točki A, T_A vrijeme njihaja na točki A, g_B ubrzanje sile teže na točki B, T_B vrijeme njihaja na točki B. Da bi se izračunale apsolutne vrijednosti ubrzanja sile teže za sve točke na kojima je mjereno vrijeme njihaja, mora se poznavati apsolutna vrijednost bar za jednu točku. U načelu, postupak je veoma jednostavan ali pri konačnoj obradbi podataka treba izračunati niz korekcija, kao što su korekcije zbog: pomicanja stativa, hoda astronomskog sata, vrlo malih amplituda, temperature i otpora zraka. Standardnim njihalima postiže se točnost od $\pm 0{,}3$mgal. Četverostruko njihalo Askania (sl. 4) jedno je od najpoznatijih njihala za određivanje relativnih vrijednosti. U njemu njišu četiri njihala u odvojenim prostorima kako se gibanje zraka oko jednog njihala ne bi prenosilo na druga njihala. Osim toga, po dva njihala njišu u dvjema međusobno okomitim ravninama da se eliminira utjecaj gibanja stativa na vrijeme njihaja.



Sl. 4. Četverostruko njihalo Askania. *1* njihalo, *2* pomoćni ležaj na gornjem mostu njihala, *3* oštrica njihala, *4* glava njihala, *5* glavni ležaj na gornjem mostu, *6* nepokretni dio gornjeg mosta za ovješenje njihala, *7* libela, *8* držač termometra i barometra, *9* poluga uređaja za pokretanje njihala, *10* ručica uređaja za pokretanje njihala, *11* podnožni vijak, *12* vijak za učvršćivanje metalnog poklopca, *13* ručica za podizanje ili spuštanje gornjeg mosta njihala, *14* otvor za smanjenje tlaka zraka; s druge je strane pločica za odabiranje njihala koje se želi zanjihati

Razlike se ubrzanja sile teže među pojedinim točkama određuju i gravimetrima koji su za praktički rad pogodniji od njihala. Njihala rade na dinamičkom (njihanje), a gravimetri na statičkom principu (ravnoteža sile teže i sile elastičnog otpora pera ili momenta sile teže i momenta otpora nekog pera). Iz ravnoteže tih sila ili momenata sila na pojedinim točkama računaju se razlike ubrzanja sile teže. Ima, međutim, gravimetara koji rade na dinamičkom principu i oni se mogu smatrati posebnom vrstom njihala. Gravimetri mogu biti astazirani (astatički) i neastazirani (neastatički). U astatičkima je povećana osjetljivost na račun stabilnosti, ali ne toliko da bi postali nestabilni. Gravimetrima se postiže točnost od $\pm 0{,}01$ mgal.

Princip rada gravimetra najjednostavnije je rastumačiti vagom na pero (sl. 5).

Težini tijela mg suprotstavlja se sila elastičnog otpora pera fl (f je konstanta pera; to je sila potrebna za produljenje pera za jedinicu duljine). Kad je postignuta ravnoteža, vrijedi

$$mg = fl, \tag{21}$$

pa je

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l}, \tag{22}$$

što znači da je relativna promjena ubrzanja sile teže jednaka relativnoj promjeni duljine pera. Postoje gravimetri različitih konstrukcija. U tabl. 1 nalaze se osnovne karakteristike nekih od poznatijih modela.

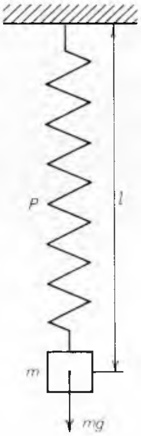
Za određivanje utjecaja Mjeseca i Sunca na ubrzanje sile teže osobito su pogodni gravimetri Askania Gs-15, Gs-16 u kombinaciji s posebnim uređajima te gravimetar La Coste Romberg. Osim ovih, postoji i specijalni bifilarni gravimetar za takva mjerenja.

Za određivanje razlika ubrzanja sile teže na moru postoji Gss-2 (Askania) i gravimetar La Coste Romberg. Unutrašnja točnost koja se može postići pri mjerenju gravimetrima na moru iznosi $\pm(0{,}5\cdots1{,}0)$mgal a vanjska $\pm(2\cdots5)$mgal. Premda je to mnogo manja točnost od one koja se postiže na kopnu, ipak su takvi podaci izvanredno korisni jer se odnose na vodena prostranstva na Zemlji.

Utjecaj sile uzročnice Zemljinih doba na ubrzanje sile teže i hod gravimetara. Prije konačnog računanja gravimetrijskih razlika između pojedinih točaka treba eliminirati iz podataka mjerenja utjecaj Mjeseca i Sunca (tzv. lunisolarni utjecaj). To je sistematski utjecaj, a računa se po formuli

$$\Delta g_v = \frac{kmR}{D^3}\left(1 - \cos^2 z + 3\frac{R}{D}\cos z\right), \tag{23}$$

gdje je Δg_v utjecaj Mjeseca ili Sunca na ubrzanje sile teže, k Newtonova konstanta gravitacije, R polumjer Zemlje, D udaljenost središta Zemlje od Mjeseca ili Sunca, z geocentrična zenitna daljina i m masa Mjeseca ili Sunca. Član pred zagradom u (23) treba povećati za 20% zbog Zemljine elastičnosti. Za računanje lunisolarnog utjecaja postoje brojne tablice i grafikoni. Na našim geografskim širinama utjecaj Mjeseca se mijenja od $+0{,}122$ do $-0{,}066$mgal, a Sunca od $+0{,}052$ do $-0{,}031$mgal.



Sl. 5. Vaga na pero. P elastično pero, l duljina pera, m masa ovješenog tijela, g ubrzanje Zemljine teže

Tablica 2
HOD GRAVIMETRA ASKANIA
Gs-9, br. 77

Trenutak očitanja h min	*Očitanje* mgal
15 10	544,623
15 17	544,623
15 27	544,695
15 35	544,739
15 43	544,782
15 55	544,833
16 05	544,862
16 15	544,941
16 25	544,970
16 35	545,006
16 38	545,021

Tablica 1
PREGLED KONSTRUKTIVNIH OSOBINA NEKIH GRAVIMETARA

Naziv gravimetra	*Princip rada mjernog uređaja*	*Materijal iz kojeg je izrađen mjerni sustav*	*Poništavanje temperaturnih utjecaja*	*Približna vrijednost hoda* mgal/h	*Srednja pogreška* mgal	*Vrijeme potrebno za očitavanje* min	*Težina gravimetra* kg
Ising	Njihalo na torzijskoj niti u obrnutom položaju, masa iznad torzijske niti, astazirani uređaj	kvarc	Kućište se mjernog uređaja zagrijava a temperatura se regulira termostatom	0,1···0,2	±(1···2)	30···40	20···25
Nörgaard	Njihalo na torzijskoj niti, masa ispod torzijske niti, astazirani uređaj	kvarc	Mjerni uređaj uronjen u tekućinu a novi modeli imaju termostat	0,02···0,07	±(0,2···0,5)	3···5	8
Thyssen	Njihalo u približno horizontalnoj ravnini drži vertikalno pero, koje se nalazi ispod horizontale, astazirani uređaj	kvarc	Mjerni uređaj temperaturno kompenziran	0,02···0,05	±(0,1···0,3)	5···10	15
Askania Gs-9 Gs-11, Gs-12, Gs-15, Gs-16	Njihalo u približno horizontalnoj ravnini drže dva suprotno uvijena spiralna pera	elinvar	Kućište se mjernog uređaja zagrijava a temperatura se regulira termostatom	0,0···0,2	±(0,01···0,02)	3···5	10···15
Worden	Njihalo u približno horizontalnoj ravnini drži posebno elastično pero, astazirani uređaj	kvarc	Mjerni uređaj u hermetički zatvorenom kućištu	0,05···0,07	±0,05	3···5	2,6
North-American	Njihalo u približno horizontalnoj ravnini drži posebno elastično pero, astazirani uređaj	elinvar	Kućište se mjernog uređaja zagrijava a temperatura se regulira termostatom	0,0···0,05	±(0,08···0,15)	3···5	8
La Coste Romberg	Njihalo u približno horizontalnoj ravnini drži posebno elastično pero, astazirani uređaj	elinvar	Kućište se mjernog uređaja zagrijava a temperatura se regulira termostatom	<0,0007	±0,01	2···3	12
GAK 3M, 4M, 6M	Njihalo u približno horizontalnoj ravnini drži posebno elastično pero, astazirani uređaj	kvarc	Mjerni uređaj u hermetički zatvorenom kućištu	0,05	±(0,02···0,3)	3···5	7,5

Kako je u svima gravimetrima glavni konstrukcijski element elastično pero, oni nemaju stalnu nultočku. Stoga se tokom mjerenja na istoj točki u različitim trenucima dobivaju različiti podaci (tabl. 2). Ta se pojava zove *hod.*

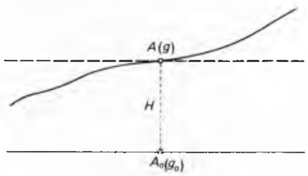
Najpogodniji su za rad gravimetri s linearnim hodom, tj. s razlikom očitanja proporcionalnom vremenskim intervalima očitanja. Mnogi gravimetri nemaju linearan hod ali je važno da se on sporo i kontinuirano mijenja. Jednostavnim računskim postupcima isključuje se utjecaj hoda iz rezultata mjerenja, a zbog toga treba na istim točkama mjeriti više puta u različitim trenucima. Hod nije neka specifičnost gravimetara, već se on javlja u svim instrumentima koji imaju elastična pera kao mjerne elemente. Danas su gravimetri najprikladniji i najviše se upotrebljavaju za gravimetrijske izmjere. Nastoji se izraditi takav instrument sa što manjim, postojanijim i linearnim hodom, jer o njemu djelomično ovise i metode rada. Koja će se metoda primijeniti, ovisi o svrsi mjerenja, o ekonomičnosti metode i o postupku za određivanje utjecaja hoda. Razlikuju se tri grupe metoda za rad s gravimetrima: površinske, linijske i linijske s dnevnim povratkom na početnu točku. Površinske metode upotrebljavaju se pri izmjeri većih površina, a linijske pri izmjeri uzduž određenih linija (ceste, putovi).

Korekcije mjerenih vrijednosti ubrzanja sile teže. Mjerene vrijednosti ubrzanja sile teže, za različite točke Zemljine površine, ne mogu se međusobno izravno uspoređivati, već ih treba reducirati na određenu razinu, nivo plohu, eliminiravši sve vidljive nadzemne mase iznad te razine. U geodeziji je ta razina nulta nivo ploha mora, a u primijenjenoj geofizici to može biti i povoljno odabrana nivo ploha.

Izmjerenu vrijednost ubrzanja sile teže u točki A treba reducirati po vertikali na nivo plohu mora (korekcija slobodnog zraka), u točku A_0, zanemarujući pri tome mase ispod točke A i oko nje (sl. 6). Za računanje te korekcije postoji mnogo formula koje se međusobno malo razlikuju. Jedna je od njih

$$\Delta g = g_0 - g = [0{,}000308\,57 + 0{,}000\,0021\cos(2\varphi)]\,H, \tag{24}$$

gdje je φ geografska širina točke mjerenja, a H nadmorska visina. Korekcija slobodnog zraka Δg uvijek je pozitivna. Ako se želi izračunati ta korekcija sa srednjom pogreškom $\pm 0{,}01$ mgal, mora se poznavati nadmorska visina stajališta H sa srednjom pogreškom ± 3 cm.



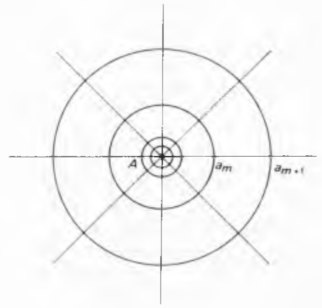
Sl. 6. Presjek dijela fizičke površine Zemlje. A točka u kojoj je mjereno ubrzanje sile teže g, H nadmorska visina točke A, A_0 točka na nivo plohi mora u kojoj je ubrzanje g_0

Budući da korekcija slobodnog zraka zanemaruje utjecaj masa koje se nalaze ispod i oko točke A, mora se on uzeti u obzir novim korekcijama. U prvom približenju zanemaruju se sve neravnine oko točke A, tj. pretpostavlja se da je Zemljina površina ravna (zanemarujući zakrivljenost Zemlje) i predstavlja ploču ili valjak nadmorske visine H (sl. 6). Korekcija koja eliminira masu ploče ili valjka naziva se korekcijom Bouguera (po P. Bougueru) ili korekcijom ploče a računa se iz formule

$$\Delta g' = \frac{3}{2}\frac{\delta}{D}\frac{H}{R}g, \tag{25}$$

gdje je δ gustoća površinskih masa u okolišu točke A, D srednja gustoća Zemlje ($5{,}51\,\mathrm{g\,cm^{-3}}$), H nadmorska visina točke A, R srednji polumjer Zemlje, g mjerena vrijednost ubrzanja sile teže. Želi li se odrediti korekcija Bouguera sa srednjom pogreškom $\pm 0{,}01$ mgal, mora se poznavati nadmorska visina stajališta sa srednjom pogreškom ± 9 cm. Ova korekcija ima negativan predznak.

Rijedak je slučaj, međutim, da je okoliš točke ravan, pa korekciji Bouguera treba dodati još jedan iznos koji rezultira iz nepravilnosti reljefa Zemljine površine a naziva se korekcijom reljefa. Ona ima uvijek pozitivan predznak bez obzira radi li se o dolinama ili uzvišenjima s obzirom na horizont točke A. Za računanje korekcije reljefa postoje brojni postupci i pomagala. Osnovni princip svih tih postupaka sastoji se u računanju utjecaja masa elementarnih tijela s obzirom na horizont točke A. Elementarna tijela se dobivaju dijeljenjem terena vertikalnim ravninama kroz točku A i koncentričnim valjcima kojima se os poklapa s vertikalom točke A (sl. 7).



Sl. 7. Horizontalna projekcija valjaka i vertikalnih ravnina. Horizont točke A podijeljen na osam sektora, a_m i a_{m+1} polumjeri valjaka

Pomoću takve podjele na elementarna tijela određuju se srednje vrijednosti visinskih razlika pojedinog elementarnog tijela i točke A. Osnovna je formula za računanje korekcije reljefa:

$$\Delta g'' = \frac{3}{2}\frac{\delta}{D}\frac{g}{R}\frac{1}{n}\sum\left(\sqrt{h^2 + a_m^2} - \sqrt{h^2 + a_{m+1}^2} + a_{m+1} - a_m\right), \tag{26}$$

gdje je n broj sektora na koje je podijeljen horizont točke A, h visinska razlika srednje visine elementarnog tijela i visine točke A, a_m i a_{m+1} su udaljenosti od točke A (polumjeri valjka), a značenje ostalih simbola isto je kao u (25).

Da bi se mogle izračunati korekcije Bouguera i reljefa, potrebno je poznavati gustoću δ površinskih slojeva Zemlje oko stajališta A. Ona se može odrediti eksperimentalno iz pojedinačnih uzoraka kamenja hidrostatskom vagom ili na jedan od brojnih načina koji se osnivaju na metodi L. L. Nettletona.

Kad se izračunava korekcija slobodnog zraka, Bouguera i reljefa, pretpostavlja se da se mjeri na čvrstoj Zemljinoj kori, tj. da je instrument za mjerenje nepokretan. Ako se podloga na kojoj je instrument kreće određenom brzinom i pod određenim azimutom (mjerenje s broda ili aviona), moraju se uzeti u obzir te okolnosti novom korekcijom, koja se naziva Eötvösova korekcija, a računa se po formuli

$$\Delta g''' = 4{,}05\,v\sin A\cos\varphi + 0{,}00121\,v^2, \tag{27}$$

gdje je v brzina plovidbe broda ili leta aviona, A azimut plovidbe ili leta i φ geografska širina.

Određivanje malih promjena ubrzanja sile teže — Eötvösov variometar. Potkraj prošlog stoljeća nisu postojali gravimetri, koji bi omogućili brza i točna mjerenja, već samo njihala. Male promjene ubrzanja sile teže, varijacije i veoma točne gravimetrijske razlike između bliskih točaka nisu se mogle odrediti njihalima. R. Eötvös konstruirao je tada novi instrument za određivanje malih promjena ubrzanja sile teže (sl. 8).

Na tanku nit AO obješena je horizontalna poluga sa dva jednaka utega na krajevima P_1 i P_2, što je u biti vaga. Vertikale koje prolaze točkom O i utezima P_1 i P_2 nisu paralelne zbog zakrivljenosti nivo ploha a ni ubrzanje sile teže nije potpuno jednako u neposrednom okolišu vage. Ubrzanje sile teže koja djeluje na uteg P_1 rastavlja se na tri komponente: prvu, u smjeru OP_1, drugu, paralelnu sa smjerom AO i treću, okomitu na ravninu prvih dviju. Treća komponenta vrlo je mala i okreće polugu oko niti AO, jer djeluje u horizontalnoj ravnini. Rastavi li se na isti način ubrzanje sile teže koje djeluje na uteg P_2 na komponente, opet će treća komponenta okretati polugu oko niti AO. Ako su komponente koje zaokreću polugu jednake, ravnoteža se vage neće poremetiti. Ako te komponente, međutim, nisu međusobno jednake zbog nepravilne razdiobe gustoće masa u okolišu vage, poluga će se zaokrenuti za neki kut oko niti AO. Tom zakretu vage suprotstavlja se otpor torzije niti i ravnoteža će nastupiti kad se moment torzije niti izjednači s momentom komponenata sile teže koje djeluju u horizontalnoj ravnini. Odatle proizlazi matematička teorija Eötvösovog variometra. U suvremenim variometrima utezi nisu na istoj visini a sastoje se od dviju vaga koje su međusobno zaokrenute za 180°.

Za takav oblik variometra vrijedi jednadžba

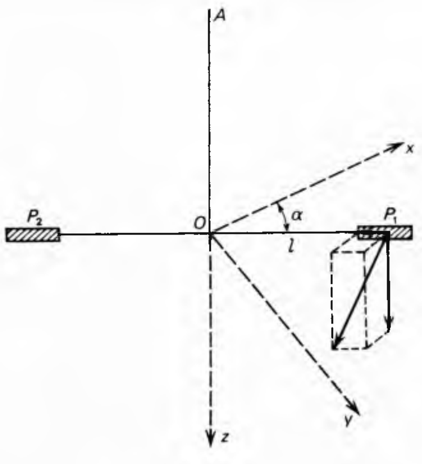
$$n_0 - n = a W_\Delta \sin(2\alpha) + 2a W_{xy} \cos(2\alpha) - b W_{xz} \sin\alpha + b W_{yz} \cos\alpha, \tag{28}$$

gdje je n_0 očitanje koje odgovara položaju vage kad nit nije podvrgnuta torziji, n očitanje u određenom položaju (azimutu), α azimut vage (obično magnetski), a, b su konstante, a W_Δ, W_{xy}, W_{xz}, W_{yz} male promjene ubrzanja sile teže u određenim smjerovima. Izraz (28) izveden je uz pretpostavku linearnih promjena ubrzanja sile teže između točaka. Ako bi oba utega u vagi bila na istoj visini, druga dva člana u (28) bila bi jednaka nuli. Budući da su konstante a, b poznate, azimut α se mjeri, a n očita na skali, ostaje pet nepoznanica: n_0, W_Δ, W_{xy}, W_{xz}, W_{yz}. Ako su dvije vage spojene, tim nepoznanicama treba priključiti još jednu n_0', tj. očitanje koje odgovara položaju druge vage kad nit nije podvrgnuta torziji. Postoji, dakle, šest nepoznanica koje se određuju u tri azimuta: 0°, 120°, 240° prve, odnosno 180°, 300° i 60° druge vage.

Mjerenjem takvim instrumentom dobivaju se drugi diferencijalni kvocijenti potencijala sile teže: W_{xy}, W_{xz}, W_{yz} i $W_\Delta = W_{yy} - W_{xx}$.

Dakle, pomoću Eötvösovog variometra mogu se odrediti samo četiri diferencijalna kvocijenta. Kvocijenti W_{zz} i pojedinačne vrijednosti W_{xx} i W_{yy} ne mogu se odrediti. Direktno određene vrijednosti malih promjena ubrzanja sile teže treba osloboditi utjecaja masa s obzirom na horizont težišta variometra.

Kao što se za određenu točku na Zemlji može izračunati normalna vrijednost ubrzanja, može se izračunati i normalni utjecaj za određeni diferencijalni kvocijent ubrzanja sile teže. Normalno se ubrzanje mijenja s geografskom širinom pa to vrijedi i za male promjene ubrzanja sile teže. Pri standardnoj orijentaciji koordinatnog sustava, normalni utjecaj postoji u W_Δ i W_{xz}, a on je jednak nuli za W_{yz} i W_{xy}.



Sl. 8. Princip Eötvösovog variometra. AO nit na kojoj visi poluga s dva jednaka utega P_1 i P_2, l polovica duljine poluge, x, y, z koordinate, α kut koji zatvara os x sa smjerom poluge

Pomoću četiriju diferencijalnih kvocijenata potencijala sile teže, koji se određuju Eötvösovim variometrom, računa se nekoliko veličina koje su veoma važne u gravimetriji: horizontalni gradijent, polumjer zakrivljenosti težišnice, veličina zakrivljenosti i otklon težišnice.

Računanje horizontalnog gradijenta, polumjera zakrivljenosti težišnice i veličine zakrivljenosti. Horizontalni gradijent na nekoj točki maksimalna je promjena ubrzanja sile teže u promatranom smjeru a izračunava se iz formule

$$G_r = \sqrt{W_{xz}^2 + W_{yz}^2}, \tag{29}$$

a azimut je

$$\tan\alpha = \frac{W_{yz}}{W_{xz}}. \tag{30}$$

Horizontalni gradijent je vektor i određuje se u etvešima (E). Polumjer je zakrivljenosti težišnice

$$r = \frac{g}{G_r} = \frac{g}{\sqrt{W_{xz}^2 + W_{yz}^2}}. \tag{31}$$

Ako je ubrzanje sile teže g u galima, a horizontalni gradijent G_r u etvešima, polumjer zakrivljenosti r dobiva se u centimetrima.

Zakrivljenost R, prema prijedlogu Eötvösa, koja je proporcionalna razlici zakrivljenosti glavnih normalnih presjeka, računa se iz formule

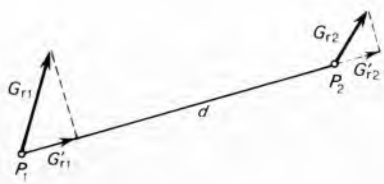
$$R = \sqrt{W_\Delta^2 + 4 W_{xy}^2}, \tag{32}$$

a smjer na koji se odnosi

$$\tan(2\lambda) = \frac{W_{xy}}{-\frac{W_\Delta}{2}}. \tag{33}$$

Veličina R je skalar i određuje se u etvešima.

Otklon se težišnice također može izračunati, ali se mora uz ostale podatke poznavati i otklon težišnice na jednoj točki, bilo u smjeru meridijana, bilo prvog vertikala.



Sl. 9. Određivanje razlika ubrzanja sile teže. P_1 i P_2 dvije točke na kojima je mjereno Eötvösovim variometrom, G_{r1} i G_{r2} horizontalni gradijenti, G'_{r1} i G'_{r2} projekcije horizontalnih gradijenata u smjer spojnice točaka P_1 i P_2, d udaljenost točaka P_1 i P_2

Računanje razlika ubrzanja sile teže. Te se razlike određuju pomoću horizontalnih gradijenata G_r (sl. 9), a računaju se iz formule

$$\Delta g = g_2 - g_1 = \frac{1}{2}(G'_{r1} + G'_{r2})\, d. \tag{34}$$

Projekcije gradijenata su u etvešima, udaljenost u centimetrima a razlika ubrzanja sile teže u galima. Idući tako od točke do točke i vrativši se na početnu točku (zatvorena figura), zbroj gravimetrijskih razlika mora biti jednak nuli, zanemarujući pogreške određivanja. Ako se to ne postigne, smanjuje se razmak među točkama radi pretpostavke o linearnoj promjeni ubrzanja sile teže.

NORMALNA VRIJEDNOST UBRZANJA SILE TEŽE I ANOMALIJE

Kako je povećan broj mjerenja ubrzanja sile teže, nastojalo se izračunati jedan opći matematički zakon razdiobe ubrzanja sile teže na Zemlji. Budući da su na Zemlji mase različite gustoće nepravilno raspoređene, za računanje takvog matematičkog izraza zamišljen je idealni oblik Zemlje — *normalna Zemlja*. Ona ima istu masu kao stvarna Zemlja, rotira istom brzinom kao stvarna Zemlja, s težištem koje se poklapa s njegovim geometrijskim središtem i vanjskom plohom koja se najbolje priljubljuje nultoj razini mora. Na takvoj normalnoj Zemlji djeluje normalno ubrzanje sile teže. Nakon brojnih ispitivanja i računanja utvrđeno je da nije moguće izračunati jednu formulu koja bi se dobro prilagodila mjerenim vrijednostima na svim dijelovima Zemlje. Zbog toga postoji veći broj formula za računanje normalnih vrijednosti ubrzanja sile teže u kojima je argument geografska širina ili eventualno i geografska duljina. Ukoliko je u formuli za računanje normalne vrijednosti ubrzanja sile teže samo geografska širina, uzet je za normalnu Zemlju oblik rotacijskog elipsoida, a ukoliko sadrži i geografsku duljinu, oblik troosnog elipsoida. Od mnoštva formula za računanje normalnog ubrzanja sile teže γ_0 navode se samo dvije: Cassinisova (1930)

$$\gamma_0 = 978049[1 + 0{,}0052884\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2(2\varphi)] \qquad (35)$$

i najnovija, izvedena iz definicije konstanti *Geodetskog sistema 1967*,

$$\gamma_0 = 978031{,}8[1 + 0{,}0053024\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2(2\varphi)]. \qquad (36)$$

Vrijednosti γ_0 dobivaju se u mgal, a razlike su među vrijednostima za γ_0, izračunate iz izraza (35) i (36), male.

Mjerene vrijednosti ubrzanja sile teže popravljene korekcijama slobodnog zraka, Bouguera i reljefa neće se slagati s vrijednostima normalnog ubrzanja zbog nepravilne razdiobe gustoće masa, a razlike tih vrijednosti nazivaju se *anomalije*. Kako se pojedinim korekcijama otklanja utjecaj svih nadzemnih, vidljivih masa u bližem okolišu stajališta, anomalije prikazuju podzemne, nevidljive mase. Uz neophodne geološke pretpostavke o obliku, veličini i dubini podzemnih masa tumače se, interpretiraju, utvrđene anomalije.

Razlikuju se tri osnovne vrste anomalija: anomalije slobodnog zraka, anomalije Bouguera i potpune anomalije, već prema upotrijebljenim korekcijama.

Anomalija slobodnog zraka Δg_1 računa se tako da se od mjerene vrijednosti ubrzanja sile teže g, popravljene korekcijom slobodnog zraka Δg, odbije normalna vrijednost ubrzanja sile teže:

$$\Delta g_1 = g + \Delta g - \gamma_0. \qquad (37)$$

Analogno se računa anomalija Bouguera Δg_2:

$$\Delta g_2 = g + \Delta g' - \gamma_0. \qquad (38)$$

To vrijedi i za proračun potpune anomalije:

$$\Delta g_3 = g + \Delta g + \Delta g' + \Delta g'' - \gamma_0. \qquad (39)$$

GRAVIMETRIJSKA IZMJERA I IZRADBA GRAVIMETRIJSKIH KARATA

Gravimetrijska izmjera je određivanje ubrzanja sile teže na pojedinim točkama na Zemlji. Prije početka gravimetrijskih radova izrađuje se projekt mreže (odabire se grupa točaka na kojima treba odrediti ubrzanje sile teže).

Analogno podjeli drugih geodetskih mreža (triangulacijskih, nivelmanskih) i gravimetrijske se mreže dijele na redove. Gravimetrijska mreža I reda — osnovna gravimetrijska mreža — mora biti što točnija i u nju se uklapaju gravimetrijske mreže II i III reda, dakle, primjenjuje se u geodeziji poznato načelo izvođenja manje točnih radova u točnijem okviru.

Gravimetrijska mreža I reda obuhvaća veće područje a formira se kao zatvorene figure (poligoni). U takvim figurama razvija se gravimetrijska mreža II reda (vlakovi — linije koje spajaju gravimetrijske točke I reda ili gravimetrijske čvorne točke II reda). Unutar tako dobivenog okvira gravimetrijskih točaka razvija se gravimetrijska mreža III reda.

Položaj gravimetrijskih točaka mora biti lako dostupan, blizu cesta, na mjestima bez mikroseizmičkih pokreta tla, izvan većih gradova a neke se točke moraju nalaziti na aerodromima ili mjestima gdje se određuje ubrzanje sile teže njihalima. Gustoću točaka na terenu uvjetuje svrha zadataka pa se točke postavljaju na određenom razmaku prema karakteristikama prometnica u geodetskoj gravimetriji ili da što ravnomjernije pokriju područje u primijenjenoj gravimetriji. Svaka se gravimetrijska točka stabilizira na terenu armiranobetonskim prizmatičnim stupom ili kamenom, željeznim klinom, križem uklesanim u živom kamenu ili iznimno čvrstim drvenim kolcem, bez podzemne oznake, dakle, isto tako kao u ostalim geodetskim radovima. Za svaku gravimetrijsku točku izrađuje se opis položaja s potrebnim podacima za njeno lako i brzo pronalaženje.

Pojedinačna mjerenja i računanja obavljaju se po određenim postupcima a konačna cjelokupna obrada podataka za cijelu mrežu ili dio mreže postiže se izjednačenjem. Za izjednačenje gravimetrijskih mreža vrijede ista načela i metode kao za izjednačenje nivelmanskih mreža.

Osim gravimetrijskog mjerenja potrebno je za svaku točku odrediti položaj u povoljnoj projekciji. U SFRJ to je Gauss-Krügerova projekcija. Dakle, položaj svake točke mjerenja treba odrediti Gauss-Krügerovim koordinatama (x, y) iz kojih se lako izračunaju geografske (geodetske) koordinate (φ, λ), koje su potrebne za računanje normalnog ubrzanja. Za računanje korekcija potrebna je i nadmorska visina H točke mjerenja. Prema tome, položaj svake točke na kojoj se mjeri ubrzanje sile teže definira se geodetskim koordinatama (x, y, H), što u terenskim gravimetrijskim radovima čini pretežni dio posla.

Poznavajući koordinate točaka, njihov položaj se prikazuje na karti povoljnog mjerila. Kako je za svaku takvu točku određeno i ubrzanje sile teže, odnosno anomalije, mogu se rezultati i grafički predočiti. Sličnim postupcima kao pri interpolaciji slojnica, prikaza terena slojnicama, konstruiraju se krivulje jednakih vrijednosti ubrzanja sile teže, izogame, ili krivulje jednakih vrijednosti anomalija, izoanomalije. To su gravimetrijske karte.

OSNOVE INTERPRETACIJE

Interpretacijom anomalija nastoji se utvrditi unutrašnja struktura Zemlje. Mora se, međutim, naglasiti da se gravitacijskim mjerenjima ne dobivaju jednoznačni podaci o toj strukturi niti su dovoljni za njenu interpretaciju. Iz Newtonovog zakona gravitacije proizlazi da se mogu dobiti jednaki rezultati na površini Zemlje za različiti raspored, iznos i oblik masâ u unutrašnjosti. Dakle, rezultati gravimetrijskih mjerenja su mnogoznačni, a mnogoznačnost se uklanja geološkim podacima. Prema tome, interpretacija obuhvaća dva dijela: fizikalno-matematički i geološki. Iz zadnjeg donose se zaključci za praktičnu primjenu. Gravimetrijska metoda nije direktna metoda, što znači da se njome ne otkrivaju direktno određeni materijali. Ona daje indikaciju o geološkim oblicima koji karakteriziraju neke materijale i u kombinaciji s drugim metodama daje praktičke rezultate. Za tijela pravilnih geometrijskih oblika, koja se nalaze ispod Zemljine površine, mogu se izračunati utjecaji na ubrzanje sile teže ili njene promjene na površini, čime se olakšava rad na interpretaciji. Za tijela nepravilnih oblika postoje posebni postupci.

LIT.: *N. Abakumov*, Viša geodezija II, skripta. Stručna sekcija N. O. Tehničkog fakulteta, Zagreb 1946. — *B. Apsen*, Geodetski priručnik II. Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1949. — *N. Svečnikov*, Viša geodezija III. Savezna geodetska uprava, Beograd 1953. — *A. Graf*. Gravimeter. Deutsche geodätische Kommission, Reihe B, Heft 30. Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München 1957. — *J. J. Jakosky*, Geofizička istraživanja. Biblioteka naučnih i stručnih dela, Subotica [2]1963 (prijevod s engleskoga). — *A. Graf*, Gravimetrische Instrumente und Methoden (Jordan-Eggert-Kneissl). Handbuch der Vermessungskunde, Bd. Va, Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1967. — *Н. П. Макаров*, Геодезическая гравиметрия. Недра, Москва 1968. — *К. Веселов-М. Сагитов*, Гравиметрическая разведка. Недра, Москва 1968. — *C. Morelli*, The International gravity standardization net 1971 (IGSN 71). Bureau central de l'association internationale de géodésie, Paris 1974. — *S. Klak*, Gravimetrija. Sveučilište u Zagrebu, 1975.

S. Klak

GRAVITACIJA ili sila teža je općenita pojava međusobnog privlačenja između materijalnih tijela. Sve do XVII st. sila teža nije se dovodila u vezu sa svemirskim objektima. Prava teorija gravitacije uspostavljena je Newtonovim općim zakonom gravitacije, koji se velikom točnošću slagao s astro-