

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

D. Nurmämmedow, M. Handöwletow

GRAWIMETRIÝA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan hödürlenildi

Aşgabat – 2010

D. Nurmämmedow, M. Handöwletow, Grawimetriýa.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

GIRIŞ

Grawimetriýa – Ýeriň dartys meýdanyny häsiýetlendirýän, ululyklary ölçemek baradaky ylym. Agyrlyk güýji onuň potensialy we önümi geodeziýada, geologiýada, geofizikada, kosmonawtikada we ylmyň we tehnikanyň beýleki pudaklarynda giňden ulanylýar.

Grawimetriýa Grek sözi bolup (Grawitas – agyr ... *μετροω* – ölçemek) – agyrlyk güýjüniň tizlenmesini ölçemek diýmekdir.

Ylym hökmünde grawimetriýanyň döremegi I.Nýutonyň (1643 - 1727) döwrüne degişli bolýar. Ol ýeriň aýlanmasy ellipsoid boýunça hereket edýär diýip belleýär we Ýere, birmeňzeş aýlanýan grawitirleýän massa hökmünde seredip, ýer üçin gysylmany hasaplaýar

$$\alpha = \frac{1}{230} .$$

Soňra fransuz matematigi Klero (1713-1765) aryrlyk düýjüniň we ýeriň giňliginiň arasyndaky baglanyşygy belläp geçýär we ol baglanyşygy ýüze çykarýar – ol ýeriň gysylmasyny agyrlyk güýji bilen baglanyşdyrýar (Kleronyň teoremasy). Bu baglanyşyk agyrlyk güýjüniň ölçenilmegine we onuň ýer üstünde paýlanylşyny öwrenmäge itergi berdi.

1849 ý. Stoks (1817-1908) agyrlyk güýjüniň potensialynyň ýeketäkligini subut etdi. Stoksyň teoremasy Kleronyň bellän düşüňjelerini giňeltdi. Bu bolsa Ýeriň üstünde agyrlyk güýjüniň potensialyny kesgitlemegiň meselesini çözmäge mümkinçilik berdi.

Agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň birinji kesgitlenilşini Galileý (1564 - 1642) tarapynda synaglaryň netijesinde erkin gaçýan jisim üçin ýerine ýetirdi. Tejribe belli bolan gyşaran Pizan minarasynda geçirildi. Agyrlyk güýji, Galileý tarapyndan açylan jisimiň erkin gaçmagyň kanunyna baglylykda kesgitlenildi

$$S = \frac{gt^2}{2}$$

Bu ýerde, S - jysymyň geçen ýoly, g – agyrlyk güýjüniň tizlenmesi, t -wagt.

Agyrlyk güýjüniň kesgitlenilşiniň has takyk usuly Gyuygense (1629-1695) degişlidir, bu usul maýatnigiň yrgyldysynyň kanunyna esaslanandyr

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}},$$

bu ýerde, g - agyrlyk güýjiniň tizlenmesi, L -maýatnigiň uzynlygy, T -yrgyldamanyň doly wagty.

XIX – njy asyryň ahyrynda wenger fizigi Etweş täze grawimetriki abzalyny işläp taýýarlady – grawitasiýa wariometry, bu abzal Kulonyň aýlanýan terezisiniň usulynda esaslanan we agyrlyk güýjüniň tizlenmesini däl-de, onuň gorizonta tekizlikde dürli ugurlar boýunça ýokary takyklygy bilen üýtgemegini ölçemäge mümkinçilik berýär. Bular ýaly abzalyň ýüze çykmagy, ýeriň gatlagynyň ýokarky böleginde dykzlyk birmeňzeş dældigini öwrenmeklik tejribede amaly geologiki meselelerini çözmäge mümkinçilik berýär.

Grawimetriýanyň geodeziýada ulanylyşy – Ýeriň üstüniň nusgasy bilen daşky grawitasiýa meýdanynyň elementleriniň arasyndaky meseleleri çözmeklik üçin ulanylýar. Mundan başga-da, grawimetriki maglumatlar astronomo-geodeziki ölçemeleriň umumy toplumynda – punktlaryň belentligi kesgitlenende, asma jisimiň astronomo-geodeziki gyşarmalary hasaplananda, ellipsoidiň üstünde ölçemeleriň netijeleri redusirlenende ulanylýarlar. Geodeziki grawimetriýa F.M.Krasowskiniň hödürlän taslama usuly bilen triangulýasiýanyň üstünde işlenende gerek bolýan ellipsoidden geoidiň gyşarmasynda alnan ululyklaryň takyk bahalaryny alynmaga mümkinçilik berýär.

Häzirki wagtda topografiki kartalaşdyrmalar üçin geodeziki daýanç tory giňeldilende astronomiki koordinatlary

grawimetriki düzedişleri bilen düzetmegiň usuly giňden peýdalanylýar.

Grawirazwedkanyň geologiýada ulanylşy-Ýer gabarasynyň geologiki gurluşynyň gözlegleriniň we peýdaly magdanlaryň gözlegleriniň esasy usullarynyň biri bolup durýar. Grawigözleg geologiki obýektleriň çekiji ululygyny öwrenmekde, çekiji meýdany bilen özüne çekýän agramlaryň paýlanylşynyň arasynda baglanşygyny bellemekde esaslanan. Mundan başga-da agyrylyk güýjüniň we ýeriň grawitasiýa meýdanynyň beýleki elementleriniň ululygynyň üýtgeýişiniň öwrenilende esaslanan, grawimetriýanyň maglumatlara esaslanýar (hususanda, Aýyň we Günüň çekijiligi bilen emele getirilýän, agyrylyk güýjüniň tizlenmesiniň üýtgemeleri). Ýeriň fizikasynyň meseleleriň çözülişinde— Ýeriň içinde bolup geçýän fiziki hadysalaryny we Ýeriň içki gurluşyny we fiziki-himiki häsiýetlerini öwrenmeklikde giňden ulanylýarlar.

Raketa-kosmiki tehnikada we kosmiki gözleglerinde grawimetriki maglumatlaryny ulanylşy, raketalaryň we kosmiki uçýan apparatlaryň orbitalary hasaplamagyň takyklygyny ýokarlandyrmak zerurlygy bilen bagly bolup durýar.

Geljekde grawimetriýanyň önünde Aýy we planetalary, olaryň grawitasion meýdanyny öwrenmek wezipesi durýar.

Metrologiýada grawimetriýanyň maglumatlary etalonlary ýerine ýetirilende fiziki parametrler (güýç, basyş, dartylma, toguň güýji we ş.m.) ýokary takyklykda ölçenende gerek bolýar, ol ýerde agyrylyk güýjüniň tizlenmesiniň takyk bahalaryny bilmek zerur bolýar.

Häzirki döwürde Ýeriň grawitasiýa meýdanyny öwrenmek üçin hemraly (distansion) usullar ulanylýar. Bu usul bilen Ýeriň emeli hemralarynyň orbitalarynyň elementleriniň üýtgemeginde, Ýeriň nusgasyny öwrenmek üçin gerek bolýan meýdanyň parametrlerini kesgitlemekde giňden peýdalanylýar.

Bu okuw gollanmada, “Inženerçilik geodeziýasy” hünäri boýunça okaýan talyplar üçin “Grawimetriýa” dersiniň

maksatnamasyna laýyklykda aşakdaky esasy soraglara seredilýär :

- ýeriň grawitasiýa meýdanynyň nazaryýeti;
- agyrlýk güýjüniň we onuň potensialynyň ikinji önümleriniň ölçenilşi;
- grawimetriki abzallar;
- grawimetriki daýanç torlar we grawimetriki kartalaşdyrma.

I. ÝERIŇ GRAWITASION MEÝDANYNYŇ NAZARYÝETI

I.1. Agyrlýk güýji we onuň potensialynyň ikinji önümi

Grawimetriýanyň nazaryýeti hökmünde, 1687 ý. I.Nýuton tarapyndan kesgitlenen, bütindünýä dartyлма kanunydyr, oňa laýyklykda, m_1 we m_2 massaly iki nokat özara

\vec{F} güýji bilen çekilýärler, güýç şol nokatlaryň agramlarynyň köpeltmek hasylyna göni proporsional we nokatlaryň arasyndaky r aralygyň kwadratyna ters proporsionaldyr

$$\vec{F} = f \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1.1.)$$

bu ýerde, f -dartyлmanyň hemişeligi (grawitasiýa hemişeligi), ony kesgitlemek üçin aýlanan tereziniň kömegi bilen, agramlary, ölçegleri we ýerleşşi belli bolan iki jisimiň özara täsir ediji güýjüni ölçeyärler. $f=(6,6720\pm0,0041) \cdot 10^{-11}$ (m²/kg²) tejribäniň kömegi bilen kesgitlenýär.

Ýeriň bir nokadynyň massasyna üç güýç täsir edýär:

1. Nokat bilen ýeriň agramynyň arasynda I.Nýutonyň

kanunyna laýyklykda döreýän \vec{F} , çekiş güýji;.

2. Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanmagynyň netijesinde döreýän \bar{P} merkezden daşlaşýan güýç;

3. Asman jisimleriniň - \bar{F}_1 çekiji güýji.

Bu güýçleriň jemi Ýeriň agyrlýk güýjüniň tizlenmesini – \bar{G} -ni döredýär.

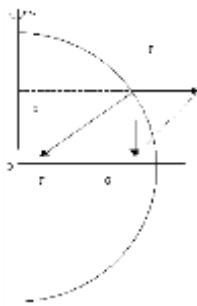
$$\bar{G} = \bar{F} + \bar{F}_1 + \bar{P} \quad (1.2)$$

\bar{F} çekiş güýji Ýeriň içinde massanyň paýlanylyşyna we Ýeriň nusgasyna bagly bolýar.

Asman jisimleriniň çekiş güýji \bar{F} , gös-göni Nýutonyň kanunyna (1.1) bagy bolýar.

Merkezden daşlaşýan güýç \bar{P} , ρ okuň uzynlygyna we Ýeriň aýlanmasyndaky burç ω tizliginiň kwadratyna göni proporsionaldyr.

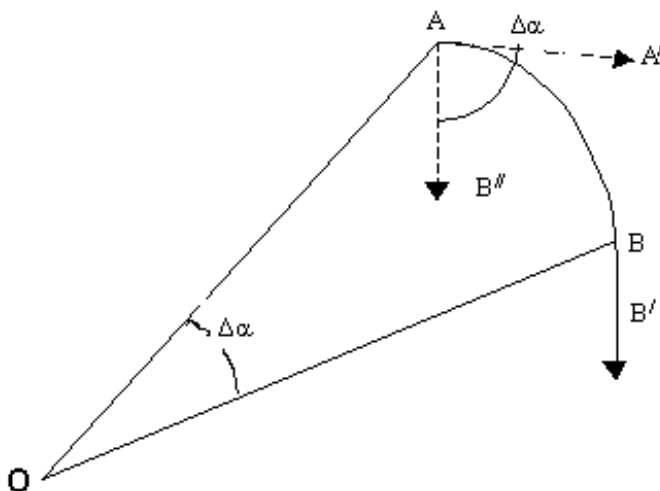
$$\bar{P} = \rho \omega^2 m \quad (1.3).$$



1-nji surat

Merkezden daşlaşýan güýjüniň ugury kiçi tegelegiň radyusy bilen gabat gelyär, ol tegelek boýunça-da aýlanma emele geýär. Merkezden daşlaşýan güýç çekiş güýjüni azaltmaga ymtylýar. Nokadyň töwerek boýunça deň hereketinde v tizligiň ululygy boýunça hemişelik, bolup her pursatda galtaşýan çyzygy boýunça hereket edýär, diýmek ugur boýunça üznüksiz üýtgeýär. Bu üýtgeме merkeze ymtylýan

tizlenmäni häsiýetlendirýär.



2-nji surat

2-nji suratda $\vec{AA^1}$ we $\vec{BB^1}$ wektorlar görnüşinde, Δt wagt pursatlaryndaky çyzykly tizlikler görkezilen. A we B nokatlaryň arasynda uly bolmadyk $\Delta\alpha$ burç aralygy diýip kabul edeliň. Onda töweregiň radiusy ρ bolanda

$$g = \rho \frac{\Delta\alpha}{\Delta t};$$

bolýar $\overrightarrow{BB^1}$ - wektoryň uguryny saklap, onuň başlangyjyny A nokadyna geçireliň. Burç $A'AB'' = \Delta\alpha$, bolany üçin, ugur boýunça tizligiň üýtgeýşi – $\mathcal{G}\Delta\alpha$, ýaýyna deň we $\frac{\mathcal{G}\Delta\alpha}{\Delta t}$, gatnaşyk merkezden daşlaşýan tizlenmäni berýär. Bu ýere \mathcal{G} -niň ýerine degişli aňlatmany goýsak $\frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$ gatnaşygy w burç tizligiň manysyna eýe bolýar, onda merkezden daşlaşýan tizlenmäni tapýarys

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \rho\omega^2.$$

Dartyş güýjüniň ýagdaýyndaky ýaly, hereket edýän nokadyň massasy bire deň diýip kabul etsek, onda merkezden daşlaşýan tizlenmäniň ýerine merkezden daşlaşýan güýç diýen kesgitlemäni ulanarys, ol şu formulanyň üsti bilen görkezilýär

$$P = \rho w^2. \quad (1.4)$$

Dartyş güýjiň çekilişi we merkezden daşlaşýan güýjiň dartylmasynyň jemi dartylmanyň çekiş güýjini düzýär. Bu ýerden dartgynlyk- tizlenme bolup durýar, şol bir nokadyň üstünden jisim Ýeriň dartgynlygy we merkezden daşlaşýan güýjiň täsiri bilen hereket edip geçýär.

Ýeriň ýüzündäki her bir nokatda ýeriň çekiş güýji dürli-dürlidir, bu güýç ekwatordan polýusa tarap köpelip başlaýar, Ýeriň merkezi massasyna çenli aralyk azalýar (bu bolsa \bar{F} köpelmegine eltiýar (1.2)), aýlanma okuna çenli aralyk gysgalýar (onda merkezi güýç \bar{P} azalýar). Bu ýerde hemme üýtgeşmeler biri-birine bagly bolýar, bu bolsa, Ýeriň görnüşine we içki gurluşyna baglydyr.

(1.4.) laýyklykda derejeli üstleriň arasyndaky aralyk deň bolmaýar, ol agyrlyk güýjüniň ululygyna ters proporsional bolýar.

CGS ulgamynda agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň birligi hökmünde şeýle tizlenme kabul edilen, birlik uzynlyga bir g massanyň täsir edýän güýji. Tizlenme birligi hökmünde ilkinji gezek agyrlyk güýjüni ölçän Galileý – *Gal* diýlip atlandyryldy.

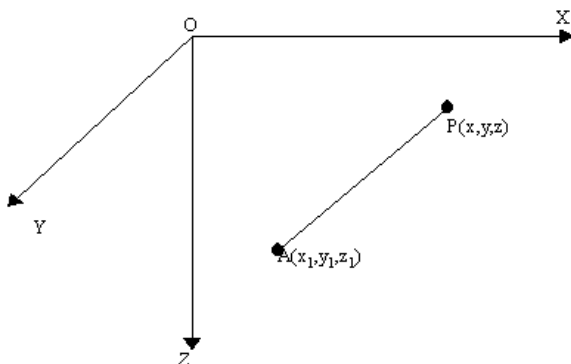
$$[Gal] = \frac{[uzynlyk]}{[gramm]} = \frac{[sm]}{[sek^2]};$$

SI birlikleriň Halkara ulgamynda tizlenme birligi hökmünde s^{-2} ululygy kabul edilen, ol 100 *Gal* deň. Tejribede amatlylyk üçin agyrlyk güýjüniň ownuk ölçeme birlikleri ulanýarlar.

0,001 *Gal* – *milligal* (*mGal*) we 0,000001 *Gala-mikrogal*.

Ýerde agyrlyk güýji orta hasap bilen 980 *Gal* deň, bu ýerde golaýladylan hasaplamalar üçin $1mGal \approx 10^{-6}g$ alynýar, diýmek bir milligal çen bilen ýer üstünde gözegçilik edilýän agyrlyk güýjüniň bir million bölegine deň. Ýeriň üstünde ýeriň meýdanynyň doly dartylmasy ekwatorda 978 *Gal*-dan, 982,5 *Gal*-a çenli polýuslarda üýtgeýär.

Munuň bilen bir hatarda SI Halkara birlikler ulgamynda agyrlyk güýjüniň meýdanynyň dartylma birligi hökmünde şeýle hem Nýuton (N) ulanylýar. N – bu, bir kg-da bir m/s^2 tizlenmede görkezilýän dartgynlyk. Dartyşyň potensialyny 3-nji suratyň üsti bilen düşündirmek bolýar.



3-nji surat

Göniburçly koordinatlaryň ulgamynda iki sany material nokatlar ýerleşdirilen, $P(x, y, z)$, $A(x_1, y_1, z_1)$ dartyş nokadtlar koordinatlary we massasy dm bilen ýerleşdirilen. Olaryň arasyndaky aralyk

$$r = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} \quad (1.5)$$

formulla boýunça kesgitlenýär.

Nýutonyň belli bolan kanunyna laýyklykda şol material nokatlaryň arasynda dartyş güýçleri bar

$$d_F = f \frac{dm}{r^2} \quad (1.6),$$

bu ýerde $dm = \sigma dx_1 dy_1 dz_1$.

Koordinatlaryň oky boýunça güýjüň dP proyeksiýalaryny, dF burçlaryň kosinuslaryna köpeldip tapylýar

$$dF_x = dF \cos(F, x),$$

$$dF_y = dF \cos(F, y),$$

$$(1.7).$$

$$dF_z = dF \cos(F, z).$$

Analitiki geometriýadan belli bolşy ýaly, burçlaryň kosinuslary P we A nokatlaryň koordinatlarynyň üsti bilen şeýle görnüşde ýazylýar

:

$$\cos(F, x) = \frac{x_1 - x}{r}, \cos(F, y) = \frac{y_1 - y}{r}, \quad (1.8).$$

$$\cos(F, z) = \frac{z_1 - z}{r}.$$

Diýmek

$$dF_x = f \frac{x_1 - x}{r^3} dm, dF_y = f \frac{y_1 - y}{r^3} dm \quad (1.9)$$

$$dF_z = f \frac{z_1 - z}{r^3} dm$$

Dartyş jisimiň ähli göwrümi boýunça integrirläp, bu jisimiň P nokadyna bolan dartyş güýjüň düzüjilerini alýarys :

$$F_x = f \int_v \frac{x_1 - x}{r^3} dm, F_y = f \int_v \frac{y_1 - y}{r^3} dm \quad (1.10)$$

$$F_z = f \int_v \frac{z_1 - z}{r^3} dm$$

Amatlyk üçin üç gat integralyň ýerine bir integral \mathcal{G} boýunça integraly ýazalyň, ol bolsa integrirlemäniň göwrüm boýunça geçirilýändigini görkezýär.

(1.10) aňlatmadan görnüşi ýaly, olaryň hemmesi şol bir funksiýasynyň önümleridigini görmek bolýar, bu funksiýa bolsa dartgynlygyň potensialy diýlip atlandyrylýar.

$$\mathcal{G} = f \int_v \frac{dm}{r} \quad (1.11)$$

Hakykatdan hem

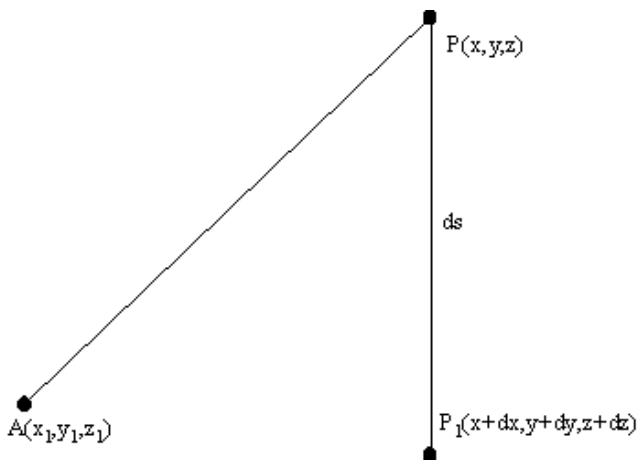
$$\begin{aligned} \frac{d\mathcal{G}}{dx} &= f \int_v \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{\left[(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 \right]^{1/2}} \right\} dm = \\ &= f \int_v \frac{1}{\left[(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 \right]^{3/2}} dm = f \int_v \frac{x_1 - x}{r^3} dm \end{aligned} \quad (1.12)$$

(1.11) deňlemäni y we z boýunça differensirläp alarys

$$F_y = \frac{d\mathcal{G}}{dy}, \quad F_z = \frac{d\mathcal{G}}{dz} \quad (1.13).$$

Bu ýerden aşakdaky kesgitleme gelip çykýar. Dartgynlygyň potensialy diýlip belli bir funksiýa aýtmak bolýar, olar koordinatlar oklary boýunça hususy önümleridir, şol oklar dartýş güýçleriň proyeksiýalary bolup durýarlar.

Grawimetriýada derejeli üst baradaky düşünje ähmiýetli bolup, şol üstde potensialyň bahasy hemişelik bolup durýar. Derejeli üst barada düşüňjäni almak üçin, P dartylýan nokadyň, ds aralykda erkin ugr boýunça hereketine seredeliň



4-nji surat

P nokadyň süýşmeginde x, y, z koordinatlar aşakdaky artdyrmany alýarlar,

$$dx = ds \cos(s, x)$$

$$dy = ds \cos(s, y) \quad (1.14).$$

$$dz = ds \cos(s, z)$$

Onda P_1 – nokadynda potensial aşakdaky görnüşindäki artdyrmany alýar

$$d\varphi = \frac{d\varphi}{dx} dx + \frac{d\varphi}{dy} dy + \frac{d\varphi}{dz} dz. \quad (1.15).$$

(1.14) aňlatmadan dx, dy, dz -iň we (1.12) – (1.13) bahalaryny, (1.15) goýup

$$d\varphi = F_x ds \cos(s, x) + F_y ds \cos(s, y) + F_z ds \cos(s, z) \quad (1.16)$$

alarys,

$$\begin{aligned} F_x &= F \cos(F, x); \quad F_y = F \cos(F, y); \\ F_z &= F \cos(F, z) \end{aligned} \quad (1.17)$$

göz önünde tutup,

$$d\mathcal{G} = F ds [\cos((F, x) \cos(s, x) + \cos(F, y) \cos(s, y) + \cos(F, z) \cos(s, z)] \quad (1.18)$$

ýazyp bileris.

Kwadrat skobkadaky aňlatma F we s ugurynyň arasyndaky burçuň kosinusyny görkezýär, diýmek

$$d\mathcal{G} = F \cos(F, s) ds \quad (1.19)$$

ýa-da

$$\frac{d\mathcal{G}}{ds} = F \cos(F, s) \quad (1.20).$$

diýmek, islendik erkin ugur boýunça potensialyň önümi şol ugurdaky dartys güýjüniň proyeksiýasyna deň bolýar. (1.20.) aňlatmanyň iki hususy ýagdaýyna seredeliň :

1. Ýagdaý– s ugury F güýjüň uguryna perpendikulýar. Onda

$$\cos(F, s) = 0$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{ds} = 0 \quad (1.21).$$

ýa-da,

$$\mathcal{G}(x, y, z) = \text{const}, \quad (1.22).$$

bu, üstleriň deňlemesi bolup durýar. Olarda potensialyň bahasy hemişelikdir, özem F güýç onuň her bir nokadynyň

normalyna görä ugrukdyrylan. Şolar ýaly üstler **derejeli üstler** diýip atlandyrylýarlar. Hemişeligiň dürli bahalary dürli derejeli üstlere gabat gelýärler.

2. Ýagdaý- S ugur F güýjüň ugury bilen gabat gelýär. Onda

$$\cos(F, s) = 1,$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{ds} = F. \quad (1.23).$$

Ahyrky artdyrmalara geçip

$$\frac{d\mathcal{G}}{ds} = F \quad \text{ýa-da} \quad ds = \frac{d\mathcal{G}}{F} \quad (1.24)$$

ýazmak bolýar.

Soňky deňlemä laýyklykda iki sany derejeli üstüň arasyndaky aralyk potensialyň tapawudyna göni proporsional we dartyş güýjüne ters proporsionaldyr.

Şeýlelik bilen, eger-de belli bir ugur boýunça dartyş güýji derejeli üste görä kiçelýän bolsa, onda derejeli üstleriň arasyndaky aralyk ulalýar we tersine.

Eger-de (1.23.) aňlatmany

$$d\mathcal{G} = Fds \quad (1.25)$$

görnüşinde ýazsak, onda Brunsyň teoremasyny alarys, onuň fiziki manysy aşakdaky görnüşde bolýar, potensial – bu iş, ol, P nokadyna tükeniksizlikden massa birliginiň golaýlamagynda, dartyjy jisim bilen şertlenen, dartyjy meýdanyň güýçleri bilen ösýär. Potensialaryň tapawudy iş hökmünde kesgitlenýär, ony (iş) P nokatdan ds aralyga birlik agramynyň süýşmegi üçin dartyjy agramyň ulalýan dartyş güýjüni ýeňip geçmek üçin sarp etmelidir.

I.2. Merkezden daşlaşýan güýjüň potensialy

Mehanikadan belli boluşy ýaly merkezden daşlaşýan güýç

$$C = \frac{mv^2}{r_1} \quad (1.26)$$

deň bolýar, bu ýerde v -nokadyň çyzykly tizligi; r – nokadyň we aýlanma okunyň arasyndaky aralyk.

Dartyjy nokadyň massasyny $m=1$ diýip kabul etsek, onda

$$C = \frac{v^2}{r_1} \quad (1.27).$$

ýazyp bileris.

Çyzykly tizligi burç tizligine çalşyryp, alýarys

$$v = \omega r_1 \quad (1.28),$$

alarys, onda

$$C = \omega^2 r_1 \quad (1.29).$$

Koordinatlar oklary boýunça düzüjiler aşakdaky görnüşde

$$\begin{aligned} C_x &= C \cos(C, x) \\ C_y &= C \cos(C, y) \\ C_z &= C \cos(C, z). \end{aligned} \quad (1.30)$$

ýazylar.

Merkezden daşlaşýan güýjüniň aýlanma okuna perpendikulýar bolýanlygy hem-de aýlanma oky z oky bilen gabat gelýär diýip kabul etsek, merkezden daşlaşýan güýjüň ugury r_1 ugury bilen gabat gelýär, onda

$$\cos(r_1, x) = \frac{x}{r_1}$$

$$\cos(r_1, y) = \frac{y}{r_1}$$

$$\cos(r_1, z) = 0.$$

Şeýlelikde

$$C_x = \omega^2 x, \quad C_y = \omega^2 y, \quad C_z = 0 \quad (1.32)$$

Oklar boýunça merkezden daşlaşýan güýjüň düzüjileri üçin aňlatmalar aşakdaky funksiýanyň hususy önümleri bolup durýarlar, bu funksiýa merkezden daşlaşýan funksiýany potensialy diýlip atlandyrylýar.

$$Q = \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2), \quad (1.33)$$

onda

$$\frac{dQ}{dx} = C_x, \quad \frac{dQ}{dy} = C_y, \quad \frac{dQ}{dz} = C_z = 0 \quad (1.34).$$

Agyrlyk güýji ýokarda görkezilişi ýaly, iki güýjüň deňtäsi redijisi bolup durýar. Diýmek agyrlyk güýjüniň potensialy hem dartyjy potensiallaryň we merkezden daşlaşýan güýjüň jemi bolup durýar.

$$W = \mathcal{G} + Q = f \int_v \frac{dm}{r_1} + \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2) \quad (1.35)$$

Oklar boýunça agyrlyk güýjüniň potensialynyň hususy önümleri, şol oklar boýunça agyrlyk güýjüniň proyeksiýalaryna deň bolýar, ýagny

$$\frac{dW}{dx} = g_x = f \int_v \frac{(x_1 - x) dm}{r^3} + \omega^2 x, \quad (1.36)$$

$$\frac{dW}{dy} = g_y = f \int_v \frac{(y_1 - y) dm}{r^3} + \omega^2 y, \quad (1.37)$$

$$\frac{dW}{dz} = g_z = f \int_v \frac{(z_1 - z) dm}{r^3} \quad (1.38)$$

görnüşde ýazyp bolar.

Agyrlyk güýjüniň potensialy – dartyş potensialynyň häsiýetlerine eýe bolýar. Tükeniksizlikde agyrlyk güýjüniň potensialynyň bahasy bu häsiýetlere eýe bolmaýar, $r \rightarrow +\infty$, merkezden daşlaşýan güýç nola deň bolmaýar, ol tükeniksizlige deň ymtylýar.

Eger-de

$$\begin{aligned} g_x &= g \cos(g, x), \\ g_y &= g \cos(g, y), \\ g_z &= g \cos(g, z), \end{aligned} \quad (1.39).$$

onda z okunyň uguryny, agyrlyk güýjüniň ugury bilen gabat getirip,

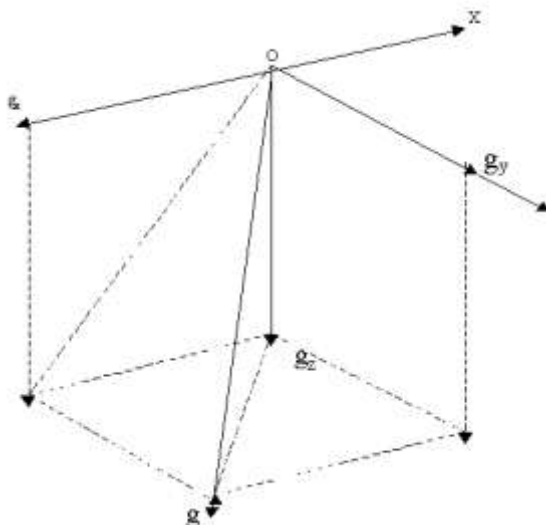
$$g_x = g_y = 0, \quad g_z = g,$$

alýarys,

Şeýlelik bilen, z oky boýunça agyrlyk güýjüniň düzüjisi agyrlyk güýjüniň doly bahasyna deň bolýar.

Agyrlyk güýjüniň potensialy göni ölçenilmeýär. Gözegçilikleriň netijesinde köplenç g deň bolan tizlenmäni san bahasy boýunça $\frac{dW}{dn}$ ýa-da potensialdan alynan ikinji tertipli önümler boýunça tapylýar.

Potensialyň ikinji önümine seredeliň



5-nji surat.

Goý O nokady – Ýeriň üstünde erkin nokat, g wektor asma çyzygyň uguryny kesgitleýär, z oky asma çyzygy bilen u kiçi burçy emele getirýär, z oky demirgazyga y oky – gündogara ugrukdyrylan, x , y , z oklary boýunça potensialyň birinji önümleri

$$\frac{dW}{dx} = W_x, \quad \frac{dW}{dy} = W_y, \quad \frac{dW}{dz} = W_z$$

g wektoryň koordinat oklaryna bolan proyeksiýalaryna g_x , g_y , g_z deň bolýarlar özem $g_z = W_z$ proyeksiýasy ululygy boýunça agyrlyk güýjüniň tizlenmesi bilen deň bolýar, $g_x = W_x$ we $g_y = W_y$; proyeksiýalar bolsa meridianyň we birinji dik çyzygyň

tekizliginde u burçunyň $\frac{g_x}{g}$ we $\frac{g_y}{g}$ düzüjilerini

kesgitleýärler.

$$W_{zz} = \frac{dg}{dz}, \quad W_{xz} = \frac{dg}{dx}, \quad W_{yz} = \frac{dg}{dy} \quad \text{önümleri}$$

agyrlyk güýjüniň gradiýentiniň bölekleri bolup durýarlar;

W_{zz} – agyrlyk güýjüniň **wertikal gradienti**,

W_{xz} we W_{yz} – agyrlyk güýjüniň **gorizontal gradienti** diýlip atlandyrylýar.

Bu gradiýentleriň ikisi potensialyň ikinji önümlerini düzýärler.

I.3. Ýeriň normal grawitasiýa meýdany

Ýeriň grawitasiýa meýdany iki bölekden durýar, normal grawitasiýa we galyndy anomal meýdanyndan.

Geodeziýada normal meýdanyny, üsti derejeli bolup durýan, aýlanmagyň grawitirleýji ellipsoidiniň meýdany hökmünde kesgitlenýär. Bu ellipsoid **derejeli ellipsoid ýa-da normal Ýer** diýlip atlandyrylýar. Normal ýeriň massasy, üstüniň nusgasy, aýlanmagyň burç tizligi boýunça, normal ýeriň daşky giňişliginiň islendik nokadynda u normal potensialyny we normal meýdanyň beýleki elementlerini hasaplamaga mümkinçilik berýär. Normal agyrlyk güýji γ_u potensialyň gradiýenti ýaly kesgitlenýär

$$\gamma = \frac{du}{dz} \quad (\text{I.40})$$

bu ýerde z – normal grawitasiýa meýdanyň derejeli üstüne görä normalyň ugry.

Normal agyrlyk güýjüniň γ_0 normal ýeriň üstünde üýtgemeginiň kanuny aşakdaky baglanşyk bilen kesgitlenýär

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B) \quad (\text{I.41})$$

bu ýerde B – nokadyň giňligi β , β_1 – koefisiýentler, γ_e – ekwator daky normal agyrlyk güýji.

(I.41) laýyklykda polýusda normal agyrlyk güýji

$$\gamma_P = \gamma_e(1 + \beta) \quad (1.42).$$

deň bolýar.

Diýmek $\beta = \frac{\gamma_P - \gamma_e}{\gamma_{e1}}$ koeffisiýenti polýusda agyrlyk

güýjüniň otnositel artykmaçlygyny görkezzer.

Normal Ýer üçin $\gamma_e \approx 978,0 \text{ Gal}$, $\gamma_P = 983,2 \text{ Gal}$

Şeýlelik bilen, normal agyrlyk güýjüniň ekwatorndan polýusa tarap üýtgemegi $\gamma_P - \gamma_e \approx \gamma_e \beta = 5,2 \text{ Gal}$ deň, diýmek doly agyrlyk güýjüniň 0,53 % deň, ýagny $\beta \approx 0,0053$.

$\gamma_e \beta = 5,2 \text{ Gal}$ ululyk normal agyrlyk güýjüniň grawitasiýa we merkezden daşlaşýan düzüjileriniň jemlenen üýtgeýşi bolup durýar. Olara aýratynlykda seredeliň.

Ekwatorda dartysyň merkezden daşlaşýan güýji we (1.3) laýyklykda modul boýunça $\omega^2 a$ deň bolýar, bu ýerde a -Ýer ellipsoidiniň uly ýarymoky ýer üçin $\omega = 2\pi/86164$ (maýdalawjyda ortaça ýyldyz günlerindäki sekundlaryň sany), ýa-da da $\omega = 7,292 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$, $a = 6,378 \times 10^6 \text{ m}$ onda $\omega^2 a = 3,4 \text{ Gal}$ ýa-da γ_0 doly ululygyň 0,35%.

Normal ýeriň üstünde dartys güýjüniň doly üýtgemegi $5,2 - 3,4 = 1,8 \text{ Gal}$ ýa-da γ_0 ululygyň 0,18 % deň bolýar.

Ýeriň normal agyrlyk güýjüni hasaplamakda esasy üç formula ulanylýar.

1. Gelbertiň formullasy (1901-1909ý.ý.).

$$\gamma_0 = 978030 (1 + 0,005302 \sin^2 B - 6,0000070 \sin^2 2B) \text{ mGal}$$

bu ýerde γ_e we β koeffisiýentleriň bahalary (1.52) deňleme bilelikde çözmeklik bilen tapylýar. Ýeriň içki gurluşy barada $\beta_1 = 0$ takmynan kabul edilýär. Ýeriň gysylmasy 1:298,2, bu bolsa Krasowskiniň ellipsoidiniň görkezijilerine (1:298,3) we ýeriň emeli hemrasynyň gözegçiliklerine laýyklykda alynýan (1:298,26) bahalara ýakyndyr.

2. Kassiniyiň formula (1930).

$$\gamma_0 = 978049 (1 + 0,0052884 \sin^2 B - 0,0000059 \sin^2 2B) \text{ mGal.}$$

Heýfordyň ellipsoidi üçin hasaplanan ($a=6378388m$, $\alpha=1:297$) bu β we $\beta_I=5,9 \cdot 10^{-6}$ ululyklary kesgitledi, γ_e ululygy Heýskanen tarapyndan bütindünýä grawimetriki kartalaşdyrmanyň maglumatlary boýunça alyndy.

Kassinisiň formulasyndan Gelmeriň formulasyna geçmek üçin aşakdaky baglanşyk bar.

$$\gamma_0^r = \gamma^K - (19,0 - 13,2 \sin^2 B + 1,076 \sin^2 2B) \text{ mGal.}$$

3. Halkara geodeziki we geofiziki birleşigiň normal deňlemesi. (HGGB, 1967; MGGS, 1967).

$$\gamma_0 = 978031,8 (1 + 0,0053024 \sin^2 2B - 0,0000059 \sin^2 2B) \text{ mGal} \\ (1.43)$$

Kassinisiň deňlemesinden 1967 ýylyň deňlemesine geçirilende

$(-17,2 + 13,6 \sin B) \text{ mGal}$ deň bolan düzedişi girizilýär. Ýeriň massasy γ kesgitlenende HGGB – 1967 ýylyň deňlemesine Ýeriň agramy kesgitlenende normal Ýeriň üstünde kondensirlenen atmosferanyň massasy goşulýar.

$$\Delta \gamma_a = \delta \gamma_a - \frac{f M_a}{(R + H)^2}$$

we normal atmosferanyň dartyşy üçin düzediş diýlip atlandyrylýar. $\Delta \gamma_a$ bahalary belentlige bagly bolýar, deňiz derejesinde $0,87 \text{ mGal}$ –dan we $0,23 \text{ mGal}$ 10 km belentlikde Normal agyrylyk güýjüni hasaplamak üçin formulalaryň üçüsi boýunça ýörite düzülen tablisalar bar.

Normal agyrylyk güýji giňliklere baglylykda dürli bahalary alyp biler

B, gradus	0	$\pm 20^{\circ}$	± 40	± 60	± 80	± 90
γ_0 , Gal	978,0	978,6	980,2	981,9	983,1	983,2

Mysal üçin Moskwanyň giňligi üçin ($B = 55,8^\circ$) $\gamma_0 \approx 981,6 \text{ Gal}$,
Guşgy üçin ($B = 35^\circ 08$) $\gamma_0 \approx 979,7 \text{ Gal}$. Tapawut $1,9 \text{ Gal}$.

Ýeriň, Aýyň we Marsyň grawitasion meýdanlarynyň
häsiýetnamasy

1-nji tablisa

Normal meýdan	Anomal meýdan
<p>Ýer</p> <p>Normal agyrlyk güýjüniň ekwatoraky bahasy γ_e Gal 978,0</p> <p>Agyrlyk güýjüniň polýusdakydan ekwatoraky bahasynyň tapawudy $\gamma_P - \gamma_e$, Gal 5,2</p> <p>Ekwatoraky merkezden daşlaşýan güýç $\omega^2 a$, Gal 3,4</p> <p>Agyrlyk güýjüniň normal dik (wertikal) gradiýenti $\frac{d\gamma}{dH}$ mGal 3086</p> <p>Berlen giňlikde agyrlyk güýjüniň gorizonta gradiýenti</p>	<p>Agyrlyk güýjüniň anomaliýasynyň iň uly (maksimal) bahasy $g - \gamma$, Gal</p> <p>nokatda +669 trapesiýada $1^\circ \times 1^\circ$ +342</p> <p>trapesiýada $5^\circ \times 5^\circ$ +55 Agyrlyk güýjüniň orta kwadratiki anomaliýasy, mGal</p> <p>nokatda 42,4 trapesiýada $1^\circ \times 1^\circ$ 30,2 trapesiýada $5^\circ \times 5^\circ$ 17,2</p> <p>Asmanyň gyşarmasy: iň uly bahasy 1'</p>

$45^\circ \frac{d\gamma}{dx}, mGal$	0,81	orta kwadratiki bahasy	8°
Aý		Maksimal bahalar:	
γ_e, Gal	162,2	Dartylmanyň anomaliýasy, $mGal$	500
$\omega^2 a, Gal$	0,001	Asylma gyşarmasy	7'
$\frac{d\gamma}{dH}, mGal/m$	0,18	Maksimal bahalar:	
Mars		Dartylmanyň anomaliýasy, $mGal$	200
γ_e, Gal	372	Asmanyň gyşarmasy	1,9'
$\gamma_P - \gamma_e, Gal$	2,4		
$\omega^2 a, Gal$	1,75		
$\frac{d\gamma}{dH}, mGal/m$	0,22		

I.4. Anomal grawitasiýa meýdany

Agyrlyk güýjüniň anomaliýasy –hakyky g (ölçenen) we normal γ (nazary) agyrlyk güýjüniň ululyklarynyň tapawudy ($g - \gamma$), gyşarma bilen häsiýetlendirilýär (asma çyzygynyň üýtgemegi). Agyrlyk güýjüniň ölçenen bahasyny hemişe fiziki üstde alynýar. Anomaliýanyň döremegi üçin agyrlyk güýjüniň ölçenen bahasyny ellipsoidiň nokadyna geçirmeli ýa-da teoretiki bahany synlanýan nokadyna redusirlemeli. Nazarywe fiziki bahalaryň tapawudy agyrlyk güýjüniň belentliginiň üýtgeýşiniň täsiriniň netijesiniň üsti bilen görkezilýär.

$$\Delta g = 2 \frac{\gamma}{R} \Delta H \quad (1.44)$$

bu ýerde R – Ýeriň ortaça radiusy, γ - ýeriň agyrlyk güýjüniň ortaça bahasy,

ΔH – beýikligiň üýtgeýşi.

San görkezmede bu formula aşakdaky görnüşde ýazylýar

$$\Delta g = -3086 \Delta H, \quad (1.45)$$

bu ýerde ΔH beýiklik 3 m ulalanda agyrlyk güýji 1 m Gal-a kiçelýär,

γ -ny aşakdaky deňlemeden tapylýar,

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{d\gamma}{dH} H = \gamma_0 - 0,3086 H. \quad (1.46)$$

bu ýerde H -punktyň beýikligi.

$$g - \gamma = g - \left(\gamma_0 + \frac{d\gamma}{dH} \right) H = g - (\gamma_0 - 0,3086 H)$$

tapawuda erkin howadaky anomaliýa diýilýär.

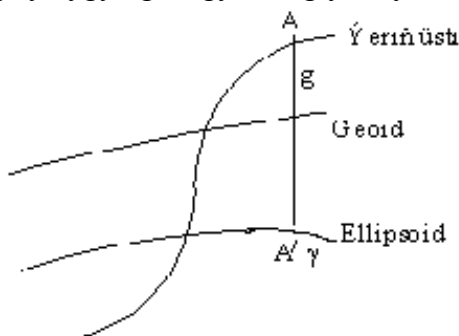
Asma jisimiň iň uly gyşarmalary $\approx 1'$ deň we olaryň

bahasynyň üýtgeýşi Ýer üstüniň gurluşynyň birmeňzeş däldigi bilen bagly bolýar.

Tejribede agyrlyk güýjüniň anomaliýalaryny grawimetriki kartalar görnüşinde, we **izoanomaliýalar** diýlip atlandyrylýan agyrlyk güýjüniň deň bahalarynyň çyzyklaryny görkezýärler.

Agyrlyk güýjüniň potensialynyň ikinji önümleriniň anomaliýalary ýerli golaýda ýerleşýän ýer gabarasynyň birmeňzeş däldigi we relýefiň dartyşy bilen şertlenen. Olar tekiz ýerde ýüzlerçe etweşlere dagly etraplarda münlerçe etweşlere çenli ýetýärler. Şeýlelik bilen, agyrlyk güýjüniň anomaliýalary alnan nokatda, teoretiki bahasyna görä, agyrlyk güýjüniň hakyky bahasyndan gyşarmasyny häsiýetlendirýär. Reduksiýalaryň kömegi bilen ýeriň fiziki üstünde synlanýan agyrlyk güýjüniň bahasy deňeşdirilýän umumy üstde getirilýär (mysal üçin, deňiz derejesine). Şonda anomaliýanyň ady ulanylan reduksiýanyň haýsy usul bilen hasaplanyşyna bagly bolýar.

Agyrlyk güýjüniň reduksiýasy – bu, belentlik üçin agyrlyk güýjüniň bahasynyň düzedilişi we aralyk güýjüniň gatlagynyň dartyşy, diýmek, steroidleriň üstünden geoidiň artdyrmasy üçin we gündizki üstüň we getirilme derejesiniň arasyndaky dykzyzlygyň gatlagyna bagly bolýar.



6-njy surat

Normal baha bilen deňeşdirip bolýan agyrlyk güýjüniň synlanan bahasyny hasaplamak üçin ýa-da anomaliýalary döretmek mümkinçiligini almak üçin, belli bir ululygy ölçemek gerek bolýar. Bu ululyga ýeriň fiziki üstünde A nokatdan agyrlyk güýji A' nokadyna geçilende üýtgeýär. Bu ululyk üçin agyrlyk güýjüniň γ nazary bahasy hasaplanan. BA nokadyna gözegçilik ediýän g -nyň bahasyna düzediş hökmünde girizilmegi, A nokatda belli bolan, agyrlyk güýjüniň A' nokadyna getirilmegine gabat gelýär. Ol bolsa agyrlyk güýjüniň reduksiýasy bolup durýar.

Tejribede bu usul aşakdaky görnüşde ýerine ýetirilýär.

A nokatda ýeriň fiziki üstünde agyrlyk güýji ölçenenden soň, ony (agyrlyk güýji) hasaplamalaryň üsti bilen A' nokadyna geçirmeli bolýar. Bu tekizlik üçin γ bahasy belli. Bu usul dürli görnüşde ýerine ýetirilip bilner.

Häzirki döwürde üç sany usul has giňden ulanylýar.

1. **Adaty usul** – A we A' (skwažinada A' çenli burawlanan skwažinaly grawimetryň kömegi bilen nokatlaryň arasynda agyrlyk güýjüniň tapawudyny ölçenýär. Oňa Preýiň reduksiýasy usuly diýilýär.
2. **Has ýönekeý usuly**, haçanda A we A' arasynda hiç hili massanyň bolmadyk halatynda, nokatlaryň ýagdaýy diňe belentlik boýunça tapawutlanýar. Agyrlyk güýjüniň belentlige baglylygy A nokatda synlanýan g bahany A' geçirmek üçin girizilmeli düzedişi belli, $Ax A' 0,3086$ deň bolan koeffisiýent ýönekeý köpeltmäge getirýär. Şolar ýaly reduksiýa ilkinji gezek Faý tarapyndan girizildi (Faýyň reduksiýasy) ýa-da boşlukdaky reduksiýa

$$\Delta g = 0,3086(H-h) \quad (1.47)$$
3. **Bugenyň reduksiýasy bu usul** - grawigözleg tejribesinde giňden ulanylýar. Bugenyň reduksiýasy hökmünde, erkin howada tekiz ýaýlalarda aralyk gatlagy üçin düzedişi bilen, dagly ýaýlada ýerleşýän relýef we aralyk gatlagy üçin belli bolan düzediş reduksiýa düşünilýär, onda

$$\Delta g_B = 0,3086H - 0,0418\sigma H \quad (1.48)$$

Umumy ýagdaýda agyrlyk güýjüniň anomaliýasy aşakdaky görnüşde ýazylyp bilner

$$\Delta g = \Delta g_H + 0,3086H + \delta g - \gamma \quad (1.49)$$

bu ýerde g_H -gözegçilik netijelerinde tapylan agyrlyk güýji; δg -reduksiýany häsiýetlendirýän düzediş; $0,3086H$ - beýiklik üçin reduksiýa (Faýa), γ – agyrlyk güýjüniň normal bahasy.

Geodeziki grawimetriýada Ýeriň nusgasy öwrenilende massanyň paýlamasyny, belentlik üçin reduksiýa ýeketäk gerekli hasap edilýär. Ahli beýleki düzedişler ýeriň nusgasynyň nazaryýetiniň esasy şertleriniň bozulmagyna getirýärler, mysal üçin ýeriň umumy massasynyň bozulmagyna. Ýöne geologiki meseleleri çözmek üçin bular ýaly bozulmalar zyýanly bolmaýarlar.

I.5. Agyrlyk güýjüniň tizlenmesini we onuň potensialynyň ikinji önümini ölçemegiň usullary

Agyrlyk güýjini **absolýut** we **otnositel** kesgitlemek bolar.

Absolýut – berlen nokatda agyrlyk güýjüniň doly ululygynyň beýleki nokatlardaky ölçemelerine görä dälligi bilen ölçenilşi. Onuň ölçeg birligi $sm \ s^{-2}$, onuň üçin iki ululygyň ölçenilşi gerek bolýar, uzynlyk we wagt. Bu diňe dinamiki usullary bilen üpjün edilýär. Şonda – $10^{-8} - 10^{-9}s$ takyklygy bilen wagtyň ölçenilşi gerek bolýar, sebäbi jisim gaçmagyň ilkinji sekundynda $\approx 4,9 m$ geçýär.

Otnositel (differensial) – başlangyç nokat hökmünde alynýan, agyrlyk güýjüniň gatnaşyklarynyň we tapawutlarynyň beýleki nokada görä ölçenilşi (şonda başlangyç nokadynda agyrlyk güýji belli bolmaly).

Agyrlyk güýjüni ölçemek üçin köpsanly fiziki hadysalary ulanylýar (jisimiň erkin gaçmagy, maýatnigiň yrgyldylary, çekdirilen taryň yrgyldylary we ş.m.). Şol ýagdaýda, ölçemegiň usullary iki görnüşe bölünýärler, dinamiki we statiki.



Ölçemegiň dinamiki usullary – grawitasion meýdanynda jisimiň hereketiniň synlanmagydyr. Bulara degişli, maýatnikli usuly, jisimiň erkin gaçmagynyň we çekdirilen taryň yrgyldylarynyň usullarydyr.

Maýatnikli usuly – maýatnigiň erkin T yrgyldylarynyň agyrlýk güýjüniň ululygyna bolan baglylygyna esaslanan, agyrlýk güýji Gýugensyň formulasynyň üsti bilen

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1.50)$$

ýazylýär, bu ýerde, l -maýatnigiň uzynlygy.

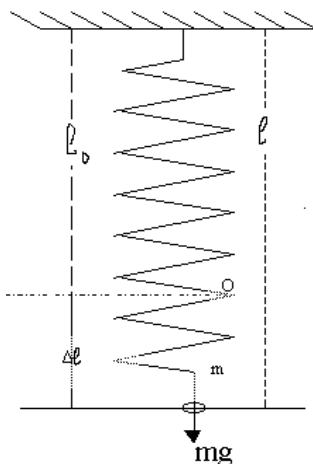
Jisimiň erkin gaçmak usuly, erkin gaçýan jisimiň göniçyzykly deňtizlikli hereketiniň kanunynda esaslanan

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2} \quad (1.51)$$

bu ýerde, S_0 , v_0 - hasaplanylýp başlanýan pursadyndaky ýol we tizlik.

Agyrlyk güýjüni kesgitlemegiň statiki usullary, maýyşgak güýç meýdanynda gazyň we pružinanyň güýji bilen agramyň ösdürýän, $F=mg$ güýjüniň kompensirlemeginiň düzgünine

esaslanan. Bu ýagdaýda agyrylyk güýjüni ölçeyän abzallaryň – grawimetrleriň, giňişleýin topary esaslanan. Bu abzallaryň umumy gurluşy pružinaly terezileriň gurluşy bilen meňzeş bolýar (7-nji surat)



7-nji surat

Bu usul boýunça agyrylyk güýjüni ölçeyän abzallarynyň uly topary– grawimetrler gurnalandyr. Bu abzallaryň umumy görnüşi pružinli terezileriň görnüşine meňzeşdir.

Başlangyç l_0 uzynlykly pružine m massaly ýük asylandan soňra, pružin l uzynlyga eýe bolýar. Pružiniň maýyşgaklyk koefisiýenti Gukýň kanuny boýunça ýüke proporsionaldyr,

$$mg = \tau(l - l_0). \quad (1.52).$$

Bu aňlatmany differensirläp, uzynlygyň artmagy agyrylyk güýjüniň üýtgemesine proporsionaldygyna göz ýetirilýär.

$$\tau \Delta l = m \Delta g \quad \text{we} \quad \Delta g = \frac{\tau}{m} \Delta l = r \Delta R \quad (1.53).$$

Köplenç kanun hökmünde pružinleriň we sapaklaryň maýyşgak güýji ulanyrlar, şeýle hem magnit meýdanda togyň geçirijisine täsir edýän güýji ulanyrlar. Bu usul elmydama otnositeldir. Gerek bolýan uzynlygy ölçemegiň takyklygy $0,1 \text{ mGal}$ üpjün etmek üçin ilkibaşdaky uzalmanyň 10^{-7} düzýär, bu bolsa mikronyň bölegidir.

Çekdirilen taryň yrgyldysynyň ýygylgyny ölçemekde agyrylyk güýjüni kesgitlemegiň usullary, tarly grawimetrleriň ulanylmagyna esaslanan. Taryň uzynlygyny ölçemegiň çylşyrymlylygy sebäpli bu abzal grawimetriki kartalaşdyrmada ulanylmaýar.

Mundan başga-da, grawimetriki kartalaşdyrmada birnäçe abzallar ulanylýar – **wariometrler** we **gradiýentometrler**. Bularyň kömegi bilen agyrylyk güýjüniň W_{xy} , W_{Δ} , W_{xz} , W_{yz} ikinji önümlerini kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Bularyň netijesinde agyrylyk güýjüni çözülmeli meselelerde, ölçegiň gerekli takyklygyna bagly bolýar. Şoňa esaslanyp aşakdaky talaplaryň ýerine ýetirilmegi gerek bolýar.

- Ýer gabarasynyň gurluşy öwrenilende takyklyk Δg $5 - 10 \text{ mGal}$;
- geodeziki meseleleri çözmek üçin – $0,5 - 1 \text{ mGal}$;
- böläkleýin grawigözleg işleri üçin – $0,02 - 0,5 \text{ mGal}$.

Absolýut we otnositel meýdan ölçemeleriň iň uly mümkin boljak takyklygy ($0,01 - 0,10 \text{ mGal}$) g ululygy daýanç grawimetriki torlaryň punktlarynda we wagtyň geçmegi bilen, agyrylyk güýjüniň üýtgeýşini 1 mkGal çenli has ýokary takyklyk agyrylyk güýjüniň täsiriniň üýtgeýşini öwrenmek üçin we ýeňil abzallarda gerek bolýar.

Grawimetriki maglumatlary geodeziýada ulanylanda olaryň sistematiki ýalňyşlyklary tötän ýalňyşlyklardan kiçi bolmaly. Bu şertiň ýerine ýetmedik ýagdaýynda, grawitasiýa meýdanynyň beýleki elementleriniň ölçenilişinde gödek

ýalňyşlyklar ýüze çykýarlar. Şol bir wagtda, agyrlyk güýjüniň anomaliýalarynyň hemişelik ululyga üýtgemegi, anomaliýalaryň geologiki düşündirilişiniň netijelerinde ýüze çykmaýar.

Tejribede grawimetriki ölçemeleriň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin köplenç birwagtda birnäçe abzallar ulanylýar we gaýtadan ölçeme işleri geçirilýär.

II. AGYRLYK GÜÝJINIŇ ABSOLÝUT ÖLÇEMELERI

II.1. Maýatnik usuly

Agyrlyk güýjüniň absolýut ölçemeleri – bu, synlanýan punktda agyrlyk güýjüniň dartyлма modulynyň doly ululygynyň ölçenilşidir. Şolar ýaly ölçemeleriň takyklygy diňe grawimetriýanyň däl-de, astronomiýanyň, kosmonawtikanyň, metrologiýanyň meselelerini çözmek üçin hem ähmiýetli bolup durýar.

Astronomiýada olary ýeriň, planetalaryň, hemralaryň we beýleki obýektleriň belli bolan agramlarynda, olaryň hereketiniň traýektorialaryny öwrenmek we hasaplamak üçin ulanýarlar.

Kosmosda giňişleýin geçirilýän gözleglere laýyklykda, mehaniki, magnit we elektriki güýçleriň ölçeme birlikleriniň standartlarynyň takyklygyna bildirilýän talaplar ýokarlanýar. Agyrlyk güýjüniň intensiwligine, hemralary, kosmos gämileri dolandyryan, awtomatiki gurluşlaryň takyk işine bagly bolýar. Şonuň üçin g absolýut bahalaryň kesgitlenilşi bilen metrologlar we kosmos tilsimaty boýunça hünärmenler hem meşhullanýarlar. Şolar ýaly ölçeme, бүтин dünýäniň ähli grawimetriki kartalaşdyrmalaryny ýeke-täk dogry ulgama degişli etmek, agyrlyk güýjüniň we ýeriň nusgasynyň normal bahasynyň takyk formulasyny almak üçin gerek bolýar. Bu, grawitasiýa ulgamlarynyň dürlüligine we dürli ýurtlaryň kartalaşdyrmalarynyň dürli başlangyç punktlaryna daýanyandygy sebäpli ýüze çykýar.

Dünýäniň grawimetriki kartalaşdyrmalarynyň köpüsi agyrlyk güýjüniň absolýut $g = 981274 \pm 3$ mGal

bahasyňa degişli bolýar, ol 1906 ý. Kýunen we Furtwengler tarapyndan Potsdam geodeziki institutynyň binasynda alyndy. Soňky ýyllarda bu bahalar birnäçe gezek anyklandylar.

Agyrlyk güýjiniň belli kesgitlemeleri:

N	Ýerine ýetirenler	ýyl	Ölçeme ýerine ýetirilen ýeri	Kesgitlenen baha	Potsdama getirilen baha	Potsdamdan tapawudy
1	Kýunen we Furtwengler	1906	Potsdam	981274	981274	-
2	Heýl we Kuk	1936	Waşington	980081,6	981257,2	-16,8
3	Klark	1938	Teddington	981183,2	981261,2	-12,8
4	Bagliýetto	1956	Buenos-Aýres	979696	981265	-9,0
5	Tuglin	1958	Pariž	980927,7	981261,2	-12,0

Häzirki döwürde bu ölçemeler dinamiki usullary bilen alnyp barylýarlar, maýatnikli we jisimiň erkin gaçmagy. Olardan has köp ulanylýany jisimiň erkin gaçmagynyň usuly bolup durýar. Bu usul, lazerleri ulanmak bilen wagtyň we uzynlygyň aralyklaryny has takyk ölçenilýändigindedir.

Maýatnik – bu, gorizontala oka görä, güýçleriň täsirinde yrgyldylary ýerine ýetirýän abzal. Agyrlyk güýjünden başga-da maýatnigiň hereketine grawitasiýa degişli bolmadyk alamatlar hem täsir edýärler. Olar maýatnigiň deformasiýalarynda, aşagyna goýulýan esbabyna, yrgyldylaryň peselmegine we ş.m. ýüze çykýarlar. Aşakdaky faktorlar bolsa göz önüne tutulmaýar, agramyň täsiri, asylda maýatnigiň uzalmagy, sterženiň egrelmegi, sütünleriniň deformasiýasy, uzynlygy ölçemegiň takyklygy. Bu, ýalňyşlyklaryň çeşmeleri agyrlyk güýjüniň absilýut ölçenilşiniň takyklygyny çaklandyrýarlar. Ölçeýji tehnikaýyň mümkinçilikleri ölçemeleriň netijeleriniň takyklygyna bagly bolýar. Soňky ýyllarda ylmyň we tehnikaýyň gazananlary ölçeme usullarynda giňden ulanylýar. Bu, ölçemeleriň takyklygyny birnäçe gezek ýokarlandyrmaga mümkinçilik berýär. Mysal üçin, ýokary takyklyk bilen tolkunýy uzynlygyny ölçemek üçin interferension usullary we optiki generatorlary (lazerleri) ulanýarlar. Mikroskoplaryň we mikrometrleriň ulanylmagynda esaslanan öňki usullar bilen deňeşdirilende, ölçemeleriň takyklygy 2-3 esse ýokarlandy.

Matematiki maýatnigiň yrgyldysynyň gaýtalanýan doly wagtyny üznüksiz hatara görnüşinde görkezeliň

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \left(\frac{1}{2} \right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1,3}{2,4} \right)^2 \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \dots \right] \quad (I.40)$$

bu ýerde, l – maýatnigiň uzynlygy, α - iň uly gyşarmanyň burçy (yrgyldynyň amplitudasy)

Fiziki maýatnigiň uzynlygyny getirilen uzynlyk bilen çalşyralyň, onda

$$l = \frac{I_0}{aM}$$

bu ýerde I_0 – maýatnigiň yrgyldysynyň oky boýunça inersiýanyň pursaty; a – yrgyldynyň okundan agyrlýk merkezine çenli uzaklyk; M – maýatnigiň agramy.

α - gyşarma burçunyň kuwwatlygy netijesinde (köplenç $\alpha \leq 30$) üçünji ($\sin^4 \alpha / 2$) agza bilen çäklenip, ikinji agzasyna bolsa amplituda üçin düzediş hökmünde seredip we ölçenen wagtynda, ony hasaplanandan soň girizilýär. Onda,

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (\text{I.41}).$$

deň bolýar.

Eger-de, maýatnigiň yrgyldysynyň gözegçilik edilýän wagt aralygynyň yrgyldylaryň sanyna we l getirilen uzynlygyna bölünende emele gelýän T doly wagtyňy ölçesek, onda berlen nokatda g agyrlýk güýjüniň absolýut bahasyny taparys

$$g = \frac{\pi^2 l}{T^2} \quad (\text{I.42}).$$

T we l kesgitlenende talap edilýän takyklyga baha bermek üçin – agyrlýk güýjüniň tizlenmesiniň absolýut bahasy 1mGal takyklygy bilen kesgitlemek gerek bolýar, bu $\Delta g/g \leq 10^{-6}$ otnositel ýalňyşlygy berýär. Logarifmirläp we differensirläp, tapýarys,

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{2\Delta T}{T}. \quad (\text{I.43}).$$

Bu deňligiň çep tarapy 10^{-6} -dan kiçi bolar ýaly, sag tarapyň her bir agzasy bu ululykdan kiçi bolmalydyr. Maýatnigiň 25 sm uzynlygynda 1 sekunda golaý

yrlyldynyň doly wagty $(T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ belli bolşy ýaly) $0,2$

MK -dan ýokary bolan takyklygynda l -iň ölçenilşini ýerine ýetirmeli, T doly wagty bolsa $2 \cdot 10^{-7} \text{ sek}$ takyklygy bilen ölçemeli bolýar. Bu örän çylşyrymly mesele, esasan uzynlygy kesgitlemekde, eger-de görünýän ýagtylygyň uzynlygy $0,5MK$ deň diýip göz önüne tutulsa. Mundan başga-da, fiziki maýatnigi temperatura, daşky howa we beýleki faktorlar hem täsir edýärler. Maýatnige täsir edip biljek ähli faktorlary göz önüne tutmagyň zerurlygy döreýär we ölçemäni çylşyrymlaşdyrýar. Munuň sebäbi – agyrlyk güýjüniň tizlenmesini absolýut maýatnikli kesgitlenende ýalňyşlyklar döreýär, olar absolýut kesgitlenmeleriň punktlarynyň arasynda agyrlyk güýjüniň otnositel ölçemeleri bilen ýüze çykarylýar.

Agyrlyk güýjiniň tizlenmesiniň fundamental we absolýut kesgitlemeleriniň maglumaty

Kesgitlenen ýeri	Kesgitlenen ýyly	g, Gal	Otnositel ölçemeler Potsdama redusirlenen	Potsdam ulgamyna düzediş , Gal
Potsdam	1898-1904	981, 244	981, 274	-
Waşington	1930-1934	980, 080	981, 254	-20
Teddington (angl.)	1935-1938	981, 181	981, 259	-15
S.-Peterburg	1954-1956	981,919	981,262	-12
Ottawa	1960	-	981,261	-13
Sawr (Fr)	1961	-	981, 261	-13
Prinston (ABŞ)	1963	-	981, 259	-15
Tokio	1965	-	981, 259	-15
Teddington	1965	-	981, 260	-14

Tablisadan görnüşi ýaly, agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň absolýut kesgitlenmeleriniň netijeleri, punktlaryň arasynda uly uzaklyklarda hem ýokary takyklyga eýe bolýarlar. Bu, agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň absolýut ölçemeleriň zerurlygyny görkezýär. Onuň üçin Potsdamda, çen bilen 14 mGala agyrlyk güýjüniň bahasy kiçeldilen bolmaly.

Yrgyldylaryň bolup geçýän doly wagtyň ýa-da l getirilen çyzygyň üýtgemegine getirýän esasy sebäpler:

1. daşky gurşaw;
2. temperatura üýtgemeleri;
3. maýatnigiň yrgyldysynyň bolup geçýän doly wagty kesgitlenýän wagty;
4. maýatnigiň yrgyldaýan prizmanyň towlanmasy;
5. maýatnigiň yrgyldap durýan ştatiwiniň yrgyldylary, bilelikdäki bolup geçýän yrgyldylar;
6. yrgyldaýan maýatnikde gorizonta we beýleki tizlenmeler;
7. magnit meýdanynyň täsiri.

II.2. Erkin gaçýan jisim usuly

Agyrlyk güýjüniň absolýut kesgitlenmelerinde, jisimiň erkin gaçýan tizlenme hereketiniň kanuny bolup durýar,bl bolsa differensial deňlemäniň üsti bilen aşadaky görnüşde ýazylýar

$$S'' = g_0 \quad (I.44)$$

bu ýerde S'' -wagt boýunça ýoluň ikinji önümi, uzaklygyň oky bolsa aşak tarapa gönükdirilendir, g_0 – agyrlyk güýjüniň hemişelik tizlenmesi.

Goý, wagt hasaby başlanýan wagtynda $t=0$, jisimiň tizligi $V(0)=V_0$, koordinatlar başlangyjyndan uzaklyk $L(0)=S_0$ bolsun. Wagt boýunça (1.44) integrirläp, alarys

$$S' = g_0 t + c_1, \quad S = g_0 \frac{t^2}{2} + c_1 t + c_2 \quad (\text{I.45})$$

bu ýerde, $c_1 = V_0$, $c_2 = S_0$. Onda deňleme aşakdaky görnüşe geler

$$S = S_0 + V_0 t + g_0 \frac{t^2}{2} \quad (\text{I.46}).$$

Eger-de $S_0 = 0$ we $V_0 = 0$, deň bolsa, onda

$$S = g_0 \frac{t^2}{2} \quad (\text{I.47}).$$

alarys.

Erkin gaçýan usuly bilen geçirilen ölçemelerde, köplenç, jisimiň hereketini 1m çenli bolan aralykda gözegçilik edilýär, onuň netijesinde ($10^{-9} - 10^{-8}$) g takyklygy bilen netijäni almaga ymtylýar. Şonuň bilen baglylykda g ululygyň, $W_{zz} \approx 0,3 \text{ mGal/m} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-2}$ gradiýentini, hereketiň traýektorýasy boýunça, üýtgeýşini göz önüne tutmak gerek bolýar. Üýtgeýän agyrylyk güýjüniň meýdanýnda jisimiň hereketiniň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazalyň

$$S' = g_0 + W_{zz} S \quad (\text{I.48}).$$

Jisimiň erkin gaçýan usuly, maýatnikli usuldan tapawutlylykda, käbir aýratynlyklara eýe bolýar, erkin gaçmagyň S geçilen ýoly t wagt bilen aşakdaky formulanyň kömegi bilen kesgitlenýär

$$g = \frac{2S}{t^2} \quad (\text{I.49})$$

$$S = \frac{gt^2}{2} \quad (1.50),$$

bu ýerde g – agyrlyk güýjüniň tizlenmesi, ony hökmany kesgitlemek gerek bolýar. Şonda jisim absolyút boşlukda, howanyň sürtülmesiniň bolmadyk ýagdaýynda kesgitlenýär.

Bu usul ilkinji gezek 1590ý. Galileý tarapyndan kesgitlendi we $g=9,8 \text{ m/s}^2$ bahasyna eýe boldy, jisim birinji sekuntda $4,9m$ ikinji sekuntda – $19,6m$ we üçünji sekuntda – $44,1m$ we ş.m.ýoly geçýär. 10^{-8} -e deň bolan ýalňyşlygy üpjün etmek üçin ýoluň we wagtyň kesgitlenişiniň takyklygy $1m$ deň bolan erkin gaçmagyň ýolunyň uzynlygyny $0,1mk$ çenli takyklykda, wagty bolsa $0,5 \times 10^{-8}$ sek. takyklykda ölçemeli bolýar. Şolar ýaly ýokary talaplar soňky onýyllyklaryň dowamynda, wagty ölçemegiň tilsimaty 8 we 9 san takyklygynda ölçämäni üpjün edende, mümkin bolýar.

1946 ýylda bu usul bilen agyrlyk güýjüniň absolyút bahasyny kesgitlemek işleri Parižde Wolin we Tulin tarapyndan ýerine ýetirildi.

Bu usul bilen geçirilen birnäçe tejribeleriň netijeleri boýunça Potsdamda agyrlyk güýjüniň täze anyklanan bahalary alyndy

$$g=981261, 6 \text{ mGal} \text{ (öňkülerden } 12 \text{ mGal tapawutly).}$$

Häzirki wagtda Halkara geodeziki we geofiziki guramalary tarapyndan ýeriň agyrlyk güýjüniň bahasy hökmünde

$$g=981260, 19 \pm 0, 019 \text{ mGal.}$$

kabul edildi.

III. MAÝATNIKLI ABZALLAR BILEN AGYRLYK GÜÝJÜNIŇ OTNOSITEL ÖLÇENIŞI

III.1. Maýatnikli abzallar.

Agyrlyk güýjüniň otnositel (differensial) ölçmeleri – bu bir nokadyň agyrlyk güýjüniň gatnaşyklarynyň we tapawutlarynyň, beýleki, başlangyç hasaplanylýan nokadyna görä ölçenilşi.

Otnositel agyrlyk güýjüni ölçemegiň maýatnikli usuly dürli punktlarda üýtgemeyän uzynlykly şol bir maýatnikde erkin yrgyldylarynyň synlamalarynda esaslanan.

Eger-de 1-nji punktda T_1 , 2-nji punktda – T_2 yrgyldylar ölçenen bolsa, 1-nji punktda agyrlyk güýjüniň bahasy g_1 bolsa onda (1.41) esaslanyp ýazýarys,

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{l}{g_1}} , \quad T_2 = \pi \sqrt{\frac{l}{g_2}}$$

Bu aňlatmalary kwadrata göterip we agzalaýyn böleliň. 2-nji punktdaky gözlenýän agyrlyk güýjüniň bahasyny alarys.

$$g_2 = g_1 \frac{T_1^2}{T_2^2} \quad (1.62).$$

Bu formuladan aşakdaky netijeler gelip çykýar:

1. Otnositel maýatnikli usul bilen agyrlyk güýji kesgitlenende, l uzynlygy kesgitlemek zerurlygy aýrylýar.
2. Ululygyň hemişeligi usulyň hökmany şerti bolup durýar, şert ýerine ýetmedik ýagdaýynda $g_1 T_1^2 = g_2 T_2^2$ deňlik bozulýar.

Tejribede maýatnigiň yrgyldysynyň bolup geçýän wagtynda $\Delta T = T_2 - T_1$ tapylýar, başlangyç we kesgitlenýän punktlaryň arasynda agyrlyk güýji Δg hasaplaýar.

(1.41) Gýuygensyň formulasy yrgyldylaryň kiçi amplitudaly göreldeli maýatnik üçin niýetlenen. Şonuň üçin maýatnigiň yrgyldylarynyň ölçenen wagtynda aşakdakyr:

1. Amplituda;
2. Temperatura;
3. Daşky sredanyň dykzylygy;
4. Kwarsly generatoryň ýygylygy;
5. Maýatnigiň lezwiýasynyň egriligi;
6. Ştatiki ýyrgyldamasy;
7. Neizohronnost we amplituda; (Wening-

Meýnesiň usuly boýunça).

düzedişler girizilýär.

Maýatnikli abzallar esasan aşakdaky böleklerden durýar, maýatnikleriň toplumy, ştatiwden, optiki ulgamdan, ýygylygyň standartyndan (kwarsly generatorlar), bellige alyjydan (registrator), maýatnikli abzaly we güýç bölegini dolandyrmagyň pultundan.

Häzirki döwürde ýokarytakykly otnositel maýatnikli ölçemeleri iki maýatnikli awtomatlaşdyrylan abzallary optiki wakuumlaşdyrylan maýatnigi - OWM we “Agat”, (onuň gurluşy SNIIGAIK tarapyndan taýýarlanan) bilen geçirilýär.

Otnositel ölçemeler üçin maýatnigiň gurluşy uzynlygyň üýtgeşsizliginiň talabyna laýyk gelýär. Maýatnik berk, wagtyň geçmegi bilen üýtgeşsiz we daşky täsirlere örän durumly bolmaly (temperatura, silkinmeler we ş.m.). Maýatnikde yrgyldylaryň bir oky bellenilen. Gurluşyň bölekleri kwarsly okdan (elektrostatiki zarýadlaryň bolmazlygy üçin metalyň gatlagy bilen örtülen), iki sany kesik konuslar görnüşindäki metal agramyndan (konuslar öz giň esaslary bilen birleşdirilip goýlan) durýarlar.

Maýatnikli ştatiw –agramly metal plitasy. Ştatiw, daýanç meýdançalarda peýkamlary merkezleşdirmek üçin gurluşy, maýatnigiň meňzeş amplitudalary bermegi üçin we garşydaş fazalarda maýatnikleriň deň hereket etmegi üçin

gurluşlar bilen üpjün edilen. Bu gurluşlaryň işini bir elektrik dwigateli dolandyryr.

Optiki ulgamy – ýagtylandyryjydan, obýektiwden we maýatnigiň aýnalarynyň derejesinde ýerleşen optiki köprüsinden durýar. Ýagtylyk akymy, geçiriji diafragmanyň tekizliginde kondensör bilen fokusirlenýär.

Yrgyldylaryň dowamlylygyny ölçemek üçin işçi kwarsly generatory ulanylýar. Generatoryň ýygylgynyň ýörelgesi ýygylgynyň standarty bilen barlanylýar.

Bellige alyjy – işçi generator tarapyndan berilýän wagtyň bellikleri we maýatnikleriň yrgyldylaryny belgileýär. Bellige alyjynyň görkezijileri boýunça maýatnigiň yrgyldylarynyň amplitudasyny we yrgyldylaryň bolup geçýän wagty tapýarlar. $2 \cdot 10^{-3}$ sek. dowamlylygyndaky impulsalaryny üpjün edýän bellige alyjynyň elektron blogy şol impulsary $1 \cdot 10^{-5}$ sek. dowamlylygyndaky gysga impulslara öwürmäge mümkinçilik berýär.

Dolandyryş pulty we güýç blogy abzalyň işini dolandyrmak, ştatiwyň gapagynyň aşagynda temperaturany we basyşy bellige almak üçin niýetlenen.

III.2. Punktdaky gözegçilik we alnan maglumatlaryň üstünde işlemek

Tejribede ýokarytakykly maýatnikli ölçemeler – grawimetriki baglanşygyň takyklygy köp halatda geçirilmegiň şertlerine we maýatnikleriň peýkamlarynyň kütelmegine bagly bolýarlar: daýanç punktunda yrgyldylaryň wagtyny goşmaça kesgitlemeleri ilki başdakylardan $10 \cdot 10^{-8}$ sek. çenli (0,4 mGal) tapawutlanyp biliner. Diýmek, punktda maýatnigiň orta yrgyldysyny $\sim 1 \cdot 10^{-8}$ sek. takyklygy bilen almak bolýar.

Maýatnigiň yrgyldylarynyň wagtyny geçirilen gözegçilikleriň netijesinde aşakdaky formula boýunça hasaplanýar.

$$T = T' + \Delta T_a + \Delta T_t + \Delta T_D + \Delta T_f + \Delta T_{gel} = T' + \Sigma \Delta T, \quad (1.63)$$

bu ýerde, T - yrgyldynyň bolup geçýän doly wagty, ΔT_a - amplituda, ΔT_t - temperatura, ΔT_D - daşky töweregiň dyklyzlygy, ΔT_f - ýygyllyk, ΔT_{gel} - agyrylyk güýjüniň wariasiýalary üçin düzedişler.

Maýatnikli abzallaryň birnäçe amatly taraplary bar, olar beýleki grawimetriki abzallaryna meňzeş däl we ýokarytakykly netijeleri almaga mümkinçilik berýär. Şonuň üçin maýatnikli usuly, esasan, grawimetrler bilen geçirilýän ölçemeler barlag geçirilende daýanç punktlaryň toruny döretmekde ulanylýar, şeýle hem kartalaşdyrmalary ýeke – tak ulgamyna getirmek, grawimetrleri etalonlamak üçin ulanylýar.

Grawimetriki synlamalaryň hasaplanylýşy Δg – ny hemme gurallar üçin aşakdaky formula boýunça hasaplamak bilen jemlenýär

$$\Delta g = g_2 - g_1 = -2g_1 \frac{\Delta T}{T_2} + g_1 \left(\frac{\Delta T}{T_2} \right)^2 \quad (1.64)$$

Eger-de ölçegler dürli gurallar bilen, biri-birine bagly bolmadyk ýagdaýda geçirilse, onda ýalňyşlyk her haýsy üçin aýry-aýrylykda hasaplamaly bolýar,

$$m_{\Delta g} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, \quad (1.65).$$

toplumyň abzallary boýunça ortaça netijäniň ýalňyşlygy

$$M_{\Delta g \text{ ort}} = \frac{m_{\Delta g}}{\sqrt{n}} \quad (1.66).$$

Ýalňyşlyklaryň çeşmeleriniň köplügi netijesinde, her bir abzalyň ýalňyşlygynyň kesgitlenilşi çylşyrymly mesele bolup durýar, ol dürli gurallaryň kömegi bilen şol bir şertlerde geçirilen köp ölçemeleriň netijelerinden düzedişleri kesgitlemek bolýar.

IV. GRAWIMETRIÝADA AGYRLYK GÜÝJÜNIŇ OTNOSITEL ÖLÇEMELERI

IV.1. Mehaniki grawimetrleriň esasy bölekleri

Grawimetrler, agyrlýk güýjüni statiki usul bilen otnositel ölçemeler geçirmek üçin ulanylýar. Olarda jisimiň deňagramlylyk ýagdaýyna agyrlýk güýjiniň edýän täsiri fiziki sazlaşdyrma arkaly ýerine ýetirilýär.

Hemişelik massaly jisime täsir edýän agyrlýk güýjüni deňagramlaşdyrýan we agyrlýk güýjüniň üýtgemelerini jisimiň süýşmesine öwürýän gurluş-grawimetriň duýujy elementidir.

Gurluşyna baglylykda tereziler belli bir dartyjytäsire eýe bolýarlar. Şolar

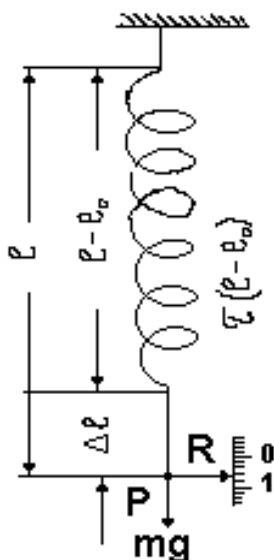
ýaly täsir hökmünde pružinanyň aralygy, ryçagyň öwrümi, agramyň üýtgemegi we ş.m. girýärler. Bu täsiriň ululygyny agyrlýk güýjüniň meýdanynyň deňleşdirmegine bolan gatnaşygy pružinli terezileriň mehaniki duýujylygy diýlip atlandyrylýar. Duýujylyk $\frac{dx}{dg}$ meýdanyň dartylşy boýunça

alnan önümi bilen häsiýetlendirilýär.

bu ýerde x – reaksiýa, g – meýdanyň dartylyşy. Grawimetriň işleýiş prinsipi agyrlýk güýjüni hemişelik kompensirleýji güýji bilen deňleşdirmen we olaryň tapawutlaryny ölçemeden durýar. Shemadan görnüşi ýaly (8 surat), pružinanyň başlangyç l_0 uzynlygynda m massaly P agram asylan. Agyrlýk güýjüniň täsirinde (jisimiň agramynda) pružina l uzynlygyna uzalýar. agyrlýk güýjüniň täsirinde mg pružinanyň dartyjy deformasiýasynyň güýjüniň $\tau(l-l_0)$ täsirinde P agramly jisimi statiki deňagramlylygyň ýagdaýyna eýe bolýar, ony R bilen bellenilýär.

(τ - pružinanyň çyzykly gatylygynyň koeffisiýenti). Agyrlýk güýjüniň $m\Delta g$ ululyga üýtgemegi pružinanyň uzynlygynyň üýtgemegine we P agramyň Δl ululyga süýşmegine getirýär.

Agramyň çyzykly üýtgemegi agyrylyk güýjüniň üýtgemeginiň ölçegi bolup hyzmat edýär.



8-nji surat

Kompensirleýji güýjüniň görnüşi boýunça grawimetrler üç synpa bölünýärler:

1. Gazly grawimetrler, olarda agyrylyk güýji gazyň dartyjy güýji bilen kompensirlenýär.
2. Mehaniki grawimetrler, olarda kompensirleýji güýç hökmünde jisimleriň dartyjy deformasiýasynyň güýji bolýar (pružinleriň we towlanan sapaklaryň).
3. Elektromagnit güýçlerini ulanmakda esaslanan grawimetrler.

Häzirki zaman grawimetrleriň köpüsi mehanikidir. Olaryň duýujylyk elementi dartyjy ulgam diýlip atlandyrylýar we olar eredilen kwarsdan ýa-da eredilen metallardan taýýarlanylýar. Mehaniki grawimetrler kwarsly we metal görnüşlere bölünýärler.

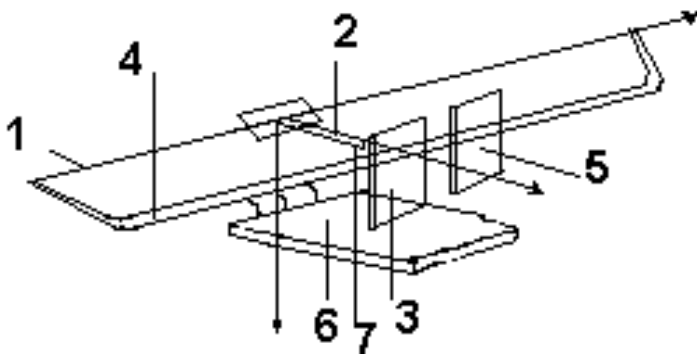
IV.2. Kwarsly grawimetr

Onuň maýyşgak ulgamy eredilen kwarsdan taýýarlanan. Towlanýan sapagyň uzynlygy 15 sm., ryçagyň uzynlygy 1,5sm. Ryçagyň ujyna aýna berkidilen we kronşteýnde gymyldamaýan aýna ýerleşdirilen. Seredilende şol aýnalardan serpikdirilýän ştrihler gabat gelýärler. Ähli ulgam suwuklyk bilen doldurylan we germetiki ýapyk gapda ýerleşdirilen, gabyň özünde bolsa ikillik termostata ýerleşdirilen. 9 suratda kwarsly grawimetriň maýyşgak ulgamy görkezilen:

1-kwarsly sapak, 2 – ryçag, 3 – aýna, 4 – gymyldamaýan aýnanyň kronşteýni, 5, 6 kwarsly plastina, 7 – platina ýüzügi.

Ryçagyň berk keseligi sapak bilen üpjün edilýär, ol sapak öz okunyň daşyndan

630° towlanan. θ bilen towlanma burçy α - gyşarma burçy, τ - sapagyň towlanma koeffisiýenti, l – ryçagyň eginini, m – onuň massasy.



9-njy surat

Deňagramlylygyň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar

$$\theta\tau = m \lg \cos \alpha \quad (1.67).$$

Eger-de ulgam beýleki punkta geçirilen bolsa (g_l), onda

θ we α üýtgeýär,

we (1, 67)-den

$$(\theta + \delta\theta)\tau = m \lg_1 \cos(\alpha + \delta\theta) \quad (1.68).$$

deñlemäni alarys.

Üýtgeýän aýnany öňki ýagdaýa getirmek üçin ryçagy $\Delta\alpha$ burçuna gyşartmaly bolýar, onda

$$\theta\tau = m \lg_1 \cos(\alpha + \delta\theta + \Delta\alpha) \quad (1.69)$$

alýarys.

Şeýlelik bilen, Δg ululygyna agyrlyk güýjüniň ulalmagy, gyşarma burçy gorizonta tekizlige görä $\Delta\alpha$ burçuna ulalýar.

Metal grawimetri—kwarsly grawimetrlerden has tapawutlanýar. Onuň maýyşgak ulgamynyň hereketli elementi agyrlyk güýjüniň üýtgemeginde kiçi süýşümleri ýerine ýetirýär. Belli bolşy ýaly, mehaniki grawimetrleriň nazaryýetinde agyrlyk güýjüne görä deformasiýanyň proporsionallygy göz önüne tutulýar. Şoňa görä

$$l = l_0 = \frac{1}{\tau} mg \quad (1.70)$$

differentiirläp maýyşgak ulgamyň hereketli P elementiniň dl çyzykly süýşmeginiň we agyrlyk güýjüniň dg tizlenmesiniň üýtgeýişiniň arasyndaky baglanyşygy

$$\frac{dl}{l - l_0} = \frac{dg}{g} \quad (1.71)$$

alarys. Bu ýerde $dg = 1 \text{ mGal}$ bolanda dl süýşme $10^{-6} (l - l_0)$ deň bolar. Eger-de pružiniň uzalmasy $l - l_0$ 10 sm deň bolsa, süýşme $0,1 \text{ mkm}$ deň bolýar. Hereketli elementiň süýşmelerini hasaba almak üçin, kiçi süýşmeleriň indikatorlary diýlip atlandyrylýan gurluşlar ulanýarlar. Bu maksatlar üçin, 100-lerçe esse ulaldýan, optiki mikroskoplary ulanýarlar.

Maýyşgak ulgamyň statiki deňagramlylygynyň ýagdaýyna temperaturanyň we daşky töweregiň dykzlygynyň üýtgemegi täsir edýärler, olaryň

kompensirlemegi üçin grawimetrleriň ulgamynda ýörite gurluş bar.

Mehaniki grawimetrler aşakdaky esasy böleklerden durýarlar:

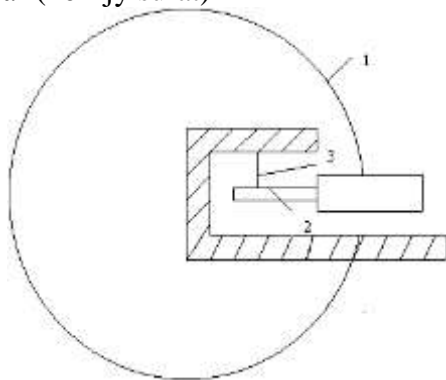
- 1) maýyşgak ulgamyndan;
- 2) kiçi süýşmeleri bellige alýan gurluşyndan;
- 3) agyrlýk güýjüni ölçemegiň we kompensirlemegiň gurluşyndan;
- 4) diapazon gurluşyndan;
- 5) temperaturany kompensirlemegiň gurluşyndan;
- 6) awtosfera basyşynyň täsirini kompensirlemegiň gurluşyndan.

Beýleki abzallaryň ýanynda grawimetrleriň aýratyn amatlyklarynyň

bolandygyna garamazdan, olar käbir kemçiliklere eýe bolýarlar, olardan esasy – maýyşgak ulgamyň materialynyň häsiýetleriniň wagtyň geçmegi bilen üýtgemegi, bu bolsa grawimetriň hasabatynyň üznüksiz üýtgemegine getirýär, onuň üçin işlere başlamazdan ozal her abzalyň şkalasynyň wagtal – wagtal sazlanlyşyna gözegçilik etmeli bolýar.

Maýyşgak ulgamyň görnüşi boýunça metal grawimetrler 3 topara bölünýärler:

1-nji topara - ýüzükli lentaly pružinasy bolan abzallar degişli bolýarlar (10-njy surat)



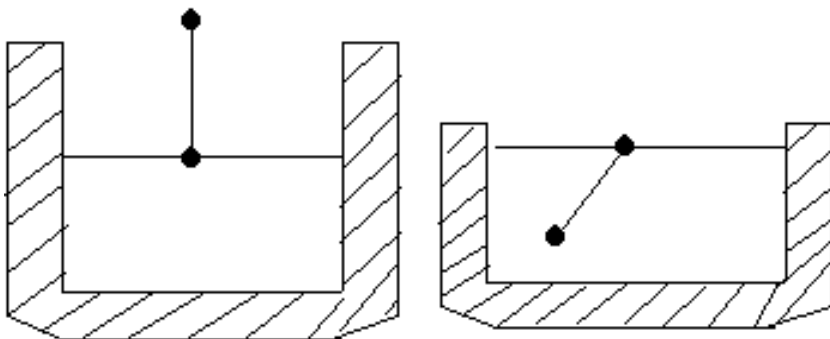
10-njy surat

Pružina 1 bir uýj bilen abzalyň binasyna berkidilen we erkin tarapynda ryçag

2 -göterýär, ol sapakdan 3-asylan. Şolar ýaly grawimetrlere GKM, GÝA we GW – 52

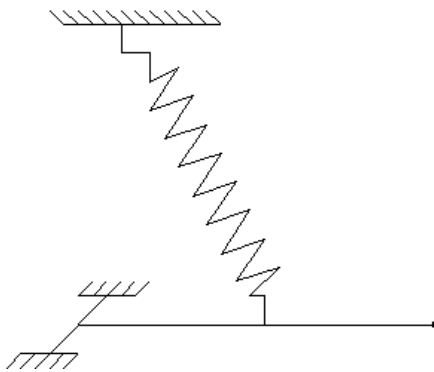
(GÝM – grawimetr ýüzüklü Molodenskiňki) degişli bolýarlar.

2-nji topara-kese kwars sapakly. (grawimetr I sing, Askaniýa G-3, Nergard). Nergardyň Grawimetri birnäçe meňzeş gurluşdaky grawimetrleri taýýarlamak üçin hyzmat edýär.



11-nji surat

2-nji topara-metal grawimetrleri hem ciýyar. Golisynyň dik seýsmografynyň düzgüni ulanylýar.



12-nji surat

Şolar ýaly grawimetrler hökmünde GMT-1 we GMT-2 grawimetrleri hyzmat

edýärler. GMT-1 modeli daýanç torlary döretmek üçin niýetlenen we 1:5 Gal ölçemeginiň diapazonyna eýe bolýar. Grawimetr GMT-2 kiçidiapazonly gözleg bolup durýar, onuň ölçemeginiň diapazony üýtgedilmän 150-200 mGala deň bolýar.

Grawimetrleriň barlagy we sazlanýşy- meýdan işleri geçilmezinden öň we iş geçirilen wagtynda ýerine ýetirilýär. Olaryň esasyalary we köp ýerine ýetirilýänleri aşakdakylar bolup durýar:

- deňleýjileri ýapgytlyga duýjylyk derejesiniň minimumyna sazlamak;
- hasaby bellemeginiň wagtynyň kesgitlenilşi;
- temperatura koeffisiýentiniň we temperatura häsiýetnamasynyň kesgitlenilşi;
- etalonlama.

Ýapgytlyga duýujylygyň minimumyna deňleýjileri sazlamak üçin grawimetrik abzalyň ýokarky panelinde berkidilen iki sany silindriki deňleýjileri boýunça göteriji nurbatlary bilen niwelirlenýär.

Grawimetriň deňleýjileriniň sazlanýşsyny, deňleýjiler boýunça berk esasyňa abzaly oturtmak usuly bilen ýerine ýetirýär. Hasabat indeksini nol ştrihi bilen gabat getirýär we grawimetriň hasabatyny kesgitleýär. Soňra göteriji nurbatlaryň kömegi bilen abzaly erkin burça gyşardýar. Gyşarma burçuny abzalyň binasyndaky indeksiň kömegi bilen hasaplaýar (göteriji nurbatyň aýlaw sanynda nurbatyň depesi 10 bölümlere bölnen). Grawimetr gyşardylandan soň indeksi ýene-de nol ştrihi bilen gabat getirýär we hasabaty alynýar. Soňra bular ýaly hereketi beýleki tarap üçin hem gaýtalanýar. Netijeler boýunça grafik düzülýär.

Hasabaty almagyň wagtynyň kesgitlenilşini belli bir wagt aralygynyň

ölçemeler punktunda ýerine ýetirilýär. Eger-de hasabat abzal oturdylandan soň tiz alynsa, onda ölçemeleriň netijelerine düzediş girizilýär, bu ýalňyşlyk grawimetr bilen ölçemegiň ortaça ýalňyşlygyndan uly bolýar. Bu ýalňyşlygy ýok etmek üçin hasabaty almagyň wagty kesgitlenýär we abzal bilen işler geçirilende hasabatlary, abzal oturdylandan soň belli bir wagat geçenden soň alynýar. Hasabaty almagyň wagty 2 – 3 minuda deň bolýar.

Grawimetriň temperatura barlagy termokamerada ýerine ýetirilýär. Grawimetry kameranyň içine ýerleşdirýär we indeksi şkalanyň hasabat ştrihi bilen gabat getirilýär. Ondan soň kamerada temperaturanyň üýtgemeginiň düzgünini bellenýär, şonda temperatura 1 sagatda 1°C tizligi bilen üýtgedilýär. Bu düzgün grawimetrdäki içki temperatura ilki başdakydan 15°C az tapawutlanmaly däl. Soňra kameradaky düzgünü şeýle ýagdaýda üýtgedýärler, temperatura 1 sagatda 1°C tizligi bilen garşydaş tarapyna üýtgemeli. Şolar ýaly düzgün, grawimetriň içki temperaturasy 30°C ululygyna üýtgeýänçä saklanylýar. Barlag işleriniň ähli döwri üçin, ilkinji temperatura berilenden 3 sagat geçen soň, grawimetrden hasabatlary alýarlar. Barlaglaryň netijeleri boýunça grafigi düzülýär.

IV.3. Grawimetrleriň etalonlaşdyrylyşy

Grawimetrler bilen iş geçirilende agyrlýk güýjüniň deňleşdirilişi abzalyň hasabat gurluşynyň şertli birlik ulgamynda kesgitlenýär. Abzalyň görkezmelerini milligalara geçirmek üçin hasabat gurluşyndan bölünme bahasyny bilmek gerek bolýar, ol şeýle hem grawimetriň hemişeligi diýlip atlandyrylýar.

Grawimetriň bölünme bahasynyň kesgitlenýän barlaglary, şeýle hem onuň temperatura we beýleki alamatlara baglylygy, grawimetrleriň etalonlanylşy diýlip atlandyrylýar.

Grawimetryň hemişeligini kesgitlemek üçin agyrylyk güýjüniň öňden belli

bolan etalon tapawudyny barlanylýan abzal bilen ölçemeli bolýar. Δg – miligallarda agyrylyk güýjüniň artdyrmasy, Δs – mikrometr nurbatynyň aýlawlarynda hasabatlaryň tapawudy bolsa onda grawimetryň çyzykly hasabat şkalasy bilen bölünme bahasyny aşakdaky gatnaşygyndan kesgitleýär

$$C = \frac{\Delta g}{\Delta s}.$$

Etalon tapawudynyň Δg kesgitlenýän usulyna baglylykda etalonlamagyň usullaryny tapawutlandyrylýar.

Agyrylyk güýjüniň bahalary belli bolan punktlarynda etalonlamagyň usuly umumy bolup durýar we ähli görnüşdäki grawimetrleriň bölünme bahalaryny kesgitlemek üçin gerek bolýar. Onuň üçin ilki bilen etalon bazisini (poligony) döretmek (maýatnikli ýa-da ballistiki abzallary bilen) takyk ölçemeleri ýerine ýetirmek üçin gerek bolýar. Grawimetrleri etalonlama maksatlary üçin halkara, milli we ýerli bazisler döredilýär, olar köplenç meridianlar boýunça ýerleşdirilýär.

Häzirki wagta giňdiapazonly grawimetrleri etalonlamak üçin üç sany halkara

bazisler döredildi, Ýewropa – Afrika, Norwegiýanyň demirgazygyndan (Hammerfest, $\varphi=70,6^\circ$) Afrikanyň gündogaryna (Keýptaun, $\varphi=-34,0^\circ$) çenli ýerleşen, Amerika – Alýaskanyň demirgazygyndan (Barrou $\varphi=+71^\circ$) Günorta Amerikanyň merkezine çenli (Melburn, $\varphi=-38^\circ$)

Käwagt agyrylyk güýjüniň tapawudy agyrylyk güýjüniň belentligiň üýtgemegi

bilen döredilýär – etalon bazisýň punktlaryny belent jaýlaryň dürli gatларыnda we daglaryň ýapgytlyklarynda ýerleşdirilýär.

SNG-de Baksan (Demirgazyk Kawkaz) poligony, ol giňdiapazonly grawimetrleri etalonlamak üçin niýetlenen.

Halkara bazisler $1 \cdot 10^{-4}$ – $3 \cdot 10^{-5}$ tertibindäki takyklygyna eýe bolýarlar.

SNG-de, agyrlyk güýjüniň $8 - 100 \text{ mGala}$ çenli üýtgemegiň diapazonynda,

$1 \cdot 10^{-4}$ takyklygyndaky we $1000 - 3000 \text{ mGala}$ çenli diapazonyndaky $5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$ takyklygynda etalon grawimetriki poligonlar döredilen.

Grawimetrler bilen gözegçilik. Statiki grawimetrler ýokary öndüriljiligi eýe bolýarlar, punktdaky işler abzalyň oturdylmagyndan we grawimetriň şkalasy boýunça hasabaty kesgitlemekden durýar. Bu ýönekeýlige garamazdan, geçirilýän işlerde ýokaryhilli netijeleri almak üçin ýörite düzgünleriň saklanylmagy talap edilýär. Grawimetr bilen ölçemäniň takyklygy abzalyň duýujlyk çäginde kiçi bolýar (ölçemäniň tötän we sistematiki ýalňyşlyklarynyň täsiri netijesinde). Tötän ýalňyşlyklaryň çeşmeleri, indeksiň nol ştrihi bilen gabat getirilmegiň takyk dældigi, mikroölçeýji gurluş boýunça hasabatyň ýalňyşlygy, tötän derejeler boýunça grawimetri oturtmagyň tötän ýalňyşlyklary, mikroşymleriň täsiri, elektrik we magnit meýdanlaryň täsiri we nol – punktyň üýtgemeginiň tizliginiň kesgitlenişiniň ýalňyşlygy bolup durýar. Sistematiki ýalňyşlyklaryň esasy çeşmesi, etalonlamada grawimetriň bölünme bahasynyň kesgitlenişiniň takyk dældigi hasabat şkalasynyň göni dældiginiň doly däl hasabaty, temperaturanyň täsiri, mikroşymleriň statiki täsiri bolup durýar.

Grawimetrler bilen gözegçilikleri aýratyn ädimlerde reýslerde ýerine ýetirýärler. Nol – punktyň üýtgeýişini kesgitlemek üçin reýsde gözegçilikleri şol bir punktda başlanylýar we jemlenilýär, olaryň arasyndaky agyrlyk güýjüniň artdyrmasy bolsa öňden belli bolýar. Reýsiň dowamynda nol – punktyň üýtgeýişiniň tizligi hemişelik kabul edilýär.

V. AGYRLYK GÜÝJÜNIŇ DEŇIZDE WE HOWADA ÖLÇENILIŞI

V.1. Agyrlyk güýjüniň deňizde ölçenilişi

Agyrlyk güýjüniň ölçenilişiniň ýokary – takyklygyny gaty esasyda berkidilen

abzal bilen ölçemekde almak bolýar. Sebäbi mikronyň onunjy böleklerinde agramyň üýtgeýşini kesgitlemeli bolýar. Esas durumly bolmasa, gorizonta üýtgeýş maýatnigiň yrgyldama häsiýetini üýtgedýär, dikligine süýşme, dartylma tizlenmeleriniň deň derejiligi we esasyň inersial üýtgemeleri sebäpli agyrlyk güýjüniň üýtgeýşi ýaly täsir edýär. Bu tizlenmeleriniň bölünilşi asla mümkin däl. Onda-da agyrlyk güýjüni deňizde ölçemek bolýar. In ýönekeý usul – maýatnigi ýa-da grawimetri deňiziň düýbüne oturtmaly. Belli bir çuňlukda suwuň täsiriniň ýok ýerinde, agyrladylan abzal yrgyldamaz ýaly ornaşdyrmaly. Onuň üçin distansion dolandyrylyşynda esaslanan ýörite çuňlukdaky grawimetrleri döredildi. Häzirki döwürde bu usuly bilen gözleg işleri, esasan deňizleriň şelf zolaklarynda, 100 – 200m. çuňluklarda ýerine ýetirilýär.

Bu işler uly çuňluklarda ulanylmak mümkindir, ýöne uly maddy serişdeleriň

(ýokary baha) we köp wagtyň sarp edilmegini talap edýär.

Maýatnikleriň we grawimetrleriň kömegi bilen agyrlyk güýjüni ölçemek

işlerini gämide geçirmeli bolýar. Bu pikir ilkinji gezek golland fizigi Wening Maýnes tarapyndan teklip edildi.

Eer-de bir esasyda iki sany maýatnik yrgyldaýan bolsa, onda gäminiň yrgyldysy sebäpli hereketlendiriji tizlenmeler deň täsir edýärler. Diýmek, iki maýatnigiň yrgyldamagy sebäpli üýtgemeler deň bolýar. Eer-de gämide bir esasyda iki sany maýatnik bar bolsa we biriniň yrgyldylaryny beýlekiden aýyrsak, onda iki maýatnige deň täsir edýän gorizonta hereketlendiriji tizlenmeler ýok bolýarlar we diňe arassa

yrgyldy galýar (eger-de olar yrgyldamagyň bir fazasynda ýerleşýän bolsalar).

Bu usul bilen birinji ýakynlaşmada maýatnigiň hereketiniň gorizontal üýtgemeleri aýrylýar. Wertikal üýtgemeler bolsa gäminiň wagtal – wagtal hereketleri sebäpli ýokary ýa-da aşak bolup geçýän, agyrlyk güýçlerini ulaldyp ýa-da kiçeldip, uzak wagtyň dowamynda synlamalary orta baha getirilip aýryp bolýar. Şolar ýaly yrgyldylaryň hemişelik hereketinde we dogry amplitudada üýtgemeleri orta baha ýagdaýa getirip aýrylýar, sebäbi gämi göterilende, agyrlyk güýjüniň ulalmagy gämi peselenende kiçelme bilen deň derejä getirýär.

Ýöne, tejribede, bular has çylşyrymly bolýar we yrgyldama döwründe agyrlyk güýjüniň üýtgemegini ýok etmek üçin (eger-de ol (yrgyldama) 2-3 bala deň bolsa) ýörite taýýarlanmalar gerek bolýarlar. Bu ýagdaýlarda, abzallar kardan asmalarynda ýerleşdirilýär. Gämide ulanylýan abzallar, tizlenmäniň üýtgemelerini we gyşarmalary ölçeýän ýörite abzal bilen üpjün edilýär (akselerograt).

Hereketdäki gämä ýerleşdirilen abzala üýtgediji tizlenmelerden başga-da, ýeriň aýlanmagynyň ugry boýunça we onuň garşysyna bolan hereketinde merkezden daşlaşýan güýjüniň üýtgemegi täsir edýär. Eger-de gämi ýeriň aýlanmagynyň ugry boýunça hereket edýän bolsa, onda ýeriň aýlanmagynyň burç tizligine ω gäminiň töwerek boýunça herekediniň burç tizligi $\Delta\omega$ goşulýar.

Eger-de bu hereket ýeriň hereketine garşy tarapyna bolsa, onda $\Delta\omega$ aýrylmaly. Oňa degişlilikde agyrlyk güýjüniň merkezden daşlaşýan, düzümine girýän güýji ulalýar ýa-da kiçelýär. Meridian boýunça hereketinde burçlaýyn tizlik üýtgemeyär, eger-de gämi azimuty A boýunça hereket edýän bolsa, onda goşmaça merkezden daşlaşýan tizlenmäniň ululygy azimutyň kosinusyna proporsional bolar. Burç tizliginiň şolar ýaly üýtgemegi ölçenen agyrlyk güýjüniň ululygynyň

üýtgemegine getirýär. Ýalňyşlyklaryň bu çeşmesini hasaba almak üçin gözegçiligiň netijesine ýörite düzediş girizilmeli – Etwesýň düzedişi,

$$\Delta g_3 = 7,5v \sin A \cos \varphi$$

bu ýerde, A – gäminiň hereketiniň azimuty, v - düwünlerdäki tizlik, φ - ýeriň giňligi.

15 düwünine deň bolan gäminiň hereketiniň tizliginde düzedişiň ululygy *112 mGala* ýetýär.

Gäminiň hereketinde uly yrgyldylaryň bolup geçýän wagtynda maýyşgak ulgamy çuňlukda agyrlyk güýjüniň üýtgemeginden yza galar we g baha deň bolýar, ol berer, ol ölçeme döwründe ortaça baha getirilip, onuň bilen birlikde, gäminiň birnäçe wagt ozal ýerleşen nokadyndaky baha gabat gelýär.

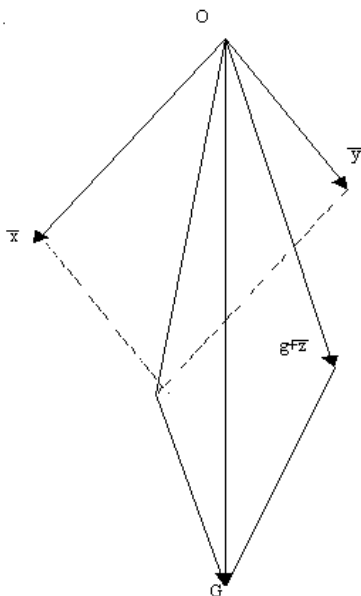
Bularyň ählisi deňizde agyrlyk güýjüniň hasaplanyşy ýerdäki hasaplanyşa görä has çylşyrymlaşýar we takyklygy peseldýär (2 dereje).

Şeýlelik bilen deňizde agyrlyk güýjüniň ölçenilşi gury ýerden aşakdaky aýratynlyklary bilen tapawutlanýar.

1. Agyrlyk güýjüni ölçemek üçin abzaly hereketli görerijide ýerleşýär (gämi, ýerasty gämisi), onuň hereketi deňiziň tolkunlary, akymlar, ýel sebäpli deň bolmaýar. Hereketlendiriji tizlenmeleriniň amplitudasy g ululygyndan $10 - 20 \%$ ýetýär we $10^4 - 10^5$ esse gäminiň ugry boýunça agyrlyk güýjüniň üýtgemegine getirýär. Goşmaça hereketlendiriji tizlenmeler gäminiň dwigatelleriniň we mehanizmleriniň hereketleri sebäpli we tolkunlaryň gämä bolan urgylary netijesinde döreýärler. Deňizde ölçemeleriň çylşyrymlylygy, alynan netijeleriň üstünde işlemegi we birnäçe düzedişleriň hasaba alynmagy ähli işi awtomatlaşdyrmagyň zerurlygyna getirýärler.
2. Gäminiň uzak ýolunda kenardaky başlangyç we ahyrky gözegçiligi uzak wagt aralygy bilen bölünen (birnäçe hepde ýa-da aý), ölçemeler agyrlyk güýjüniň üýtgemeginiň uly diapazonynda geçirilýär. Bularyň ählisi nol – punktyň

üýtgemeginiň durumlylygyna we grawimetrleri etalonlamagyň takyklygyna ýokary talaplary bildirýär.

3. Açyk deňizde köplenç gäminiň koordinatlaryny we deňiziň çuňlugyny kesgitlemek kynlaşýar (esasan çuň ýerlerde). Bu kesgitlemede düzedişleri hasaba almak üçin we agyrlyk güýjüniň anomaliýalaryny hasaplamak üçin gerek bolýan takyklygy bilen ýerine ýetirilmeli.



13-nji surat

Hereket wagtynda ölçemeler geçirlende inersiýanyň tizlenmesi, g agyrlyk güýji bilen bileleşip, wagtyň her bir pursadynda agyrlyk güýjüni döredýärler

$$G = \sqrt{\left(g + \bar{z}\right)^2 + \bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

bu ýerde \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} – inersion tizlenmäniň gorizonta we wertikal düzüjileri.

Pursatlaýyn agyrlyk güýjüniň ugury asma çyzygy bilen gabat gelmeýär we pursatlaýyn dik çyzygy (wertikal) diýlip atlandyrylýar. Abzalyň duýujy elementine duýujylyk okuna bolan ululygyň proyeksiýasy täsir edýär.

Deňizde agyrlyk güýji ölçenende ýapgytlaryň we hereketlendiriji tizlenmeleriň täsirine seredeliň. Abzalyň duýujylyk okunyň ugurynyň asma çyzygynyň ugruna golaý galýanlygy sebäpli, onda wertikal we gorizontal düzüji tizlenmeleriň täsiri ähmiýetli tapawutlanarlar we onuň üçin olara aýratynlykda seredeliň (ikinci tertipli ululyklar bilen çäklenip)

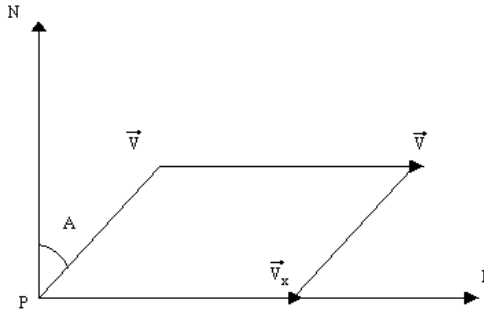
$$\left(\frac{-x}{g} \right)^2, \quad \left(\frac{-y}{g} \right)^2, \quad \left(\frac{-z}{g} \right)^2$$

bu tejribe maksatlary üçin ýeterlik bolýar.

Ilki bilen gäminiň deňhereketli täsirine seredeliň, ol Etweşyň täsiri diýip atlandyrylýar.

V.2. Etweşyň täsiri

Goý gämi (P nokat) φ giňişlikde v tizligi bilen A azimutda berlen ugur boýunça hereket edýär (14 surat). Gämide oturdylan grawimetriki abzalyň görkezmeleri diňe agyrlyk güýjüniň ululygy bilen däl-de, eýsem, ýeriň aýlanmagynyň burç tizliginiň w wektoryna görä hereketiň uguryna we tizligine bagly bolan inersion tizlenmeleri bilen kesgitlenýär.



14-nji surat

Abzalyň bellige alýan we ýere görä bolan hereketi bilen şertlenen agyrlýk güýjüni görkezýän üýtgemesine **Etweşyň täsiri** diýlip atlandyrylýar. Etweşyň täsirini hasaba almak üçin ölçemeleriň netijelerini hereketsiz wagtda synlamalaryň şertlerine getirmeli bolýar.

Gäminiň tizligini v , P nokadaky hereketiň tizligi v_y (ýeriň bir gündäki aýlanmagynyň netijesinde) bilen goşýarys.

Çyzga baglylykda

$$v^2 = v_y^2 - 2v_y v \cos(90^\circ + A) + v^2,$$

deň bolýar.

Şeýlelik bilen, gäminiň deň hereketinde abzala merkezden daşlaşýan güýç täsir edýär,

$$\frac{g^2}{R} = \frac{g_y^2}{R} + 2g_y g \sin \frac{A}{R} + \frac{g_z^2}{R}$$

bu ýerde R -Ýeriň orta radiusy. Formulanyň soňky agzasy ýeriň aýlanmagyndan döreýän we agyrlýk güýjüniň düzüjisi bolup durýan merkezden daşlaşýan güýjüni emele getirýär. Beýleki agzalar Etweşyň düzedişini g_E döredýär.

Sferiki Ýer üçin $v_y = w r \cos \varphi$, Onda

$$\Delta g_y = 2w g \cos \varphi \sin A + \frac{g^2}{R}$$

$R=6\,371\text{ m}$ we $\omega = 7,2921 \times 10^{-5}\text{ rad/s}$ deň bolanlygy sebäpli

$$g_s = 4,05v \cos\varphi \sin A + 0,0012v^2.$$

deň bolýar. Eger-de tizligi düwünde görkezsek, onda

$$G_s = 7,50v \cos\varphi \sin A + 0,0041v^2,$$

aňlatmany alarys.

Gäminiň tizligine bagly bolan formulalaryň sag tarapynda ikinji agza

Etweşyň täsiriniň merkezden daşlaşýan bölegini görkezýär. Ol diňe 30 km/sag .

tizlikde 1 mGal ululygyna ýetýär. Diýmek, gämiler üçin häsiýetli bolan tizlikleriň ululyklarynda düzedişiň birinji agzasy alynýar. Bu bolsa, hasaba almagyň aýlanýan ulgamynyň hereketinde döreýän, koriolis güýjüniň wertikal düzüjisini göz önüne tutýar.

Şol bir tizlikde Etweşyň düzedişi ekwator boýunça hereketinde iň uly baha eýe bolýar

($\zeta = 0^0$, $\sin A = \pm 1$); mysal üçin, $v = 30\text{ km/sag}$.

$g_s = \pm 122,6\text{ mGal}$ deň bolýar.

Deňiz grawimetriki kartalaşdyrmany gämide dçuňlukdaky grawimetrleriň kömegi bilen ýerine ýetirýär. Kartalaşdyrmany daýanç torunyň geçirilmeginden başlaýarlar, onuň punktlaryny ýörite gazyklar bilen berkidýär, soňra bolsa 2 – 3 grawimetrleriň kömegi bilen toruň punktlarynda reýsler geçýär. Punktda ölçegleriň birnäçesini alyp, abzal ýokary galdyryýar we ýene-de aşak barlag ölçemeleri geçirmek üçin düşürýär. Düýp grawimetrleriň kömegi bilen geçirilýän reýsleriň gurluşy we gözleg netijeleriň üstünde işleniş gury ýerlerde geçirilişine meňzeş. Punktlaryň koordinatларыny radiogeodeziki ulgamyň kömegi bilen kesgitleýär, onuň kabul ediji indikatory gämide oturdylýar, çuňlugyny – grawimetryn çuňlugy ölçeyjisi bilen ýa-da eholot bilen kesgitlenýär.

Ölçemeler geçirilýän wagtynda gämi ýakorda hereketsiz durýar.

Düýp kartalaşdyrmasyň önümçiligi pes bolýar – 30m çenli çuňlukda ýedi sagadyň dowamynda 10 – 15 punkt, 100 – 150 çuňluklarda 25% çenli peselýär (goşmaça düşürme we galdyrma işleri sebäpli). Deňiziň çuňlugynyň ulalmagy bilen ony ölçemegiň we barlamagyň ýalňyşlygy ulalýar. Şonuň üçin düýp kartalaşdyrmasy 200 – 300m çuňluk bilen çäklenýär.

Açyk deňizde grawimetriki kartalaşdyrmany beýleki geofiziki gözlegler bilen bilelikde dürli görnüşdäki ylmy-gözleg gämilerinde ýerine ýetirýär. Sany 3-den az bolmadyk grawimetrleri gäminiň agyrylyk merkezine golaý ýerleşdirilýär.

Gözegçilik işlerini gäminiň deňölçegli hereketinde göniçyzykly galslarda ýerine ýetirilýär.

Deňiz grawimetriki kartalaşdyrmanyň takyklygyny galslarda täzeden geçirilýän ölçemeleriň galslaryň kesişme nokatlarynda, ön geçirilen gözleg işleriniň netijeleri bilen deňeşdirme usuly bilen kesgitleýär.

Şelfde işleriň şertleri açyk deňizdäki şertlerinden has amatly bolýar, sebäbi daýanç punktlary kartalaşdyrmanyň ýaýlasynada döretmäge hem-de gözegçilik edilýän nokatlaryň koordinatlaryny has takyk kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Deňiz grawimetriki gözegçilikleriň üstünde işlemek işleri grawimetriýň görkezmelerini düzetmäge we düzedişleri girizmegiň zerurlygy sebäpli köp göwrümlü işleri talap edýär.

Deňiz punktunda agyrylyk güýjüniň bahasy her bir grawimetr boýunça aýratyn formula boýunça hasaplanylýar

$$g = g_0 + \Delta g$$

g_0 -daýanç punktynda agyrylyk güýji, Δg -agyrylyk güýjüniň artdyrmasy

$$\Delta g = K(m - m_0) + \Delta g_r$$

aňlatma bilen kesgitlenýär, bu ýerde K -grawimetriň bölünme bahasy, m_0 -daýanç punktyndaky baha, m -geçirilýän baha, Δg_2 - Etweşiň effekti, nul punktyň üýtgemesi, inertlik gyşartmanyň we tizlenmäniň täsiri üçin düzediş.

Nul punktyň üýtgemesi $g_{sm} = a + c(t - t_0)$ formula boýunça hasaplanýar bu ýerde t_0 -daýanç gözegçiligiň geçýän wagty, a we c hemişelikler (gözegçilikler wagtynda tapylýar).

Deňiziň üstünde agyrlık güýjüniň anomaliýesini $\Delta g = g - \gamma_0$ formula boýunça tapýarlar, onda

$$\Delta g_B = \Delta g + 2\pi f(\delta - \delta_B)h = \Delta g + 0,0418(2,67 - 1,03)h.$$

deň bolar.

v.3. Howada agyrlık güýjüniň ölçenilşi

Uçarda agyrlık güýjüniň ölçenilşi üç sany sebäpler boýunça gämidäkiden has çylşyrymly bolýar :

1. 30 – 160sek. we ondan köp bolup geçýän döwri bilen hemişelik däl we uzak arakesmeli wertikal we gorizonta tizlenmeler.
2. Agyrlık güýjüniň bahalary güýçli üýtgedýän yrgyldylaryň barlygy.
3. Synlamalar geçirilýän döwründe uçaryň hereket edýän uly tizligi sebäpli onda Etweşiň täsiri üçin ähmiýetli üýtgemeler ýüze çykýar. 500 – 600km/sag. tizlikler üçin Etweşiň düzedişleriniň ululygy 2500 – 3000 mGala deň bolýar. Tejribede alnan netijeler g -nyň uçaryň hereketiniň tizligi we beýikligi üçin düzedilen häsiýetnamany berýär. Islendik ýagdaýda uçarda agyrlık güýjüniň ölçemeleriniň takyklygy boýunça gury ýerdäki we deňizdäki ölçemelerden tapawutlanýar.

Agyrlık güýjüniň howadaky ölçemelerine girizilýän Etweşiň düzedişi şu formula boýunça hasaplanylýar

$$\Delta g_g = 2\omega g_1 \sin \beta + \left(1 + \frac{l^2}{a}\right) g^2 - \frac{l^2}{a} (g_e^2 \cos^2 B + \frac{3}{2} g^2 \sin^2 B)$$

Awiagrawimetriki kartalaşdyrma. Onuň reýsleri aerodromdaky grawimetrik punktlara daýanýarlar. Ýerdäki daýanç gözlegleri uçaryň duran mahalynda ýerine ýeririlýär. Uçaryň fotopilota geçmekligi, berlen beýiklige galmaklygy we göniçyzykly ýola çykmaklygy bilen gözegçilik başlanýar.

Tekiz düzlik ýerlerde uçuşyň beýikligini topografo-radiobeýiklik ölçeýji bilen bir metr takyklykda ölçenilýär, daglyk ýerlerde daýanç nokatlary surata düşürmek bilen bilelikde barometriki usuly ulanylýar. Etweşiň düzedişini *1 m Gal* töwereginde hasaba alyp koordinatalaryň gerek bolan takyklygy anyklanýar. Ol faza radiogeodeziki ulgam bilen üpün edilýär.

Ýol tizligini, gyşarma burçy we kursy $0,4'$ we $10'$ takyklyk bilen alynýar. Şolar bilen koordinatalaryň daýanç nokatlara garanyňda koordinatalaryň düzeldişleri hasaplanýar.

Aerograwimetriki gözegçilikleriň täzeden işlenişi deňizdäki ölçemeleriň işlenişinden tapawutlanýar.

VI. AGYRLYK GÜÝJÜNIŇ POTENSIALYNYŇ IKINJI ÖNÜMLERINIŇ ÖLÇENILIŞI

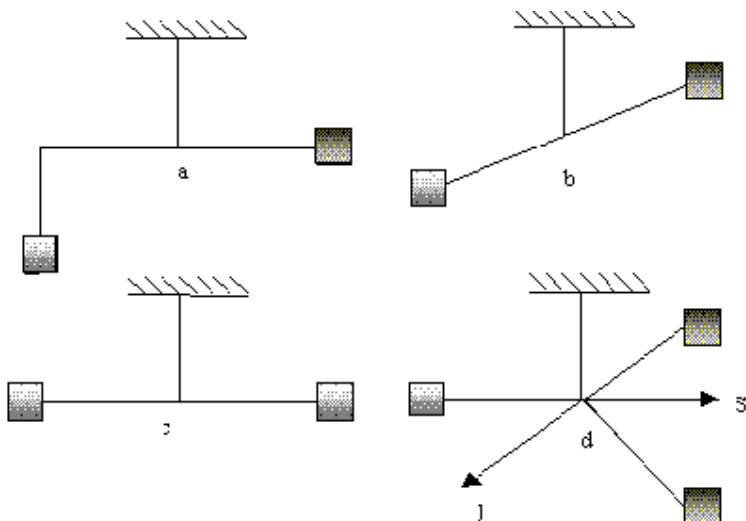
VI.1. Wariometrler we gradiýentometrler

Potensialyň ikinji önümlerini ölçemek üçin ulanylýan abzallar grawitasiýa wariometrler we gradiýentometrler diýip atlandyrylýarlar. Olardan esasysy – wenger fizigi Etweşiň wariometry bolup durýar. Bu abzallaryň duýujy elementi Kulonyň aýlanma terezisi bolup hyzmat edýär (kese tekizlikde täsir edýän kiçi güýçleri ölçemek üçin abzal). Olaryň gurluşy ýeňil kese ýaýdan durýar, onuň iki ujunda iki sany deň agramlar bar, ýaý ortasyndan örän inçe sapakda asylan, onuň daşyndan ol aýlanyp bilýär. Kulon bu terezini nýutonian çekijiligiň f hemişeligini kesgitlemek üçin ulanypdyr, Etweş bolsa olary birmeňzeş bolmadyk ýeriň grawitasiýa meýdanyny öwrenmek üçin ulanýar. Abzalyň nazarýetini ösdürip, Etweş

ölçemeler üçin has amatly abzal hökmünde agramlaryň biri has aşakda ýerleşen aýlanma terezisini ulanýar. Kulonyň ulanýan aýlanma terezisini Etweş birinji görnüşli grawitasiýa wariometry diýip atlandyrdy, aşakda ýerleşen terezini bolsa - ikinji görnüşli grawitasiýa wariometry diýip atlandyrdy.

Grawitasiýa wariometryň işleýşiniň düzgüni aşakdaky tertipde geçýär. Wolframdan bolan inçe aýlanma sapagynda ýaý aşylan, onuň uçlarynda agyr agramlar ýerleşýär (15-nji surat).

Ýaý sapakda aýlanyp bilýär, şeýlelik bilen ol uly arakesmeli yrgyldyly hereketleri we doly durmagynyň wagt aralygy bilen hereketleri ýerine ýetirýär. Doly duranda ýaý belli bir ýagdaýda durýar. Birmeňzeş grawitasiýa meýdanynda bu ýagdaý sapagyň towlanmasyndan açylan ýagdaýyna gabat gelýär. Eger-de meýdan birmeňzeş bolmasa, onda agramlara täsir edýän güýçler parallel bolmaýarlar. Olaryň düzüjileri kese tekizlikde we ýaýa bolan perpendikulýar ugurda güýçleriň jübütligini emele getirer, ol ýaýy, bu jübüdiň täsiriniň towlanma sapagyň maýyşgak pursady bilen deňleşdirýänçä towlap durar. Grawitasiýa meýdanynyň häsiýeti üýtgände güýçleriň jübüdi hem üýtgeýär, diýmek, ýaýyň hereketsiz ýagdaýy hem uýtgeýär. Şeýlelik bilen, ýaýyň deňagramlylyk ýagdaýy, wariometryň kömegi bilen ölçenýän grawitasiýa meýdanynyň birmeňzeşlik derejesine bagly bolýar.



15-nji surat

Grawitasiýa meýdanynyň birmeňzeşdäldiginiň derejesi agyrlýk güýjüniň gradiýentleriniň ululygy bilen häsiýetlendirilýär, ýa-da onuň önümleriniň x , y , z ugurlar boýunça we berlen nokatda derejelik üstüniň egriligi bilen ýa-da agyrlýk güýjüne ähli ýerlerde perpendikulýar bolan güýç çyzyklaryň ugury bilen häsiýetlendirilýär.

Öň bellenişi ýaly, agyrlýk güýjüniň gradiýentleri potensialyň ikinji önümleri bolup durýarlar

$$W_{zx} = \frac{d^2 W}{dz dx}; \quad W_{zy} = \frac{d^2 W}{dz dy}; \quad W_{zz} = \frac{d^2 W}{dz dz}; \quad (1.72)$$

derejelik üstüň egriligi bolsa

$$\frac{1}{\rho_\alpha} = -\frac{1}{g} \{ w_{xx} \cos^2 \alpha + w_{xy} \sin 2\alpha + w_{yy} \sin^2 \alpha \}$$

bilen kesgitlenýär.

Grawimetriki wariometr aşakdaky ululyklary almana mümkinçilik berýär.

$$W_{xz}, W_{zy}, W_{xx} - W_{yy} = W_{\Delta}, W_{xy}$$

Wariometryň aýlanýan ulgamynyň deňliginiň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar

VI.2. Wariometriň esasy deňlemesi

$$(\theta - \theta_0) = \frac{1}{2} W_{\Delta} \sin 2\alpha + J W_{xy} \cos 2\alpha + mlh(W_{yz} \cos \alpha - W_{xz} \sin \alpha) \quad (1.73)$$

(1.73) deňleme wariometriň esasy deňlemesi diýip atlandyrylýar. Onuň işine bäs sany näbelliler girýärler θ_0 , W_{Δ} , W_{xy} , W_{yz} , W_{xz} we bäs sany parametrleri I , l , m , h , τ . Bu näbellileri kesgitlemek üçin burçlaryň θ ölçenilişini baş sany dürli α azimutlarda ýerine ýetirmeli bolýar. Bu gatnaşyklar wariometryň duýujylygyny kesgitleýärler. Ulgamyň agramy we ululygy näçe uly bolsa, asma agramyň sapagy näçe inçe we uzyn bolsa şonça-da wariometryň duýujylygy ýokary bolar, Eger-de $m=30g$, $2l=h=30sm$, $\tau=1g/sm^2$ c bolsa, onda

$$\frac{J}{\tau} = \frac{mlh}{\tau} 2,8'' / \vartheta.$$

diýmek ikinji önümler $I\vartheta$ ölçemä ýeterli bolan öwrümleri emele getirýärler.

Wariometr golaý agramlara ýokary duýujyly bolýar, diýmek ikinji önümler, çekijilik agramyndan üçünji derejä ters proporsionaldyr.

Goý,mysal üçin, $70 kg$ agramdaky synlaýjy wariometryň bir agramyndan $50 sm$ uzaklykda we beýlekiden $40 sm$ uzaklykda ýerleşýän bolsun. Agram bir agyrylykdan r_1 uzaklykda we r_2 uzaklykda beýlekiden belli bir nokatda ýerleşýär diýip hasap etsek, onda synlaýjynyň çekijiligi ýaýyň $30sm$ uzynlygynda 35ϑ deň gradiýenti döreder.

$$\frac{fm}{30} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) = 35\vartheta$$

Golaý agramlaryň güýçli täsirleriniň netijesinde ýaýyň ýagdaýyny surat-plastina belläp alýarlar (synlaýjynyň bolmadyk ýagdaýynda). Ýaýyň öwrüm burçlaryny ölçemek üçin aýlanma okunda aýnany berkidýärler, aýnadan serpikdirilen ýagtylygyň şöhlesini suratplastina surata düşürýär. Optiki egininiň uzynlygy D deň diýip alsak, plastina boýunça hasabat $n-n_0$, onda

$$\theta - \theta_0 = \frac{n - n_0}{D} \quad (1.74)$$

belgileri girizýäris

$$\frac{JD}{\tau} = a, \quad \frac{mlhD}{\tau} = b \quad (1.75)$$

(1.74) we (1.75) hasaba alyp, wariometryň esasy deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazýarys.

$$(n - n_0) = \frac{a}{2} W_{\Delta} \sin 2\alpha + a W_{xy} \cos 2\alpha + b (W_{yz} \cos \alpha - W_{xz} \sin \alpha) \quad (1.76)$$

Wariometryň ýaýy her bir azimutda belli bir wagt aralygynyň dowamynda $10-15min$ deňagramlylyk ýagdaýyna eýe bolýar, onuň dowamynda ol asma jisimiň daşynda yrgyldyly hereketleri ýerine ýetirýär.

Önümleriň synlanan bahalary esasan üç sany sebäpler bilen şertlenen, normal grawitasiýa meýdanynyň birmeňzeş däldegi, relýetiň täsiri we ýeriň içindäki anomal agramlaryň täsiri netijesinde. Synlamalaryň netijelerine geofiziki taýdan seredilende önümleriň, içki anomal agramlaryň dartýşy bilen bagly bolan bölegi gyzyklanma döredýär. Normal meýdanda relýefiň dartýşynyň täsiri we agyrylyk güýjüniň üýtgeýişiniň täsirini düzedişler hökmünde kabul edýärler.

Normal meýdanyň we relýefiň täsirleriniň ölçenen ululyklaryndan aýrylandan

soňra ikinji önümleriň anomal bahalaryny çuň bolmadyk jisimleriň gözleginde grawigözlegde ulanylýarlar.

Wariometrleriň we gradiýentometrleriň kömegi bilen kiçi uzaklyklarda has uly takyklykdaky agyrlyk güýjüniň deňleşdirmelerini alman bolýar; grawimetrleriň ulanylmagy agyrlyk güýjüniň tapawudyny islendik aralyklarda deň takyklygy bilen ölçemäge mümkinçilik berýär.

Wariometrler we gradiýentometrler bilen geçirilen ölçemeleriň netijelerini agyrlyk güýjüniň anomaliýalaryň kartlarynyň, agyrlyk güýjüniň gradiýentleriniň wektorlarynyň, derejeli üstüň egriliginiň tapawudynyň wektorlarynyň görnüşinde göz öňüne tutulýar.

Wariometrler we gradiýentometrler iri görnüşde bolany üçin, gözegçilige gowy taýýarlygy talap edýänligi sebäpli olar kän ulanylmaýarlar.

VII. WAGTYŇ GEÇMEGI BILEN AGYRLYK GÜÝJÜNIŇ ÜÝTGEMEGINIŇ ÖWRENILIŞI

VII.1. Agyrlyk güýjüniň üýtgemeleri

Wagtyň geçmegi bilen agyrlyk güýjüniň ululygy we ugury üýtgeýär. Şolar ýaly yrgyldylaryň esasy wagty bir gününň ýarymyna golaý bolýar. Bu esasan Aýyň we Güniň gozgandyryjy dartysyň üýtgeýşine bagly bolýar (olaryň dartylýan nokadyna görä ýerleşiş ýagdaýlarynyň üýtgemegi sebäpli)

Bütindünýäniň dartys güýjüniň kanunyna görä ähli jisimler özara biri-birine dartylýarlar. Diýmek, biziň birlik agramymyz, Ýerde ýerleşýän, diňe Ýer tarapyndan däl-de eýsem Aý, Gün we beýleki planetalar tarapyndan dartylýarlar. Aýdan hem daşda ýerleşýän we Günden kiçi agramdaky planetalaryň täsiri ölçemeleriň häzirkizaman takyklygynda bildirmeýärler.

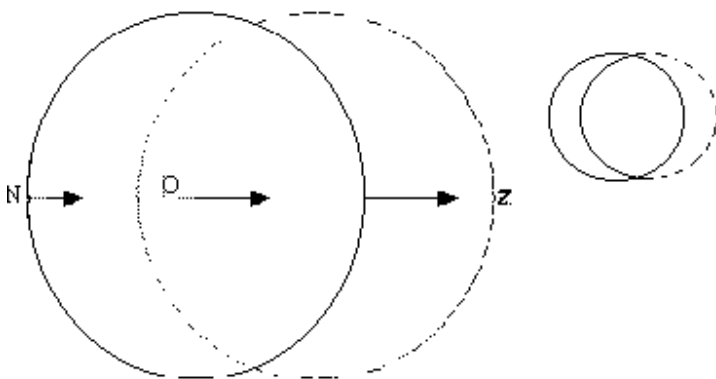
Aý we Gün hereketi boýunça Ýere görä öz ýerleşişini üýtgedýärler. Başgaça aýdylanda Ýer özüniň bir gününň dowamyndaky aýlanmagynda Güne ýa-da Aýa dürli taraplary bilen öwrülýär. Gozgandyryjy jisimine öwrülen tarapda, Ýeriň merkezinden ugrukdyrylan, goşmaça dartylma döreýär.

Agyrlyk güýjüniň maksimal üýtgemeleri Aýyň hereketine görä $0,16452 \text{ mGala}$ ýetýär. Maksimal jemleýji täsir bolsa $0,24 \text{ mGala}$ ýetýär. Bu ululyk, häzirki zaman grawimetriki ölçemeleriň takyklygyna deň bolýar we grawimetriki işlerde göz önüne tutulýar. Ýörite jedweller taýýarlanylýp, olarda her bir giňlik we uzaklyk boýunça, gününň we gijäniň her bir sagady üçin, ýylyň ähli günleri üçin agyrlyk güýjüniň aý-gün gozganmalaryň ululyklary getirilýär.

Haçanda Gün synlanýan nokadyň üstünde ýerleşende, şonda agyrlyk güýji we potensial kiçelýär. Muňa baglylykda, ýeriň nusgasyny kesgitleýän derejeli üst, dartyjy jisimiň tarapyna süýşýär. Daşgyn (priliw) döreýär. Deňizdäki suw şol

ugura akyp başlaýar we onuň derejesi ýokarlanýar. Gury ýer hem ýokary galýar.

Haçanda Gün synlanýan nokadyna görä 90^0 burçunda ýerleşende, başga-ça aýdylanda gözýetimde, daşgyn doly yzyna gaýdýar. Eger-de Gün gözlenýän nokadyna görä Ýeriň garşydaş tarapynda ýerleşýän bolsa, onda ýene-de daşgyn döreýär. g -nyň zenit aralygynyň iki bahasynda maksimuma ýetýändigini soňra görkeziler. Bular ýaly alamat aşakdaky şertiň esasynda bolup geçýär-Aý merkez (orbita) boýunça hereket edende, ol Ýeriň agramlarynyň merkeziniň süýşmegine getirýär. Şonda ähli agramlar süýşýärler, we olar gozgandyryjy jisimine görä näçe golaý bolsalar, şonça-da täsirli süýşme bolup geçýär. Şonuň üçin ilki bilen belli bir agramlar süýşerler-bular üçin Aý zenitde bolýar, soňra-merkezi agramlar we olardan soňra-beýleki agramlar süýşerler-bular üçin Aý nadirda ýerleşýär. (16-njy surat).



16-njy surat

Aýyň gozgandyryjy täsirindäki derejeli üstüň in ýokary görtermegi 35,6sm ýetýär, in pese düşmegi –17,8 sm.

Şeýlelik bilen, derejeli üstüň Aý sebäpli ýüze çykarylan yrgyldylarynyň maksimal amplitudasy 53,45m ýetýär.

Günüň täsirindäki üýtgemeler üçin derejeli üstüň in ýokary görtermi 16,45 sm deň, in pese düşmegi – 8,2 sm deň,

amplitudasy – $24,6\text{ sm}$ deň bolýar. Seredilýän nokada görä Aýyň we Günüň belli bir ýagdaýlarynda derejeli üstün süýşmeleriniň, amplitudasy 78 sm deň bolýar. Eger-de Ýeriň özi tutuşlygyna gaty, ýöne agramsyz akýan suwuklykdan duran örtüge we rezonansyň täsiri bolmadyk bolsady, onda daşgynyň belentligi şolar ýaly bolardy. Eger-de Ýer suwukly örtgisiz bolup, tutuşlygyna gaty bolan bolsady, onda şonda daşgynlar (priliwy) bolup geçmezdiler.

Hakykatda Ýer esasan suwukly, käbir ýerlerinde gaty plastik örtüge eýe bolýar we tutuşlygyna gaty bolmaýar. Daşgynyň amplitudasy, örtügi ideal suwuklykdan bolan Ýer üçin we örtgisiz bolan gaty Ýeriň maksimal bahalarynyň arasynda daşgynyň amplitudasy üýtgeýär durýar. Daşgynly tolkunýň hakyky üýtgeýşi hakyky statiki daşgynadan 65% deň bolýar, muny bolsa ekwatoryň töwereginde ýeriň üstüniň yrgyldylarynyň maksimal amplitudasyny berýär- $51\text{sm } 50-60^0$ giňlikde - 40sm-e çenli peselýär.

Şeýlelik bilen, Ýer üznüksiz ýagdaýda hereket edýär. Daşgynly tolkun bolsa hemişe Ýeriň üstünden geçýär. Biz bu hereketleri bilmeýäris, sebäbi olar örän haýal geçýärler, bir sagatda 4sm -den az (mysal üçin, Moskwanyň giňligi üçin 40km uzaklykda belentlikleriň otnositel üýtgeýşi $üç\text{ mm}$ deň bolýar).

Aýyň we Günüň gozgandyryjy hereketiniň täsirinde wagtal-wagtal giňlikler ýa-da Ýeriň polýuslarynyň Ýagdaýlary üýtgeýärler. Şu sebäpli ummandaky daşgynlar bolup geçýärler, olar Ýeriň käbir ýaýlalarynda belentligi boýunça birnäçe metrlerä ýetýärler. Iň ýokary belentlikdäki daşgynlar derýalaryň başlangyçlarynda bolýarlar. Bu üýtgemeler bolup we bolman hem bilýärler.



Agyrlyk güýjüniň daşgynly üýtgemeleri Ýeriň we beýleki asman jisimleriniň özara arabaglanyşygynyň üýtgemegi bilen bagly bolup bilerler, esasan hem Aýyň we Günüň. Olar Ýeriň içki gurluşy bilen şertlenýärler we onuň maýyşgak häsiýetlerine bagly bolýarlar. Agyrlyk güýjüň asyrlaryň üýtgemeleriniň sebäpleri hökmünde merkezden daşlaşýan güýjüň üýtgemelerine bagly bolýar (Ýeriň aýlanmagynyň tizliginiň asyrlaýyn üýtgeýşiniň netijesinde), şeýle hem dartgynlygyň hemişelik bahasynyň gipotetiki azalmagy we Ýeriň içki gatlaklarynda çuňluk agramlaryň süýşmegi we litosfera plitalaryň hereketi bilen bagly bolan üýtgemeler, bulardan başga-da Ýeriň maddasynyň fiziki häsiýetleriniň üýtgemegi hem bolup bilerler.

VII.2. Agyrlyk güýjüniň pereodiki (wagtal-wagtal) üýtgemeginiň sebäpleri

Belli bolşy ýaly, Ýer öz okunyň daşyndan deň aýlanmaýar. Ol asyrlaryň geçmegi bilen haýal aýlanmaga ugrukdyrylýar, soňra günüň uzynlygyny ulaldýar. Şolar ýaly ulalma soňky 2600 ýyl we 250ýyl üçin belli boldy. 2600 ýyl

üçin günün ortaça uzalmagy $0,0023\text{s/g}$, soňky 250 ýylda – $0,00135\text{s/g}$ deň.

Ýeriň aýlanyş tizliginiň üýtgemegi agyrylyk güýjüne täsir edýär. Bu hem onuň merkezden daşlaşýan hemişeligiň üýtgemeginde hem ýüze çykýar. Eger-de Ýeriň aýlanyşynyň tizliginiň peselse onda merkezden daşlaşýan güýç kiçeler we agyrylyk güýji umumylykda ulalar.

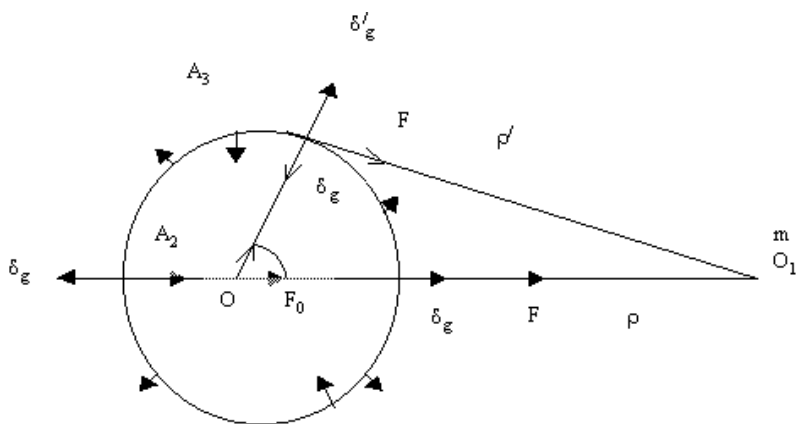
Şeýlelik bilen, Ýeriň aýlanma tizliginiň $14 \cdot 10^{-13} \text{ rad/sec}$ asyrlaryň geçmegi bilen peselmeginde bir asyrda agyrylyk güýjüniň ekwatorda ulalmagy $15 \cdot 10^{-12} \text{ mkGal}$ deň bolýar.

Agyrylyk güýjüniň pereodiki (wagtal-wagtal) üýtgemeginiň sebäpleri hökmünde dürli görnüşdäki meteorologiki alamatlar täsir edýärler, atmosfera basyşynyň periodiki (ýyllyk we gündeki) yrgyldylary, ýagynlaryň möwsümleýin ýagmagy, toprak suwlaryň derejesiniň we topragyň çyglylygynyň üýtgäp durmagy. Bu üýtgemeleriň amplitudalary uly däl, şeýlelik bilen, atmosfera basyşynyň gündäki yrgyldylarynyň netijesinde agyrylyk güýjüniň üýtgemegi $3-5 \text{ mkGala}$ deň bolýar. 1 mGala çenli amplituda bilen agyrylyk güýjüniň üýtgemegine getirýän 10 mkm-e deň bolan amplitude, $5-10 \text{ sek}$ deň bolup geçýän döwri bilen Ýeriň yrgyldylary hemişe bellenilýärler.

Agyrylyk güýjüniň periodiki däl görnüşleri käbir sebäpler bilen şertlenen, olaryň içinde Ýeriň aýlanyş tizliginiň periodiki däl yrgyldylary, ýer titremeleri, wulkanlar, atmosfera basyşynyň yrgyldylary (siklonlar, antisiklonlar), ýagynlaryň ýagmagy, topragyň çyglylygynyň we ýer suwlarynyň derejesiniň üýtgemegi, adamzadyň ýerine ýetirýän işleri we ş.m. Olaryň täsirinde bolup geçýän agyrylyk güýjüniň üýtgemeleri kän bir bildirmeýär. Mysal üçin, astronomiki synlamalarda Ýeriň aýlanma tizliginiň synlanýan görnüşleri agram güýjüniň bir aýda $2-3 \text{ mkGala}$ deň bolan üýtgemelere getirýär, Tokioda ýedi ýylyň dowamynda 1 mGal ýylda tizligi bilen agram güýjüniň peselmegi we 4 ýylyň dowamynda 18 mk

Gal ýylda tizligi bilen ulalmagy bellige alnan, olar toprak suwlaryň derejesiniň üýtgemegi sebäpli bolup geçdiler. 1m çuňlugynda kotlowanyň gurulmagy agyrlyk güýjüniň $0,05\text{ m}$ *Gala* deň bolan üýtgemegine getirer.

Aşakda hakyky Ýer üçin agyrlyk güýjüniň daşgynly üýtgemeleriniň nazaryýetine seredeliň. Ýeri gaty, üýtgemeyän, radiusy R deň sar, asman jisimi $-m$ agramly maddy nokat hökmünde göz önüne getireliň;.



17-nji surat

Bular ýaly şert daşgynlaryň statiki nazaryýeti diýlip atlandyrylýar.

Ýeriň merkeziniň O we asman jisimiň O_1 arasyndaky aralygy ρ bilen belgiläliň, asman jisimiň we ýeriň üstündäki A nokadynyň arasyndaky aralygy ρ' bilen (17 surat) O we A nokatlarda m maddy nokady tarapyndan döreýän dartylmanyň potensialy W deň bolýar.

$$g_0 = \frac{fm}{\rho}; \quad g_A = \frac{fm}{\rho'}$$

bu ýerde f -dartylma hemişeligi.

Şol nokatlarda asman jisiminiň dartma güýji Nýutonyň

kanunyna laýyklykda

$$F_0 = \frac{fm}{\rho}; \quad A_A = \frac{fm}{\rho'^2}$$

deň bolýar.

Şol nokatlarda asman jisimiň dartylma güýji Nýutonyň kanunyna laýyklykda deň bolýar.

Ýeriň ähli nokatlarynda bu güýç O_1 nokadyna ugrukdyrylan, onuň ululygy bolsa A_1 nokadynda maksimal we A_2 nokadynda minimal bolýar. F_A güýji iki sany düzüjä bölýäris, radiusyň ugry boýunça (asma çyzygyň ugry) we perpendikulýar (kese) ugrur. Iki düzüjini tapmak üçin güýjüň we potensialyň arasyndaky baglanyşygy ulanýarys: güýjüň düzüjileri islendik ugurda şol ugrur boýunça potensialyň önümine deň. Potensial üçin görkezmäni alýarys. $OA O_1$ üçburçlykdan tapylýar,

$$(\rho')^2 = \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos z \quad (1.77)$$

bu ýerde z - asman jisimiň geosentriki zenit aralygy.

(1.77) aşakdaky görnüşde ýazalyň

$$\frac{1}{\rho'} = \frac{1}{\rho} \left(1 + \frac{R^2}{\rho^2} - 2 \frac{R}{\rho} \cos z \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1.78)$$

$1/\rho'$ aňlatmany Nýutonyň formulasy boýunça $\frac{R}{\rho'}$ gatnaşma derejeleri boýunça dargadalyň. Şonuň netijesinde

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho'} &= \frac{1}{\rho} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{R^n}{\rho^n} P_n(\cos z) \text{ we} \\ g_a &= \frac{fm}{\rho} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{R^n}{\rho^n} P_n(\cos z) \end{aligned} \quad (1.79)$$

alarys, bu ýerde $P_n(\cos z)$ - $\cos z$ -dan n derejäniň köp agzalary, olar Ležandryň polinomlary diýip atlandyrylýar.

\mathcal{G}_A görkezmäni differensirläp, $\frac{R}{\rho'}$ güýjüň düzüjilerini alýarys:

$$\delta g' = \frac{d\mathcal{G}_A}{dR} = -\frac{fm}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{nR^{n-1}}{\rho^n} P_n(\cos z) \quad (1.80)$$

$$\delta g'' = \frac{d\mathcal{G}_A}{Rdz} = -\frac{fm}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{nR^{n-1}}{\rho^n} \frac{dP_n(\cos z)}{dz} \quad (1.81)$$

(1.81) aňlatmadaky minus belgisi R we agyrlyk güýjüniň ugurlary tersdigini (garşylyklydygyny) görkezýär.

(1.80) we (1.81) aňlatmalaryň sag tarapynda jemlemek $n=1$ den başlanýar sebäbi, \mathcal{G}_A potensialyň aňlatmasyndaky 0 (nol) tertipli. fm/ρ agza R -e we z -e bagly däldir, şonuň üçin onuň önümi 0 (nola) deňdir.

Şoňa baglylykda daşma potensialy P diýip, aşakdaky tapawuda aýdylýar

$$\Pi = \mathcal{G}_A - \mathcal{G}_0 = \frac{fm}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{P^n}{\rho^n} P_n(\cos z) \quad (1.82)$$

(1.83)-de agyrlyk güýjüniň daşgynly üýtgemeleriniň golaýladylan bahasy üçin 1-nji we 2-nji tertipli agzalar bilen çaklenýäris. $P_1(\cos z) = \cos z$, $P_2(\cos z) = 3/2 \cos^2 z - 1/2$ deň bolany üçin $\delta g'$

$$\delta g' = -\frac{fm}{\rho^2} \cos z - \frac{fmr}{\rho^3} (3 \cos^2 z - 1) \quad (1.83)$$

bahany alarys.

(1.83) aňlatmada birinji agza $R=0$, Ýeriň merkezinde daşgynly güýjüň düzüjisini berýär. Agramlaryň merkezinde ulanylan güýç Ýeriň tutuşlygynnda deň süýşmegini döredýär, bu güýç, Ýeriň öz orbitasy boýunça hereketinde döreýän

merkezden daşlaşýan güýji bilen deňleşdirilýär. A nokadynda agyrylyk güýjüniň üýtgemegi şonuň üçin A nokadynda $\delta g'$ güýjüniň tapawudy we Ýeriň merkezinde asman jisimiň dartylma güýjüne

$$\delta g_0 = -\frac{fm}{\rho^3} \cos z \quad (1.84)$$

deň güýjüniň tapawudy bilen ýüze çykarylýar. Şonuň üçin agyrylyk güýjüniň daşgynly üýtgemegi üçin

$$\delta g = \delta g' - \delta g_0 = \frac{fmr}{\rho^3} (1 - 3 \cos^2 z) \quad (1.85)$$

alarys.

Şeýlelik bilen, daşgynly güýç asman jisimine çenli bolan aralygyň 3-nji derejesine ters proporsional bolýar. Wagtyň her pursadynda daşgynly güýç Ýeriň dürli nokatlarynda dürli bolýar we asman jisimiň zenit aralygyna bagly bolýar; bu güýç $z=0^0$ -da ýa-da 180^0 -da iki minimuma eýe bolýar, diýmek haçanda asman jisimi zenitde we nadirde bolanda, maksimuma $z=90^0$, haçanda asman jisimi gözyetimde ýerleşende; we nola deň bolýar haçanda $z=54,7^0$ ýa-da $125,3^0$ daşgynly güýjüň Ýeriň üsti boýunça paýlanylşy görkezilen; bu güýç, Ýeriň merkezlerini we asman jisimiň merkezlerini birleşdirýän, OO_1 çyzygy boýunça Ýeri süýndürmäge ymtylýar.

Öň bellenişli ýaly, Ýeriň grawitasiýa meýdanynyň elementleriniň daşgynly üýtgemeleri esasan Aýyň we Günüň birleşmegi esasynda ýüze çykarylan. Ýeriň süýşmeginde bolup geçýän üýtgemelerde Ýer üstüniň dik süýşmeleri gury ýerlerde 40-50 sm we deňizde 10 m-dan gowruga ýetip bilýär. Üýtgeýän ýer üçin agyrylyk güýjüniň üýtgemeleri gaty ýerdäkiden Ýokary bolýar, asma çyzygyň ugurynyň yrgyldylary kiçi bolýar. Bu şeýle düşündirilýär, daşgynly güýjüň täsirinde Ýer OO_1 tarapyna süýndürilýär, şonuň üçin A_1 we A_2 nokatlary

agramlaryň merkezinden daşlaşýarlar, bu bolsa, şol nokatlarda agyrlyk güýjüniň goşmaça azalmagyny döredýär; A_3 nokadynda, tersine agyrlyk güýji goşmaça ulalma eye bolýar, sebäbi bu nokat Ýeriň merkezine golaýlaýar.

VIII. GRAWIMETRIKI KARTALAŞDYRMANYŇ USULYÝETI

VIII.1. Daýanç torlaryny döretmek

Grawimetriki kartalaşdyrma-bu, agyrlyk güýjüniň meýdanynyň giňişlikde paýlanyşyny öwrenmek maksady bilen punktlaryň koordinatalarynyň grawimetriki synlamalarynyň we kesgitlemeleriniň umumylygydyr. Ýeriň grawitasiýa meýdanynyň elementleriniň ölçenen grawimetriki kartalaşdyrmanyň punktlaryna grawimetriki punktlar diýlip atlandyrylýar.

Ölçemeleriň maksatlaryna we abzallaryna laýyklykda kartalaşdyrmalar, synlanýan punktlaryň degişli atlaryna baglylykda grawimetriki we wariometriki kartalaşdyrmalara degişli bolýarlar.

Ýeriň üstüni we grawitasiýa meýdanyny kesgitlemek üçin gerek bolýan grawimetriki kartalaşdyrmany dünýäniň grawimetriki kartalaşdyrmasy diýlip atlandyrylýar.

Niýetlenilişine baglylykda grawimetriki kartalaşdyrma töwerekleýin we bölekleyin görnüşlere bölünýär.

Töwerekleýin kartalaşdyrma giňişlikli ýerlerde geofiziki we geologiki gözlegleriň, grawitasiýa meýdanynyň umumylaşdyrylan aýratynlyklaryny kesgitlemek üçin ulanylýar (ýerleriň meýdany 1000 we ondan köp km). Onuň kömegi bilen has bölekleyin işleri geçirmek üçin ýer üleşleri saýlanylýarlar. Töwerekleýin kartalaşdyrmanyň netijeleri boýunça ownuk ölçegdäki grawimetriki kartalary düzülýär (1: 1000.000, 1: 500.000).

Belli geologiki obýektleri ýüze çykarmak maksady bilen geçirilýän grawimetriki kartalaşdyrma gözleg kartalaşdyrmasy

diýlip atlandyrylýar. Şolar ýaly kartalaşdyrmalaryň netijesinde 1-2 *mGal* kesim belentligi bilen 1:200.000, 1:100.000 ölçegdäki kartalar taýýarlanylýar.

Ýokary takykly we punktlaryň paýlanylşynyň ýygylgy bilen ýerine ýetirilýän grawimetriki kartalaşdyrmany bölekleyin grawimetriki kartalaşdyrma diýlip atlandyrylýar. Maglumatlar boýunça 1: 50 000-1:5000 ölçegdäki 0,05-0,5 *mGal* belentligi bilen kartalar taýýarlanylýar. Bölekleyin kartalaşdyrma gözleg (gözleg kartalaşdyrma) ýa-da barlag (barlag kartalaşdyrma) geologiki meseleleri çözmek üçin ulanylýar.

Ähli ölçegdäki grawimetriki kartalar asma çyzygyň gyşarmasyny, punktlaryň normal belentliklerini we belentlikleriň anomaliýalaryny hasaplamak üçin ulanylýarlar.

Kartalaşdyrmalar aşakdaky görnüşleri boýunça tapawutlandyrylýar, ýerüsti, ýerasty, skwažinaly, deňiz (düýp, suwüstündäki, pes çunlukdaky) aerograwimetriki, bular grawimetrleriň, wariometrleriň ýa-da gradiýentometrleriň degişli görnüşleri bilen geçirilýärler.

Ýerlerde grawimetriki punktlaryň paýlanylşy boýunça kartalaşdyrmalar meýdan we profil görnüşlerine bölünýärler.

Meýdan kartalaşdyrmasy –ýerde punktlaryň ýa-da profilleriň deň paýlanylşy bilen geçirilýän kartograma, onuň kömegi bilen gözleg geçirilen meýdançanyň agyrlyk güýjüniň izoanomalarynyň kartasyny taýýarlamak bolýar (wektorlaryň, egrilikleriniň).

Profil boýunça synlanýan punktlaryň we profilleriň arasyndaky aralyklary deň bolsa bu kartalaşdyrma deňölçeli, eger-de aralyklar deň bolmasa deňölçegli däl bolýar.

Profil kartalaşdyrmasy onuň netijeleri, ölçemeleriň aýratyn çyzyklarynyň özara daşlaşandygy sebäpli agyrlyk güýjüniň anomaliýalarynyň ýa-da anomaliýalarynyň gradiýentleriniň üýtgeýşini diňe şol çyzyklaryň ugry boýunça almaga mümkinçilik berýär. Profil kartalaşdyrmasy uzaldylan geologiki obýektleri öwrenilmeginde, etalon ýer ülüşinde

ýokarytakykly profilleriň geçirilişinde grawimetriki berlenleriň hilini ýokarlandyrmak üçin we barmasy kyn ýerleriň synlamalarynda ýerine ýetirilýär. Şeýlelik bilen, profil kartalary Antraktida-da we deňizdäki gözegçilik işlerinde ýerine ýetirýär.

Grawimetriki kartalaşdyrmalar esasan otnositel usuly bilen ýerine ýetirýärler. Otnositel ölçemeleri geçirmek üçin grawimetrleriň nol-punktynyň süýşmeginiň ýeke-täk barlag ulgamyna we grawimetrleriň ölçeg koýefisentlerini kesgitlemek üçin grawimetriki punktlaryň ulgamy, olaryň arasyndaky ýokary takyklygy bilen belli bolan agyrlyk güýjüniň tizlenmeleriniň tapawutlary gerek bolýar. Şolar ýaly punktlaryň ulgamy daýanç grawimetriki tory diýlip atlandyrylýar. Grawimetriki kartalaşdyrmalar daýanç we adaty kartalaşdyrmalara bölünýärler.

Daýanç grawimetriki tory dünýäniň daýanç torundan, döwlet (milli) daýanç torlaryndan we ýerli (meýdan ýa-da adaty) daýanç torlaryndan durýar. Bular kartalaşdyrmanyň öňünden ýa-da onuň bilen birwagtda ýerine ýetirilýär.

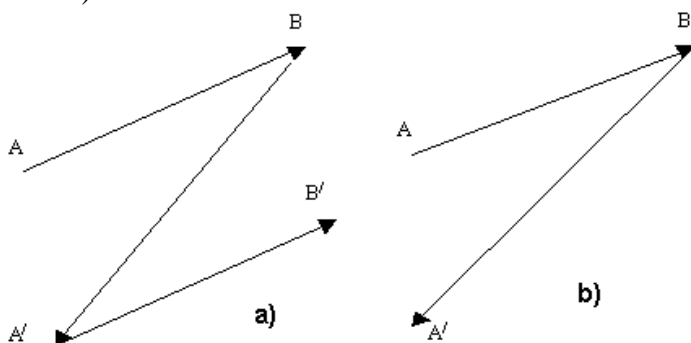
Dünýäniň daýanç grawimetriki tory otnositel kesgitlemeletriň ölçeginiň we başlangyç milli absolýut bahalarynyň ýeketäkligini üpjün etmek üçin gerek bolýar. Otnositel kesgitlemeleri absolýut ulgamyna geçirmek üçin bir punktdaky absolýut kesgitlenişi bilen çäklenmeli bolýar. Toruň öçegini bellemek üçin birnäçe daýanç punktlarynyň arasyndaky agyrlyk güýjüniň tapawudynyň ýokarytakykly kesgitlenmeleri ulanylýar.

Häzirki wagtda dünýäniň daýanç grawimetriki tory 1950-1960ý. geçirilen köpsanly grawimetriki synlamalaryň esasynda döredilen, 1971ýylda Moskwada bolup geçen Halkara geofiziki we geodeziki birleşmäniň XV Baş assambleýasynda ulanylmaga hödürlenlen. 1971 ýylyň Halkara grawimetriki standart torunyň adyny aldy-HGST-71 (TGSN-71-The international gravity standardization net) HGST-71-i döretmek üçin ýer şaryndaky 8-sany punktlarynda absolýut

kesgitlemeleri we 25 000 golaý agyrylyk güýjüniň tapawutlarynyň ölçemeleri ulanylýarlar, olardan 400-sany maýatnikli aragatnaşyklar. HGST –71 torunyň ölçeginiň takyklygy $5 \cdot 10^{-5}$ ululygy bilen kesgitlenýär. Bu toruň islendik punktunda agyrylyk güýjüniň tizlenmesi 0,2m Gal-dan kiçi bolan ýalňyşlygy bilen kesgitlenýär.

Milli daýanç grawimetriki tory otnositel usuly bilen aýratyn döwletleriň töwereginde döredilýär. Tor köplenç, Potsdam ýa-da HGST-71-ulgamynyň başlangyç punktuna görä ýokary takyklygy bilen kesgitlenen milli daýanç punktyndan ösüşini başlaýar. Bu tor poligonlaryň usuly bilen döredilýär. Poligonyň her bir tarapy boýunça synlamalary birwagtda birnäçe abzallaryň kömegi bilen we birnäçe özara bagly bolmadyk ädimleriň üsti bilen ýerine ýetirýär. Şolar ýaly usula köpgezekli- toparlaýyn ölçemeleriň usuly diýlip atlandyrylýar.

Eger-de AweB –daýanç torunyň punktlary, punktlaryň arasyndakygözegçilik aşakdaky şertler boýunça ýerine ýetirilýär, $A-B-A'-B'$ (18,a,surat) ýa-da $A-B-A'$ (18 b surat).



18-nji surat

Ölçemelerde goýberilýän ýalňyşlyklar netijesinde ýapyk poligonyň ugry boýunça agyrylyk güýjüniň deňleşdirmeleriniň jemi nola deň bolmaýar, şonuň üçin gözegçilikleriň netijelerini deňleşdirýärler. Deňleşdirmäniň wajyp ädimleriniň biri-

agyrlyk güýjüniň ölçenen tapawutlarynyň agramlarynyň oturdylyşyna bagly bolup durýar.

Döwlet grawimetriki daýanç tory I we II derejeli torundan durýar. I derejeli tora maýatnikli we grawimetriki punktlar goşulan II derejeli tora- diňe grawimetriki .

Maýatnikli punktlar I derejeli tor punktlarynyň 20%-ni düzýärler. Potsdam ulgamyna görä islendik punktuň orta kwadratiki ýalňyşlygy $0,033 \text{ mGala}$ deň bolmalydyr.

Dürli döwletleriň milli daýanç torlarynyň gurluş usullary, punktlaryň ýerleşişiniň ýygylgy, takyklygy boýunça tapawutlanýarlar.

Meýdan daýanç tory-kartalaşdyrmany ýeke-täk ulgama getirmek üçin we adaty ölçemelerde nol-punktyň süýsmegini hasaba almak üçin hyzmat edýär, ýokary takykly grawimetriki punktlarynyň tory, ol adaty toruň punktlarynda synlamalaryň öňünden ýa-da olar bilen birwagtda döredilýär. Takyklygy boýunça ol adaty torundan 1,5-2 esse ýokary bolmaly. Takyklygyň ýokarlandyrylmagyna ýokary takykly grawimetrleriň ulanylmagynda we synlamalaryň kämilleşdirilen usulyýeti netijesinde ýerine ýetirilýär.

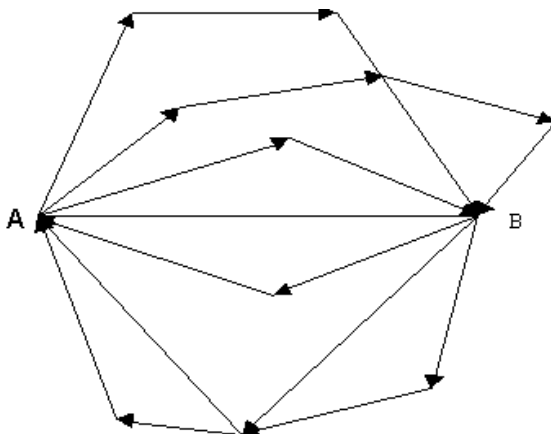
Meýdan daýanç toruny döretmek üçin köpsanly-toparlaýyn ölçemeleriň usulyny ulanýarlar, ädimleriň uzaklygyny has kämilleşdirilen ulag serişdeleriniň ulanylmagynyň netijesinde gysgaldýarlar, toruň deňleşdirilişini ýerine ýetirýärler. Daýanç toruny poligonlaryň usuly bilen döredilýär ýa-da merkezi iki ädimli ulgamlar boýunça we düwün nokatlaryň usuly boýunça synlamalary ýerine ýetirýär.

Meýdan daýanç tory merkezi ulgamy boýunça döredilende daýanç torunyň ähli punktlaryny başlangyç daýanç punkty bilen baglanyşdyrylýar, bu punkt ulgamyň merkezinde ýerleşýär. Daýanç punktlaryň agyrlyk güýjüniň tapawudynyň bahasyny başlangyç punktyna görä köpsanly ölçemeleriň netijelerinden orta arifmetiki baha hökmünde kesgitlenýär.

Daýanç torunyň iki ädimli ulgamynda gurulmagy merkezi ulgamyň usuly boýunça karkas daýanç torunyň

döredilmeginden durýar. Bu görnüşdäki tory daýanç punktlaryň toruny hem doldurýar.

Düwün nokatlaryň usuly boýunça synlamalary diňe şol ýagdaýada ulanýarlar, haçanda daýanç tory haýsydyr bir sebäpler boýunça adaty toruň punktlarynda ölçemelere başlamazdan ozal döredilen bolmadyk ýa-da daýanç torunyň ýygylgy ýeterlik bolmaýan bolsa, düwün nokatlary bir punktda birnäçe ölçeme ädimleriň kesişmeginde döredilýärler. Mysal üçin, 19 suratda *A* nokady daýanç torunyň punkty bolup durýar, *B* we *C* nokatlary (ädimleriň kesişýän nokatlary) – goşmaça daýanç ýa-da düwün nokatlary. Meýdan işleri tamamlanandan soň düwün nokatlaryň toruny deňleşdirýärler we gelejekde nol-punktyň üýtgemegi üçin düzedişleri hasaplamagyň daýanç tory hökmünde ulanylýar.



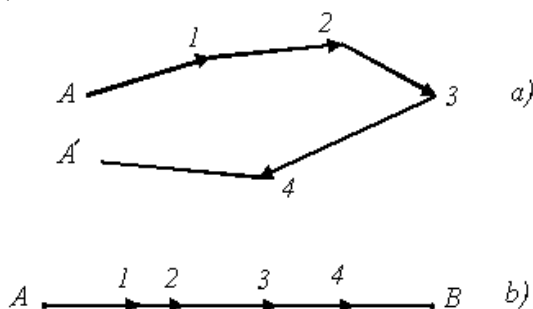
19-njy surat

Meýdan daýanç torunyň punktlaryny I we II derejeli Döwlet daýanç torunyň punktlaryna baglanylýar. Meýdan torunyň punktlaryny uzak wagtly durýan predmetler bilen gabat getirilýär-triangulýasiýanyň belgileri, niwelirlemäniň reperleri bilen. Ýerlerde berk berkidilen meýdan daýanç torunyň punktlary III derejeli daýanç toruny döredilýär.

Daýanç grawimetriki torunyň punktлары geodeziki kartalaşdyrma işlerinde geodeziki işler boýunça görkezmäniň talaplaryna laýyklykda berkidilýärler. Her bir daýanç punkty üçin nusga taýarlanylýar.

Adaty toruň punktларыnda synlamalaryň usulyýeti grawimetrleriň nol-punktynyň süýşmeginiň hasaba alynmagy bilen bagly bolýar, şonuň üçin ölçemeleri, daýanç torunyň punktларыna daýanýan aýratyn ädimler bilen ýerine ýetirilýär.

Ölçemeleri daýanç punktunda başlaýarlar we jemleýärler. Iki ýagdaýyň bolmagy mümkin: ädim şol bir daýanç punktyna daýanýar (20 a surat.) Ýa-da ädim iki sany daýanç punktyuna daýanýar (20 b surat).



20-nji surat.

Birinji ýagdaýda nol-puntuň süýşmeginiň tizligini aşakdaky formula

$$K = A' - \frac{A}{t_2 - t_1}$$

ikinci nji ýagdaýda

$$K = \frac{B - A - (g_B - g_A)}{t - t_1}$$

formula boýunça hasaplanylýar, bu ýerde A, A'-t₁ we t₂ wagt pursatlarynda A punktunda grawimetriň hasabatlary (ädimiň

başynda we ahyrynda), g_A we g_B - A we B punktlarynda agyrylyk güýjüniň bahalary.

Kartalaşdyrmanyň takyklygyna baglylykda synlamalar bir, iki ýa-da birnäçe grawimetrler bilen bir wagtda ýerine ýetirilip bilner.

Adaty toruň punktlarynda synlamalaryň taýarlanylşy grawimetriň hasabatlaryna düzedişleri girizmäge mümkinçilik döredýär. Ölçemeler milligala geçirilenden soň aşakdaky:

- 1) grawimetriň hasabat şkalasynyň çyzykly dälidiği üçin;
 - 2) temperatura üçin;
 - 3) agyrylyk güýjüniň daşgynly üýtgemeleri üçin .
- düzedişler girizýärl

Agzalan düzedişleriň içinde nol-punktyň süýşmegi üçin berilýän düzediş hökmany bolup durýar. Bu düzedişlergörkezilen formula boýunça hasaplanylýar.

Bu ýerde $t-t_0$ -ädimiň başdaky wagt aralygy. Nol-punktuň süýşmegi üçin düzediş berlenden soň ädimde grawimetriň ähli hasabatlary başlangyç punktdaky ölçegine getirilýär. Nol-punktuň süýşmegi üçin berilýän düzedişi beýleki düzedişler berlenden soňra girizilýär.

Adaty toruň punktlarynda ölçemeleriň hilini barlamak üçin we takyklygy kesgitlemek üçin kesgitlenýän punktlaryň sanyndan 5-10% göwrümde barlag ölçemelerini ýerine ýetirýärler. Barlag synlamalaryň netijeleri boýunça agyrylyk güýjüniň tizlenmesiniň ýekelik tapawudynyň ölçenilşiniň orta kwadratiki ýalňyşlygy formula boýunça kesgitlenýär.

$$\Delta g_K = -K(t - t_0)$$

bu ýerde $t-t_0$ barlag punktda iki synlamalaryň arasyndaky tapawut, n -barlanýan punktlaryň sany. Nul-punktyň üýtgemesine düzediş girizilenden soň grawimetriň reýsdäki hemme hasabaty başlangyç punktdaky hasabatynyň masştabyna getirilýär. Nul-punktyň üýtgemesiniň düzedişini galan hemme düzedişlerden soň girizilýär.

Hatar torunyň punktlarynda ölçemeleriň hilini dolandyrmak we takyklygyna baha bermek üçin umumy kesgitlenýän punktlaryň göwrüminden 5-10% barlag ölçemelerini ýerine ýetirýärler. Barlag gözegçiliginiň netijesi boýunça agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň birlik tapawudynyň orta kwadratiki ýalňyşlygyny σ aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{2n}}$$

δ -barlag punktyndaky iki sany gözegçiligiň arasyndaky tapawut, n -barlag punktlaryň sany.

VIII.2. Topografo-geodeziki işler

Grawimetriki punktytlaryň giňişlik kordinatalary diňe katalog düzmek we kartalara punktlary geçirmek üçin gerek däl, olar kartalaşdyrmanyň ahyrky netijesini, agyrlyk güýjüniň anomaliýalaryny almak üçin gerek bolýarlar. Şonuň üçin topografo-geodeziki işler grawimetriki kartalaşdyrmanyň wajyp bölegi bolup durýar. Olaryň maksady-taslamany hakyky ýere geçirmek, grawimetriki punktlary ýerde berkitmek, kordinatlary we belentlikleri kesgitlemekdir. Belentlikler abzallaryň kömegi bilen kesgitlenende işleriň gymmaty grawimetriki kartalaşdyrmanyň umumy bahasynyň 2/3bölegine deň bolýar (daýanç punktlar kesgitlenende uçarlara çykýan cykdaýjylar göz önüne tutulmaýar).

Kordinatalary we belentlikleri kesgitlemegiň ýalňyşlyklary anomaliýalary kesgitlemegiň takyklygyna täsir edýär. Kordinatlary kesgitlemegiň gerekli takyklygy taýýarlanýan kartanyň ölçegine baglylykda bellenilýär. Mysal üçin, 1:200 000 ölçegde kordinatlaryň bellenen takyklygy $0,8 \text{ mm}$ deň bolýar, hakyky ýerde ol $160m$ deň bolýar.

Agyrlyk güýjüniň normal bahasy geografiki giňligiň funksiýasy bolup durýar. Meridian boýunça 1km-e süýsmeginde orta giňliklerde agyrlyk güýjüniň bahasy $0,8mGal$ ä üýtgeýär. Şoňa esasanyp kordinatlary kesgitlemegiň takyklygy boýunça rugsat bellenilýär we oňa bagly bolýan agyrlyk güýjüni kesgitlemegiň ýalňyşlygy hasaplaýarlar.

Çylşyrymly ýaýlalarda ölçeme işlerinde kordinatalary kesgitlemek üçin aerosurat kartalaşdyrmanyň materiallary ulanýarlar, ol ýerde 300m-e çenli bellenen ýalňyşlygy goýbermek rugsat edilýär.

Agyrlyk güýjüniň anomaliýalaryny öwrenmegiň takyklygyna belentlikler kesgitlenende ýalňyşlyklar ähmiýetli täsir edýärler. Bu ýalňyşlyklar grawikartalaşdyrmadatäsirli bolýar. Bugeniň anomaliýasy hasaplananda belentlikler kesgitlenende ýalňyşlyk döreýär.

Bu ýalňyşlyklar grawikartalaşdyrmada ähmiýetli bolýar. Bugenyň anomaliýasy hasaplananda 1m deň bolan ýalňyşlyk anomaliýada $0,21 mGal$ ä deň bolan ýalňyşlygy berýär. Şeýlelik bilen kartalaşdyrmada $2 mGal$ dan geçýän izoanomallaryň kesimligi bilen kartany gurmak üçin goýberilýän ýalňyşlyklar $0,8mGal$ anomaliýalaryna we $2,5m$ belentliklere deň bolýarlar. Belentligiň ýalňyşlygy anomaliýada $0,52 mGal$ ä ýa-da ähli goýberilýän ýalňyşlygyndan 65%-ni berýär.

Belentlikleri niwelirlemäniň usullary: bilen kesgitleýär.

1. Tehniki;
2. Taheometriki ýa-da belentlik deodolit ýörelgeleri;
3. Barometriki.

Barlag işleriniň esasynda her metod üçin iň uly rugsat edilen newýazkalaryň f ululyga kesgitlenilýär. Eger L –ýoluň uzynlygy km bolsa, onda tehniki niwelirlemede näsazlyk metrde görkezilende $f=0,05\sqrt{L}$ formula boýunça taheometriki nowelirlemede bolsa $f=0,30\sqrt{L}$ boýunça kesgitlenilýär. Beýikligiň kesgitlenmesiniň orta kwadratiki ýalňyşlygy m_H f ululyga baglydyr. Näsazlyk x aralyga proporsional

paýlanylýar, şonuň üçin hem düzetme μ ýoluň häzirki, nokadyna aşakdaky deňleme boýunça hasaplanýar

$$\mu = \frac{f}{l} x.$$

Orta kwadratiki ýalňyşlyk bolsa m_H integral bilen kesgitlenýär

$$m_H^2 = \frac{1}{L} \int_0^L \mu^2 dx, \quad m_H^2 = \frac{f^2}{L^3} \int_0^L x^2 dx = \frac{f^2}{3},$$

bu ýerden $m_H=0,53 f$. Integral formulanyň esasynda m_H bahasy boýunça näsazlygy f -i tapyp bolýar, ýagny $f=1,72 m_H$.

Grawimetriki ýalňyşlyklaryndan tapawutlylykda tehniki (geometriki) we taheometriki niwelirlemäniň ýalňyşlygy ýygnanmagyň häsiýetine eýe bolýar. Eger-de iki punktlaryň arasynda artdyrmanyň kesgitlenilşinde ýalňyşlyk goýberilen bolsa, onda ol ähli geljekki punktlaryň belentliklerine deň täsir edýär.

f -ýalňyşlyk- niwelir ýörelgäniň baglanan reperleriň-punktlaryň belentlikleriniň we artdyrmalaryň ýalňyşlyklarynyň algebraiki jemi bolup durýar. Barometriki niwelirleme az ilatly we çylşyrymly ýaýlalarynda ulanylýar we belentlikler kesgitlenende orta kwadratiki ýalňyşlyk + I m -e deň bolýar.

VIII.3. Grawimetriki kartalaryň taýýarlanylşy

Grawimetriki kartanyň taýarlanylşy aşakdaky esasy bölümlerinden durýar: Kartanyň ölçeginiň we kesim belentliginiň saýlanylşy, agyrylyk güýjüniň anomaliýalaryny ýeke-täk ulgamyna getirmek, aralyk gatlagynyň dykzlygynyň saýlanylşy, anomaliýalaryň interpolirlemesi we kartanyň taýýarlanylşy.

Ownuk ölçegdäki grawimetriki kartalar бүтін ýurtlaryň we kontinentleriň ýerlerinde taýýarlanylýar. Olary döretmek üçin, dürli milli başlangyç punktlaryna görä ýerine ýetirilen

grawimetriki kartalaşdyrmalary ulanýarlar. Anomaliýalar hasaplananda dürli adaty formulalar ulanylýar. Bir formuladan beýleki formula geçilmegine rugsat berilýär.

Iki ölçegdäki grawimetriki kartalar bir ýurduň çäginde ýerine ýetirilen bölekleriň kartalaşdyrmalaryň materiýallary boýunça taýýarlanylýar. Bu ölçemeleriň netijelerini ýeke-täk ulgama getirilmegi döwlet daýanç toruna baglamasy bilen üpjün edilýär. Kartanyň ölçeginiň we kesim belentliginiň saýlawy kartalaşdyrmalaryň dykzylygy, anomaliýalaryň ýalňyşlyklary we grawitasiýa meýdanynyň çylşyrymlylygy bilen kesgitlenýär.

Grawimetriki kartalaşdyrmalaryň netijelerini geologiki taýdan görkezmek üçin köplenç Bugenyň anomaliýalaryny ulanylýar, olar aralyk gatlagyň saýlanan dykzylygyna bagly bolýarlar. Türkmenistanda aralyk gatlagyň dykzylygy $2,3\text{g/sm}^3$ kabul edilen.

Grawimetriki kartalary halkara bölünşiğiň trapersiýalary boýunça gurulýar. Kartanyň ýüzüne topografiki ýagdaýy we agyrylyk güýjüniň anomaliýalaryň ýazylan bahalary bilen grawimetriki synlamalaryň punktlaryny geçirilýär. Çyzykly interpolýasiýanyň üsti bilen goňşy punktlaryň arasynda nokatlar belgileneýär, olarda anomaliýalar k n deň (k -bütün san, n -kartanyň kesimbelentligi). Soňra anomaliýalaryň deň bahaly nokatlaryny egri çyzyklary bilen birleşdirilýär izoanomaliýalary bolsa sanlar bilen belgilenýär.

Gurlan kartanyň takyklygy interpolýasiýanyň ýalňyşlygy boýunça kesgitlenýär (M.S.Molodenskiý boýunça), ol karta boýunça interpolirlenen we anomaliýanyň ölçenen bahasynyň orta kwadratiki tapawudy hökmünde düşünilýär. Interpolýasiýanyň ýalňyşlygyny aşakdaky formula boýunça

$$E = \sqrt{\frac{(\Delta q_{\text{int}} - \Delta q_i)^2}{n}},$$

hasaplanýar, bu ýerde Δq_{int} – interpolirlenen, Δq_i -anomaliýanyň nokadynda ölçenen aňlatma, n -nokatlaryň sany.

Ýeriň üstüni grawimetriki kartanyňkömegi bilen öwrenilişi.

Ýeriň grawitasiýa meýdanynyň öwreniliş derejesi kesgitlenende standart trapesiýalarynda anomaliýalaryň orta bahalary ulanylýar, $1^0 \times 1^0$ we $5^0 \times 5^0$. Şonda trapesiýa grawimetriki taýdan öwredilen diýlip hasap edilýär, eger-de trapersiýanyň çäginde bir grawimetriki punkty ýerleşýän diýlip hasap edilýär.

Grawimetriki gatnaşykda Ýer deň derejede öwrenilmedi. Materikler (Antarktidadan we Afrikanyň käbir ýerlerinden başga) $1^0 \times 1^0$ trapesiýalar boýunça doly öwrenilen. Bütün dünýä ummanynyň üstleri doly öwrenilen däl. Deňiz kartalaşdyrmalary bilen Ortaýer deňizi, Demirgazyk Atlantika, Hindi we Ýuwaş ummanlaryň demirgazyk bölekleri doldurylan.

Materikleriň köp sanynyň ýerleşýän demirgazyk ýarymşarynda öwrenilmegiň prosent sany günortadakydan ýokary we 80% deň bolýar, ýer üçin tutuşlykda häsiýetnamalar birgradusly trapesiýalaryň 59%-na eýe bolýarlar.

Häzirki wagtda Dünýäniň grawimetriki kartalaşdyrmasyň kömegi bilen Ýer gabygynyň grawimetriki usuly bilen kesgitlenilşi ygtybarly däl.

IX. GRAWIMETRIÝANYŇ GEODEZIÝADA WE GEOLOGIÝADA ULANYLŞY

IX.1. Geodeziýada ulanylşy

Grawimetriýanyň geodeziýada ulanylşy aşakdaky meseleleriň çözülişine degişli bolýar:

1. Ýer sferoidiniň gysylmasynyň kesgitlenilşi.
2. Geoidiň nusgasynyň kesgitlenilşi.
3. Geoidiň nusgasynyň astronomo-grawimetriki niwelirlemäniň usuly bilen kesgitlenilşi.
4. Grawimetriki berlenler boýunça aşma çyzygyň gyşarmalarynyň kesgitlenilşi.

Agyrlyk güýjüniň ilkinji kesgitlenmeleriniň geçirilýän wagtyndan Ýeriň nusgasyny öwrenmekde grawimetriýanyň uly ähmiýeti ýüze çykdy, mysal üçin, Ýeriň gysylmasy bilen agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň arasyndaky baglanşyk Kleronyň teoremasynyň üsti bilen ilkinji gezek 1743 ýylda görkezildi, ol Ýeriňderejeli üstüniň gurluşynyň Ýeriň üstünde agyrlyk güýjüniň paýlanylşyna bolan baglanylşygyny belledi.

Klero öz teoremasynda, Nýutonyň birmeňzeş Ýer üçin güýç meýdany baradaky subutnamasyny giňelttdi. Ol aýlanýan birmeňzeş ideal suwuklygyň deňagramlylyk figurasy-bu kiçi gysylmanyň aýlanma ellipsoid diýip belledi. Şolar ýaly geometriki üst, birmeňzeş däl agramlardan durýan (haçanda dyklyzlyklar radius boýunça üýtgände, ýöne her bir sferoidiki gatlagy üçin hemişelik galýarlar) Ýeriň nusgasy baradaky pikirlerimiziň ikinji ýakynlaşma görnüşi bolýar.

Klero ellipsoidiň üstünde agyrlyk güýjüniň we nokadyň ýagdaýynyň arasynda gatnaşygy ýüze çykardy, bu gatnaşyk aşakdaky görnüşde ýazylýar,

$$g = g_e (1 + \beta \sin^2 \varphi); \quad \beta = \frac{5q}{2} - \alpha$$

Birinji deňleme agyrlyk güýjüniň ýeriň giňliginiň φ funksiýasy bolup durýandygyny görkezýär. Bu ýerde g_e –

ekwatorial hemişelik, ol ekwatorda agyrlyk güýjüniň dartylmasyna deň bolýar, diýmek $\varphi=0$, β -polýusda agyrlyk güýjüniň artykmajynyň ekwatorda agyrlyk güýji bilen bolan gatnaşygyna deň bolýar, α -gysylmanyň derejesi.

$$\beta = \frac{q_p - q_e}{q_e}; \quad q = \frac{\omega^2 a}{q_e}$$

bize öňden tanyş bolan ululyk.

Ekwator üçin merkezden daşlaşýan güýjüň agyrlyk güýjüne bolan gatnaşygy. Bu teorema grawimetriýanyň fundamental teoremasy bolup durýar. Ol Ýeriň gysylmasynyň grawitasiýa meýdanynyň dartylmasy bilen bolan gatnaşygyny görkezýär. Onuň kömegi bilen agyrlyk güýjüniň ölçenen bahalary boýunça gysylmany hasaplap bolýar. Başgaça aýdylanda, g boýunça deňlemäni gurmak üçin iki sany nokatda agram güýjüniň dartylmasynyň bahasyny almak ýeterlik, şol deňlemelerden iki sany näbelli ululyklary hasaplamaly bolýar g_e we β soňra tapylan β ululygy α gysylma hasaplaýlyr (Ýeriň aýlanylşynyň burç tizligi- ω belli bolan, α uly ýarymök geodeziki ölçemelerden belli, g_e ozaldan bize belli).

Hakykatda mesele has çylşyrymly bolup durýar. Ýer agramlaryň dogry paýlanylşyna eýe bolmaýar, şonuň üçin agyrlyk güýji adaty ýagdaýdaky ýaly üýtgemeyär. Biz näçe g_1 , g_2 jübütlerini alsak-da her gezek täze çözüliş boýunça tapylýar. Ähli Ýer üçin amatly boljak bahasyny tapmak üçin Ýer üstünde agyrlyk güýçlerini ölçemeli bolýar (mümkin bolsa deň ölçegli) we g -nyň ähli bahalary üçin deňlemeleri düzmeli g_e we β görä in kiçi inedördüllerini usuly boýunça bu ulgamy çözsek, gysylmanyň in amatly bahasyny ähli Ýer üsti üçin tapýarys. Bu usulda grawitasiýa meýdany boýunça Ýeriň gysylmasynyň häzirki zaman kesgitlenilşi hem esaslanýar.

Grawimetriki synlamalaryň esasynda geoidiň nusgasynyň kesgitleniş mümkinçiligi alym Stoksyň aşakdaky teoremasynda esaslanan. 1849-njy ýylda Stoks çäklenmeleri giňeltdi we

agramlaryň paýlanylyş şerti bilen çäklenilmedik ýeriň nusgasyňyň nazaryýetini döretdi.

Öň bellenişi ýaly, Nýutonyň nazaryýetiniň esasy bütindünýä dartyлма kanunynda jemlenýär, polýuslarda ýer üstüni gysýan we ekwatorda süýndürýän merkezden daşlaşýan güýjüň täsirini göz önüne tutup, Nýuton güýçleriň täsirinde erkin akyp geçýän birmeňzeş ideal suwuklygyndan durýan Ýer aýlanma ellipsoidiň nusgasyňy alýar. Ol ellipsoidiň

gysylmasyňy hasaplady, ýa-da $\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{230}$, bu ýerde a -

ekwatorial radius, b -polýar radius, Stoks şeýle hem ters meseläni goýýar, belli bolan güýç meýdany boýunça, agramlary tutuşlaýyn gabap alýan, derejeli-üsti tapmaly bolýar. Bu mesele tejribe taýdan çözülmeyär. Stoks aýlanma ellipsoidine golaý bolan kiçi gysylmaly Ýeriň ýagdaýy üçin şahsy çözülişini görkezýär.

$$\xi' = \frac{R}{4\pi\gamma} \sum (g_0 - \gamma_0) S(\psi)$$

bu ýerde γ_0 -sferoidiň nusgasynda Ýerde agyrlýk güýjüniň bahasy, $g_0 - \gamma_0$ agyrlýk güýjüniň hakyky we orta bahalary, γ_0 - agyrlýk güýjüniň anomaliýasy, $s(\psi)$ -nokatdan ψ polýar aralygyň käbir funksiýasy, onda ξ aňlatma gözlenilýär. R -Ýeriň orta radiusy.

Jem hasaplananda çykarlanda g_0 – anomaliýalary bilmek gerek bolýar, özem olar ähli Ýer üstünde deň ýerleşmeli. Berlen nokatda geoidiň belentligini kesgitlemek üçin ähli Ýer üstüni meýdançalara bölüp çykmaly, olar her birinde g_0 – anomaliýany ölçemeli, ähli Ýer üsti boýunça stoksyň s funksiýasyny hasaplamaly.

Stoksyň formulasy alnandan soň geoid diýlip atlandyrylýan derejeli üstiň gurulmagy mümkin bolýar. Bu geodeziki meseleleri çözmek üçin grawimetriýa bolan zyzyklanmany ýokarlandyrýar.

Şeýlelik bilen, agyrlyk güýjüniň ölçenen bahalary ellipsoidiň gysylmasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Ýeriň nusgasynyň ikinji golaýlatmasyny we ondan başga-da geoidiň bu ellipsidiň üstünden bolan artdyrmany –üçünji golaýlatmasy.

IX.2. Geologiyada ulanylyşy

Geologiyada grawimetriýanyň ulanylyşy onuň geolog gözleg meseleleriniň üsti bilen çözülişine bagly bolýar (grawimetriki gözleg).

Ol agyrlyk güýjüniň anomaliýalarynyň Ýer gatlagynda dykzlyklaryň paýlanylyşy bilen bolan baglanyşygynda esaslanan. Gözlenýän töwerekde grawitatsiýa meýdanynyň ýagdaýyny bilip, anomal grawitatsiýa meýdanynyň häsiýeti boýunça, anomaliýalaryň döremegine täsir edýän ýer gatlagynda birmeňzeşdäl bölekleriň barlygyny kesgitlemek mümkinçiligi döreýär.

Anomal grawitasiýa meýdanyny kesgitleýän esasy şertler hökmünde aşadaky bolup hyzmat edýärler.

1. Ýer gatlagynyň kuwwatlylygy, ýa-da Mohorowiçi serhetleriniň we gatlaryň aşagyndaky dykzlygyň üýtgemeginiň relýefi.
2. Galyndylaryň kuwwatlylygynyň granit we bazalt gatlaryň gatnaşygy, ýa-da olaryň örtüginin relýefi.
3. Dykzlyklaryň häsiýetnamasy, ýa-da galyndy gatlagynyň düzüminiň we tektoniki gurluşynyň üýtgemegi.

Grawimetriki berlenleriň geologiki taýdan görkezilişi san we hil taýdan many çykarylýar.

Hil taýdan görkezilişi – alnan töwerek boýunça bar bolan geologiki we geofiziki netijeleri ulanmak bilen grawitatsiýa meýdanynyň gurluşynyň häsiýeti boýunça tektoniki kesgitlenilşiniň geçirilmegi.

Agyrlyk güýjüniň töwerekleýin anomaliýalarynyň iri meýilnamada paýlanylşynyň häsiýeti ýer gatlagynyň ösüş tizligi barada subut etmäge mümkinçilik berýär.

Grawigözlegiň netijeleriniň zerur şerti-gözlenýän jisimiň we ony öz içine alýan jynslaryň dykyzlyklarynyň tapawudynyň barlygy (netijeli dykyzlyk).

Grawimetriki netijeleriň san taýdan görkezilişi – olaryň beýan edilişi bolup durýar, onuň netijesinde gözlenýän agramlaryň san häsiýetnamalary emele gelýär. Ýerleşiş çuňlugy, nusgasy, agyrlık güýjüniň kordinatalary, anomal agramlaryň bölünilşiniň serhetleri. Bu meseläniň çözülişi bize bellidir.

Grawimetriki netijeleriň san taýdan görkezilişi iş amala aşyrylanda iki toparlara bölünýär:

a) ýer gatlagynyň dykyzlyk birmeňzeşdalligi bilen şertlenen, syn edilen anomal meýdanyň düzüji anomal meýdanlaryna bölünmegi, olaryň her birisi belli bir gurluş gatlagynyň dykyzlygy birmeňeş dalligi bilen bagly bolýar;

b) gozgandyryjy jisimleriň gurluşynyň bölünen anomaliýalaryna ýa-da jemlenen anomaliýalaryna görä kesgitlenilşi, ýa-da olaryň ölçegleriniň, ululyklarynyň we ýerleşiş çuňlugynyň kesgitlenilşine.

Köplenç synlanan anomal meýdanyny çuňlukdaky agramlaryň grawitasiýa täsiri bilen şertlenen regional we çökündili örtüginde gurluş nusgalary bilen bagly bolan lokal(çökündili) görnüşlere bölünýär.

Grawitasiýa meýdanyny regional we lokal (çökündili) düzüjilerine bölünilşi meýdanyň transformasiýasynyň (bölünilşi, dargamagy) dürli usullary bilen ýerine ýetirilýär. Üýtgeşdirme esasynda “arassalama usuly” ýatyr, ol päsgel berýän maglumatlaryň ýok edilmegine we peýdaly maglumatlaryň bir böleginiň takyk ýüze çykarylmagyna ugrukdyrylan, ýa-da geologiki taýdan beýan edilşinde ulanylýan anomal meýdanlaryň çäklendirilmegine peýdalanylmagy.

Transformasiýanyň dürli usullaryndan iň ýönekeý we tejribede ulanylýan usullaryna şular degişli bolýarlar:

- 1) Çyzykly regional düşeginiň aýrylmagy we ortalaşdyrylan grawitasiýa kartasynyň kömegi bilen düşeginiň aýrylmagy.
- 2) Meýdanlar boýunça ortalaşdyrma usuly bilen lokal anomaliýalaryň saýlanylmagy.
- 3) Gradiýentleriň ortalaşdyrma usuly bilen grawitasiýa meýdanlaryň bölünilşi.
- 4) Belentlik boýunça potensialyň ikinji önümleriniň bahalarynda agyrylyk güýjüniň anomaliýalarynyň täzeden hasaplama usuly bilen lokal anomaliýalaryň saýlanylmagy.
- 5) Belentlik boýunça potensialyň üçünji önümlerine grawitasiýa anomaliýalarynyň täzeden hasaplama usuly bilen meýdanlaryň bölünmegi.

Regional we lokal düzüjiler meýdanyň çylşyrymly bölüniliş usullaryna anomaliýalaryň özgerdilişiniň korelyasiýa usullarynyň toplumy degişli bolýar.

Gözlenýän geologiki obýektlerini öwrenmegiň maksady anomaliýalaryň geologiki beýan edilşiinde çuňlukly alamatlaryň täsiri köplenç göz önüne tutulmaýar we gözleg geçirilýän ýer ülüşiniň çäklerinde anomal meýdanyň üýtgeýän bölegi tutuşlaýyn ýokarda agzalan anomaliýa dörediji alamatlaryna bagly bolýar.

Agyrlyk güýjüniň anomaliýalarynyň we geologiki gurluşynyň arasynda baglanyşygy bellemek üçin, ozal bellenilşi ýaly, dürli jynslaryň dykzyzlygy we onuň geologiki döremelerde üýtgame kanunlary baradaky soraglary ýüze çykýar. Belli bolşy ýaly, dag jynslary çökündi, metamorfiki we wulkan görnüşlere bölünýärler.

Bular litologiki düzümi we dykzyzlygy boýunça tapawutlanýarlar. Şol bir wagtda dürli gelip çykan jynyslar meňzeş dykzyzlyga eýe bolýarlar.

Goý σ_1 -anomal jisimiň dykzyzlygy, σ_0 -süýşüren dag jisimleriniň dykzyzlygy. Onda $\sigma = \sigma_1 - \sigma_0$ tapawuda artykmaç ýa-da anomal dykzyzlyk diýilýär. Bu dykzyzlyk otrisatel hem položitel bolup bilýär.

σ_1 we σ_2 dykyzlar anomal jisimiň daş töwereginde hemişelik bolmaýarlar.

Gözegçilik edilen anomaliýalary, ýagny, Bugeniň anomaliýalaryny Δg üsti bilen belläp we beýleki faktorlaryň şertlendirýän c täsiri aýryp. Şeýle hem c täsiri anomal meýdanyň çäginde hemişelik diýip kabul edip alarys

$$\mathcal{G}_z = \Delta g - c$$

\mathcal{G}_z anomal jisimi bilen hödürlenen, geologiki gurluşda dykyzlykly birmeňzeş dälligi döredýän, agramlaryň dartyş güýjüniň dik düzüjisi hökmünde seretmek bolýar. Bu ýerde \mathcal{G}_z bahalary boýunça τ dykyzlygy bilen agramyň paýlanylşyny kesgitlemek mümkinçiligi ýüze çykýar. Şonda ýer üsti kese tekizlik hökmünde garalýar.

Beýan edilişin san usullary grawigözlegiň göni we ters meseleleriniň çözülişini göz önünde tutulýar.

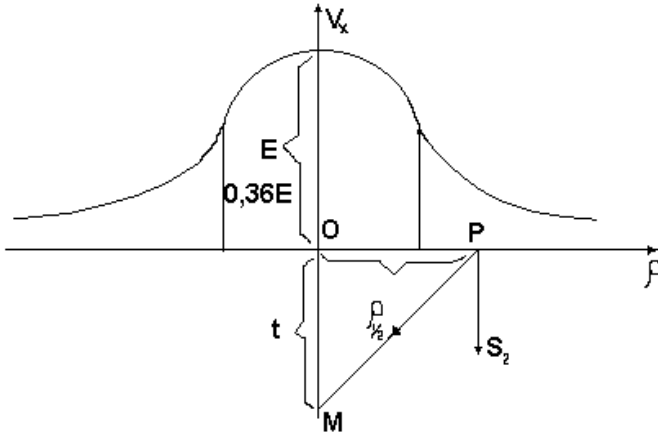
Göni meseläniň mazmuny, parametrleri belli bolan, anomal jisimi tarapyndan ýüze çykarylýan, v_2 anomaliýalaryň bahalarynyň kesgitlenilşi bolup durýar. Şolar ýaly mesele bir ugurly çözülýär.

Ters meseläniň mazmuny, \mathcal{G}_z anomaliýalaryň synlanan bahalary boýunça geologiki obýektiň (agramyň, ýerleşiş çuňlugynyň we nusgasynyň) parametrleriniň kesgitlenilşidir. Şonda dykyzlyk belli diýlip alynýar. Umumy görnüşde anomal jisimiň nusgasynyň we çuňlugynyň kesgitlenilşiniň ters meselesi kesgitsiz bolýar, ýa-da dürli çözülişleriň bolmagyna ýol berýär. Şonuň üçin onuň amatly çözülişi üçin hökmany gözleg geçirilýän meýdançanyň geologiki gurluşy baradaky netijäni ulanmak gerek bolýar.

Birmeňzeş şaryň mysalynda göni we ters meseläniň çözülişine seredeliň.

Ýer üstüni kese tekizlik hökmünde garalýň. Goý şaryň merkezi t çuňlugynda ýerleşen bolsun (21-nji surat.) M üsti bilen anomal agramyny belläp, tekizligiň erkin nokadynda

oepe-merkezinden p uzaklykda dartylmanyň z dik düzüjisini formula boýunça kesgitleýäris.



21-nji surat.

Anomal massany M üsti bilen belläp, O episentrden ρ aralykda ýerleşen erkin nokadyň \mathcal{G}_z dartylmasynyň dik düzüjisini aşakdaky formula bilen hasaplalyň.

$$\mathcal{G}_z(\rho) = G \frac{M}{\rho^2 - t^2} \cos(r, z)$$

$$\cos(r, z) = \frac{t}{\sqrt{\rho^2 + t^2}} \text{ bolýandygy üçin}$$

$$\mathcal{G}_z(\rho) = \frac{GMt}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} \quad (1.86)$$

Bu ýerden $\mathcal{G}_z \rho=0$ bolanda iň uly baha eýe bolýandygy görünýär. Bu bahany E bilen belläliň. Diýmek

$$E = \frac{GM}{t^2} \quad (1.87)$$

ρ ululygyň ulalmagy bilen V_z ululyk nola asiptotiki ýakynlaşmak bilen kiçelýär. $\rho=t$ bolanda $\mathcal{G}_z=0,36 E$ we $\rho=2t$ bolanda $\mathcal{G}_z=0,09 E$ bolýandygyny belläp geçmek gerekdir.

(1.86) formulany ulananda uly sanlar bilen işlemek maksady bilen M ululygy grmlarda, uzynlyklary santimetrlerde aňlatmalydyr. Eger-de E bize belli bolsa ýa-da gözegçiliklerden hasaplanan bolsa, \mathcal{G}_z ululygy E -ň üsti bilen aňlatmaly. Bu maksat bilen gerekli formulany tapmak üçin (1.86) we (1.87) deňlemelerden GM aňlatmany ýok etmeli. Onda

$$\mathcal{G}_z(\rho) = \frac{Et^3}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} \quad (1.88)$$

Ters meseläni çözmek üçin, anomal grafikde wertikal düzüjisi $0,5E$ deň bolan nokady alalyň: onuň absissasyny $\rho_{1/2}$ bilen belläliň. Bu ýagdaý üçin

$$\mathcal{G}_z(\rho_{1/2}) = 0,5E = GM \frac{t}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}}$$

deňleme boýunça E -niň bahasyny goýup, t görä deňleme alarys.

$$\frac{1}{t^2} = \frac{2t}{\left(\rho_{\frac{1}{2}}^2 - t^2\right)^{3/2}}$$

Soňky deňlemeden $t = 1,305\rho_{1/2}$ taparys t ululygy bilip M massany kesgitlemek mümkin bolýar. (1.87) laýyklykda

$$M = \frac{Et^2}{G} \quad \text{alarys.} \quad \text{Şaryň radiusyny hem kesgitleliň}$$

$M = 4\pi R^3 \frac{\sigma}{3}$ bolany üçin, E -ni mGal-da we R , t - ululyklary metrde aňladyp

$$R = 3,3 \sqrt[3]{\frac{Et^2}{\sigma}} \quad (1.89)$$

alarys.

Hakyky şertlerde alnan meýdanyň anomaliýalary şaryň meýdanyňkydan has çylşyrymlydygyny belläp geçmek zerurdyr. Şonuň üçin şaryň kömegi bilen interpretasiýany birinji ýakynlaşmada bermek mümkin. Muňa baglylykda alymlar tarapyndan has çylşyrymly formalar: ýarymşarlar, segmentler, süýndirlen we gysylan ellipsoidleri we başgalar üçin göni we ters meseleleri çözmek üçin köp wagt sarp edýärler.

Alynan formulalar gaty çylşyrymlylygy bilen häsiýetlendirilýärler, emma häzirki döwürde EHM-leriň ulanylmagy, bu formulalary çözmekde uly kynçylyklara getirmeýär. Onda-da anomal jisimiň modeliniň netijeli gurulmagyny, jisimi deň birmeňzeş kublaryň toplумы hökmünde göz önüne getirip we şol kublary olara massalary boýunça deňululykly şarlar bilen çalyşmak ýoly bilen amala aşyrmak mümkin.

X. GRAWIMETRIKI ABZALLAR

X. 1. Kwarsly duýujy ulgamly, ýerüsti inçediapazonly GNU – KW grawimetri.

Tebigy baýlyklaryň gözlemegiň grawimetriki usullary – bu takyklyk, köpfunksionallyk we absolýut ekologiki howpsuzlyk bolup durýar.

Ýerüsti kwars grawimetri ýönekeý portatiw abzaly bolup hyzmat edýär. Abzalyň kömegi bilen dürli şertlerde agyrylyk güýjüniň tizlenmeleriniň otnositel ölçemeleri geçirilýär. Kiçi agramly we kiçi ululygy onuň meýdan şertlerinde we çylşyrymly ýerlerde ulanylmagyna ýardam edýär. GNU – KW

grawimetri regional grawimetriki kartalaşdyrmada, daýanç grawimetriki torlarynda we ýokary takykly işlerde ulanylýar. Ýörite termostatiki taýýarlaýyş abzalyň, daşky howanyň – 25 grad + 40 grad C temperatura aralygynda (howanyň çyglylygynyň 95%-deň) işewürligini üpjün edýär. Abzal, 70 Gs ýyglygynda 20 m/s² tizlenmesi bilen yrgyldamany Kabul edýär.

Esasy görkezijiler:

Agyrlyk güýjüniň tizlenmeleriň ölçeniş diapazony 80 – 500 *m Gl* üýtgedilme bilen agyrlyk güýjüniň tizlenmeleriniň üýtgeýiş diapazony 6000 – 7000 *mGl*. Gözegçiligiň geçirilýän wagty 3minut. Agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň tapawudynyň birlik ölçenilşiniň orta kwadratiki ýalňyşlygy, 0,03 *mGl*

Ölçegleri:

belentligi (mm) : 450

diametri (mm) : 210

agramy (kg) : 5



Kwarsly duýujy ulgamly we kompýuter dolandyryşly grawimetri GNU – KWK.

Grawimetriň duýujy ulgamy eredilen kwarsdan taýýarlanan we duýujy elementiň (maýatnigiň), galyndy ýapgytlary we temperaturanyň elektrik indikasiýasy bilen doldurylan. Abzalyň esasy aýratynlygy – işleýän plastinalarynda stabilizirlenen dartylmadan, maýatnige, elektroindikasiýaly güýçli birleşmesi bilen, ölçemeleriň elektrostatiki kompensasiýa düzgünidir.

MICRO-PC 63112 PC (“Octagon Systems,” USA) görnüşindäki mikroprosessoriň ulanylmagy, maýatnigiň indikatoryndan kompensasiýaly birleşmesi bilen dolandyryşy we maglumatlaryň üstünde işlenilmegini üpjün edýär (filtrleme, ýalňyşlyklaryň hasaplanylşy we ş.m.), maglumatyň uzak wagtyly saklanylmagy, dürli düzedişleriň hasaplanylşy we agyrlýk güýjüniň deňleşdirilmegi kompýuter bilen baglanyşyk PS-232 interfeýsiň üsti bilen kesgitlenýär.

Esasy parametrler:

Birlik ölçemäniň ýalňyşlygy, mGal...0,02 köp bolmaly däl,

Ölçemeleriň diapazony: 80-450 *mGal*

Nol-punktyň galyndy süýşmegi: 0,2 *mGal/gün*

Punktda ölçemeleriň wagty: 3 min

Ýatda ölçenýän punktlaryň sany, 3000 köp bolmaly däl grawimetriň we akkumulýator bilen el. blogunyň massasy, 12 kg, köp bolmaly däl.

Ulanylýan ýerleri:

1:50 000-1:100 000 we ondan iri ölçegdäki ýokary takykly grawimetriki kartalaşdyrmalarda.

Abzalyň toplумы:

Mikroprosessor we goşmaça enjamlary bilen bir toplumda grawimetr.

Programma bilen üpjün edilen.

Tehniki häsiýetnama we ulanyлма üçin usuly görkezme.



Gäminiň üstünde ulanylýan grawimetriki toplum GMN-KM.

GMN-KM toplumy ummanlarda, şelflerde we kenarýaka zolaklarynda grawitasiýa meýdanyny ölçemek üçin ulanylýar. Takyklygyň, daşky täsirlerden goramaklygyň ýokary görkezijileri, ölçemeleriň prosessiniň awtomatlaşdyrylmagy, ulag serişdesiniň üstünde guraly gurnamaklygyň amatlylygy, ýokary öndürijilikli bu toplumy öňki toplumlardan tapawutlandyrýar.

GMN-KM toplumynyň tehniki häsiýetnamalary.

Agyrlyk güýjüniň meýdanynyň ölçeniliş diapazony –7000 *mGal*

Grawimetrleriň nol-punkttunyň süýşmegi-0,2 *mGal/gün* köp däl,

Toplumyň agramy-200 *kg*-dan köp däl,

Sarp edilýän energiýa-1,5 *kwt*,

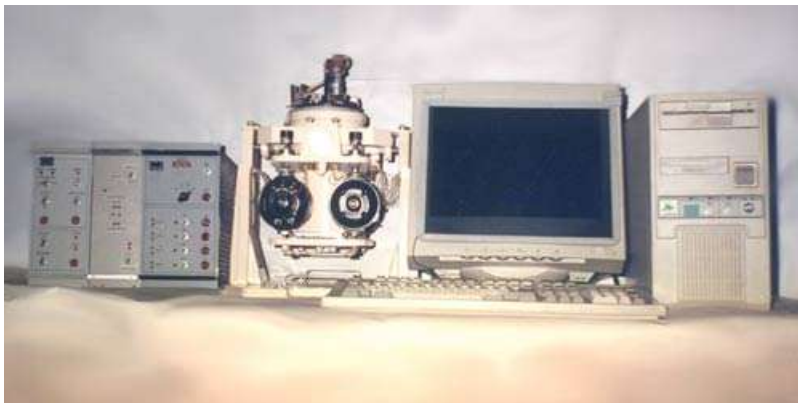
Ulag serişdäniň içki jaýlarynda toplumy oturtmak üçin talap edilýän meýdança-8m² köp däl,

Ummanda 200 *Gala* çenli wertikal gozgaýjy tizlenmelerinde çäklenen derejelerde-1,0 çenli deňizleriň şelflerinde we kenarýaka zolaklarynda, 25 *Gala* çenli wertikal gozgaýjy tizlenmelerinde çäklenen derejelerde-0,10-0,20*mGala*.

GMN-KM toplumyna girýär:

termostatirlenen pružinli kwarsly grawimetrler-2 sany:
ýymitlenme blokly bilen Kardanyň giroskopiki
asmalary-2sany:
grawimetrleriň dolandyryş bloklar.

Maglumatlary ýygnaýşy we ölçemeleri, IBM PC-da
taýýarlanan maksatnamalaryň toplumy bilen amala aşyrylýar.



X.2. Lazerli grawimetr

OA "Hebitkip" 2008-nji ýyldan lazer grawimetriň
taýýarlanylşy ýerine ýetirilýär, şol taýýarlamada agyrylyk
güýjüniň takyk ölçenilşinde täze usuly ýüze çykarmak
mümkinçiligi amala aşyrylýar.

Öňde goýulýan mesele-ölçemeleriň netijeleriniň
durnuklylygy, takyklygyň ýokarlanmagy we grawimetriň
täsiriniň ýokarlanmagy.

Seredilýän abzal teoretiki, ölçemeleriň has giň
diapazonyna eýe bolar, häzirki grawimetrlere garanyňda we
nol-punktyň kiçi süýşmesine eýe bolar. Abzaly, ölçemeleriň
önümçiligini dolandyrmak üçin we habary ýygnamak üçin
girizilen portatiw kompýuteriniň barlygy göz önüne tutulýar.

Häzirki wagtda ulanylýan grawimetrlerdeni
tapawutlyklary:

1. Taze gurluşda duýujy ulgam awtomatlaşdyrylan,
2. Ölçemeler kompensasiýa usuly bilen däl-de göni usuly bilen ýerine ýetirilýär.

Şertli, skanirlenen (GLS) we otnositel (GLO) atlandyrylýan, lazer grawimetrleriň iki görnüşiniň döredilmegi mümkin boldy.

Görnüşleriň ikisi hem aşakdaky böleklerden durýarlar, termostatiki howasyz göwrümde, süýşmeleri köpkanally lazer geterodin ölçýjisi, kompýuter üçin elektron gurluş we programmalaýyn üpjünçiligi. Grawimetryň bu iki görnüşleriniň arasyndaky tapawutlary şeýle hem ölçeniliş usulynda ýüze çykýar.

Maýyşgak elementi, oňa diklik boýunça iň kiçi gatylygy üpjün edýän görnüşine eýe bolýar, erkinligiň beýleki derejeleri boýunça gatylyk 2-4 esse uly bolýar. Maýyşgak elementiň doly egrelmegi – 5 mm 1000 *Gal* üçin.

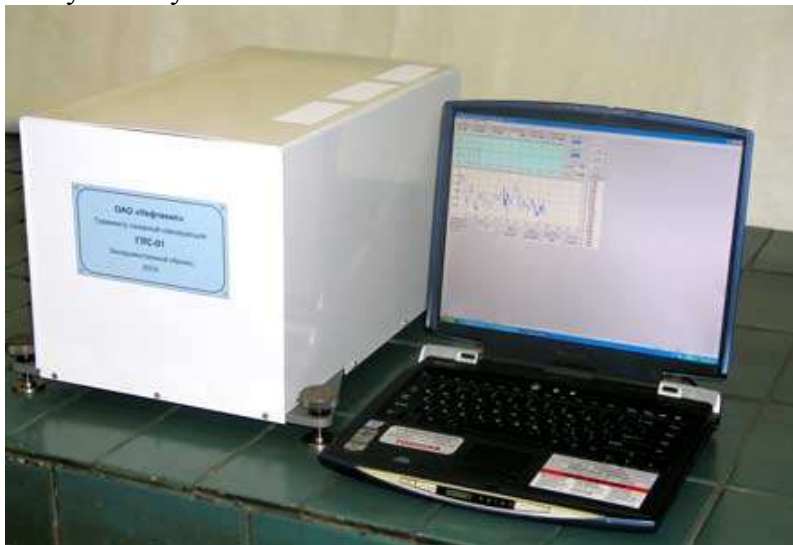
Maýyşgak ulgamy shemaly temperatura kompensasiýasyz ýerine ýetirilen. Takyk ikibasgançakly termostatyň we termostatirlenen kameranyň ýörite gurluşynyň ulanylmagy $3 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}$ – dan pes bolmadyk kameranyň içinde temperaturaly meýdanyň birmeňzeşligini üpjün edýär. Temperaturanyň galan kiçi ölçemeleri üçin düzediş programmaly usuly bilen, birnäçe presizion temperatura kanallžaryň ulanylmagy bilen girizilýär. Agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň ölçeme ýalňyşlygy 0,003 *mGal* ululygyndan uly bolmaýar.

Ähli grawimetrleriň esasy çäklendirmesi, duýujy ulgamyň materialynyň maýyşgaklygynyň doly kämilleşmedigi bilen bagly bolýar. Kwarsly grawimetrlerde esasy spiral pružinasy ulanylýar, ol esasan süýşme deformasiýasyna eýe bolýar. Taze abzalda maýyşgaklyk elementi öz görnüşini sebäpli süýnme-gysylma deformasiýasyny alýar. Eredilen kwars üçin maýyşgaklygyň kämil dældigi gysylma-süýnme deformasiýasynda süýşme deformasiýasyndan has kiçi bolýandygy görünýär. Mundan başga-da, bu abzalda geçirilen

barlaglar, onda amala aşyrylan usul maýyşgaklygynyň kämil dældigini 3 esse peseltmäge mümkinçilik berýändigini görkezdi. Bu ýagdaýda ölçemeleriň netijeleriniň gaýtalanmaklygy, temperaturanyň hemişelik şerti bilen, eredilen kwarsyň maýyşgaklygynyň durumlylygy bilen kesgitlenýär. Eredilen kwarsyň ýokary maýyşgak häsiýetleriniň barlygyna garamazdan, onuň maýyşgaklygynyň modulynyň ölçemeleri 10-8 takyklygy bilen ýerine ýetýär.

Süýşmeleriň lazer geterodin ölçeýjisiniň esasy kanaly optiki shemasy boýunça ýerine ýetirilýän. Süýşmeleri ölçemegiň absolýut ýalňyşlygy $0,05\text{ mm}$ uly bolmaýar (atomyň ululygynda 2 esse kiçi), rugsat beriji ukyby $0,02\text{ mm}$ deň.

Programma üpjünçiligi grawimetriň işini dolandyrmak, maglumatlary ýygnamak we olaryň üstünde işlemek üçin taýýarlanylýar. Grawimetre yrgyldylaryň täsiri, interferometriň esasy kanalyndan signalyň üstünde işlenilmeginiň algoritmi bilen ýok edilýär.



GLO Lazerli grawimetri

X.3. Grawimetriýa pudagynda

Ýeriň grawitasiýa meýdany geodeziýada, geologiýada, raketa-kosmiki tehnikaşynda, inersial nawigasiýasynda, gorag tehnikaşyň meselelerini çözmek üçin ulanylýar. Şonuň üçin relýefiň kartalaryna meňzeş bolan kartalar düzülýär, meýdanyň planomer kartalaşdyrmalary ýerine ýetirilýär. Ölçemeleriň takyklygy kartanyň ölçegi bilen kesgitlenýär, käbir ylmy meseleleri çözmek üçin agyrlyk güýjüni has kiçi ýalňyşlyk bilen ölçemek gerek bolýar – 1 mkGal ($10^{-9}g$). Iň öndürijilikli kartalaşdyrma – pružin grawimetrleri bilen geçirilýär, olar hemişelik berkidilen massaly tereziler görnüşinde bolýarlar. Bu massanyň agramynyň üýtgemegi agyrlyk güýjüniň üýtgeýşine proporsional bolýar we başlangyç ýagdaýyndan gysarmasy boýunça bellige alynýar. Grawimetri otnositel abzal hökmünde ulanylýar. Ýokarda agzalan ölçemeleriň takyklygynda grawimetr örän ylmy taýdanähmiýetli abzal bolup durýar. Ol gozgaýjy fiziki täsirlerinden özara kompensasiýasy bilen goranylýar (temperatura, basyş, çyglylyk, magnit we elektrik meýdanlary). Ýer üstüniň köp bölegini suw tutýanlygy sebäpli, onda dünýä ummanynyň akwatoriýasynda agyrlyk güýjüni ölçemegiň zerurlygy we ähmiýeti hökmany bolup durýar. Bu ölçemeleriň aýratynlygy – olar gäminiň yrgyldylarynda inersion tizlenmeleriniň we ýapgytlarynyň şertlerinde geçirilýär. Grawitasiýa we inersion tizlenmeleri fiziki taýdan bölünmeýärler, şonuň üçin probaly massasy olaryň jeminiň täsirini kabul edýär, özem näsazlyklar (inersion tizlenmeler) 100.000 esse peýdaly signalyndan uly bolýarlar. Signalyň ýüze çykarylmany filtrasýanyň usullary ýa-da traýektorýanyň ölçenilişi bilen näsazlyklary hasaplamak we aýyrmak üçinkömek edýär. Tizlenmeleriň jemi wektor ululugy bolup durýar we grawimetriýň ölçeýji oky, yrgyldaýan şertlerinde, dik ýagdaýda durmalydyr.

Şeýlelik bilen, deňizde agyrlyk güýjüni ölçemek üçin matematikany, mehanikany, giroskopiýany,

maglumatlaryň üstünde işleme usullaryny ulanmak bilen ylmy – tehniki çylşyrymly meseleleriň birnäçesiniň çözülişini talap edilýär, bular abzallar, usullar, metrologiki üpjünçiligi döredilende ulanylýarlar. Hereketde agyrlýk güýjüni ölçemegiň soraglary ylmy ugurlarda aýratyn meselelere getirýär.

Uly ölçeglerde deňiz ölçemeleriň mümkinçiligi geçen asyryň 50-nji ýyllarynda, dempfirlenen grawimetriň döremegi bilen ýüze çykýar. Abzalyň üstünde işlemegi

E.I. Popow başlaýar, 1956ý. K.E. Weselow suwuklygy ulanmak bilen aýlanýan görnüşdäki maýyşgak ulgamynyň dempfirlemesini hödürleýär, soňra proba massasy ryçagda ýerleşýär, ol kese ýagdaýda öňürti tovlanan sapaklary bilen saklanylýar, bu erkinligiň derejesini üpjün edýär. Gurluş ýörite arassa kwars aýnadan taýýarlanylýar we suwuklyk bilen doldurylan binada berkidilýär. Deňiz grawimetry üçin maýyşgak ulgamy S.E. Aleksandrow tarapyndan hödürlenýär. Inersiýa näsazlyklary ýok etmek üçin nazary talaplara baglylykda, iki kwars ulgamy duýujylygy we dempfirlemesi boýunça biri-birine laýyk gelmeli, biri-birine görä 180^0 bolmaly we aýlanmagyň paralel oklaryna gabat gelmeli. Talaplaryň ählisi şol wagt üçin kesgitlenýän çäklerinde kanagatlandyrmaly, laýyk gelmeklik 97% çenli, paralellik 1-nji graduslaryna çenli, 1959ý. Kardan asmasyna berkidilen abzaly bilen ilkinji ölçemeleri geçirýär. Görkezmeleriň bellenişi surat-plýonkasyna geçirildi. Abzalyň ilkinji nusgalary ýokary takyklygyna eýe bolmaýar (*5mGal* we ondan uly) we diňe erkin deňiziň şertlerinde işlemk mümkin boldy.



Birnäçe ylmy we amaly meselelerini çözmek zerurlygy ýüze çykmaklygy sebäpli, ilki bilen Ýeriň figurasyny kesgitlemek üçin, E.I.Popowyň ýolbaşçylygynda GAL-M surety dtllige alyjy deňiz grawimetri taýýarlanyldy, onuň üçin MYBI “Elektroabzal” tarapyndan giroskopiki stabilizatory taýýarlanyldy. MGF umumy ady bilen abzal çykarylyp başlandy. Ölçemeleriň ýalňyşlygy $3-5\text{ mGal}$, amatly şertlerde $1,5-2\text{ mGal}$ deň bolýar.



Deňiz abzallary, iş tamamlanandan soň, ölçemeleriň netijelerini almaga mümkinçilik berýär. 70-nji ýyllaryň ahyrynda gorag tehnikaýyň käbir meselelerini çözmek üçin, hakyky wagtda agyrylyk güýjüni ölçemegiň zerurlygy döreýär. Birnäçe guramalary goşmak bilen (merkezi-MYBI “Elektroabzal”) IFZ-nyň ylmy ýolbaşçylygynda we gatnaşmagynda MGK deňiz awtomatlaşdyrylan toplumu döredildi. Ilkinji gezek dünýä tejribesinde grawimetriki toplumyna ýöriteleşdirilen EHM goşuldy, wagt aralygynda maglumatlaryň üstünde işlemegiň algoritmleri, diapazonly utgaşdyryjy signal – kool, güýçli girowertikal, termostat hökmünde abzal sowadyjysy taýýarlandylar, iki girelge boýunça hakyky wagtda Etweşyň düzedişini hasaplamagyň usuly taýýarlanylýar, 20 burç min.kiçi oklaryň parallel däldigi bilen we 99,7%-dan ýokary, iki ýarymlaryň parametrleriniň gabat gelmegi bilen, ikilik maýyşgak ulgamyň gurluşy we tilsimaty taýýarlanylady, bu gozgaýjy tizlenmelerine bolan durumlylygy üpjün edilýär. Seriyaly çykarylýan MGK toplumu, islendik tebigy şertlerinde dünýä ummanynyň islendik etrabynda kartalaşdyrmany taýýarlamaga mümkinçilik berdi we 0,5 mGal-dan kiçi ýalňyşlygy bilen ölçemeleriň pursadynda agyrylyk güýjüniň bahasyny almaga mümkinçilik berdi. Toplumyň bazasynda Harby-deňiz floty (HDF) tarapyndan ulanylýan abzallar döredildiler. Apparaturanyň indiki kämilleşdirilmegi (takyklygy we amatlylygy ýokarlandyrmak boýunça) element bazasynyň täzelenmegi sebäpli, ululyklarynyň kiçeldilmeginiň we ulanyş häsiýetnemalarynyň gowylandyrylmagy sebäpli geçirilýär. Awtomatlaşdyrylan toplumlaryň birnäçesi döredildi (Skaloçnik, Çekan, Çekan-M, Çekan-A), olarda her birisi üçin kwars aýnasyndan taýýarlanan maýyşgaklyk ulgamy ulanylýar. Kiçi ululykly mobil grawimetri “Çekan-AM” (2003ý.) gämide ýa-da uçarda ulanylmak bolýar.



“Četa AGG” Deňiz grawimetriki toplumynyň umumy görnüşi.

Ölçemeleriň ähmiýetli bölümi – metrologiki üpjünçilik. Grawimetre, graduirlenen häsiýetnamasyny we wagtyň hemişeligini kesgitlemek boýunça ýokary talaplar bildirilýär. Gyşarma bilen etalnlamada, maýyşgak ulgamyň iki ýarymynyň oklarynyň parallel däldigi ýalňyşlyklara getirýär. W.A.Romanýuk teoretiki taýdan egrelmäniň çäklenen ululyklaryny kesgitleýär. K.Ý.Kozýakowa tarapyndan, abzallary etalonlamak barada uly eksperimental işi geçirýär, onuň netijeleri dörän päsgelçilikleri ýeňip geçmäge mümkinçilik berdi. L.K.Železnýan etalonlamagyň meselesini iki tarapdan garady. Täze maýyşgak ulgamy gurlanda, iki kwars ulgamyň oklarynyň mümkin bolýan egrelmesi boýunça talaplar üpjün edildi. Mundan başga-da, ol tarapyndan, aýlanma oklaryň islendik egrelmeginde iki maýyşgak ulgamly abzaly etalonlamada mümkinçilik berýän usul taýýarlanyldy,

E.A.Boýarskiý tarapyndan bolsa – etalonlamagyň netijeleriniň üstünde işlemek üçin degişli maksatnamalar taýýarlanyldylar.



(Daşky gaby aýrylan) “Çekan AM”
toplumyň grawiinersial ölçeýjisiniň umumy görnüşi.

Deňiz grawimetriýada apparatura taýýarlamalary bilen bilelikde, alnan netijeleriň kameral işlenilşi we ölçemegiň usuly örän ähmiýetli bolup durýar. Meýdan kartalaşdyrmanyň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin profil usuly hödürlendi (G.S.Markow, E.I.Popow, Ý.P.Izmaýlow), şeýle hem meýdan kartalaşdyrmalary ýalňyşlyklary filtrleme we keseligini tekizleme usullary bilen usullary hödürlendi (L.K.Zeleznýak). E.A.Boýarskiý tarapyndan programma üpjünçiligine çenli ýokarda agzalan usullar getirildi, Şeýle hem ahyrky netijäni almagy üpjün edýän, kameral işlenilşiniň ädiminde dürli ugurly maglumatlaryň köp sanynyň üstüne işlenilmegi üçin maksatnamalaryň toplumy döredildi.

50-nji ýyllardan häzirki wagta çenli geçirilen deňiz ölçemeleriň netijeleriniň takyklygy 100 esse-den hem köp boldy! MGK toplumy bilen geçirilýän ölçemelerde, meýdan kartalaşdyrmasy deňleşdirilenden soň, 0,06 *mGal* takyklygy alyndy, bu bolsa häzirki wagtda iň gowy netijeler bolup durýar.

Tejribehanada has işjeň aerograwimetriýa ösýär (W.M.Koneşow). Uçardan geçirilýän agyrlyk güýjüni ölçemeleri iň çylşyrymly bolup durýarlar, sebäbi signaly ýygylýyklary (agyrlyk güýji) we näsazlyklary (inersion tizlenmeleri) örän uly diapazonda baglanylýarlar. Traýektoriya ölçemelerini 2 *sm* ýalňyşlygy bilen, wagty bolsa-ölçemeler deňligi üçin sekundanyň 100-nji böleklerine çenli bolan ýalňyşlygy bilen ölçemek talap edilýär.

Dünýä ummanynyň akwatoriýasynda agyrlyk güýjüni kesgitlemek üçin kosmiki serişdeleriň döremegi bilen, IFZ-de netijeleriň göni ölçemeler bilen deňeşdirmegiň barlagy geçirilýär. (L.K.Železnýak, W.M.Köneşow, N.W.Drobyşew, W.W.Klewsow, W.M.Solowýow). Ýeriň fiziki we grawitasiýa meýdanlaryny öwrenmekde kosmiki gözlegleriň netijelerini ulanmak boýunça güýçli depginde işler alnyp barylýar.

Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetini, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Макаров Н.П. Геодезическая гравиметрия. М:НЕДРА, 1998
11. Кузьмин В.И., Ганагина И.Г. Гравиметрия. М:Наука, 2004
12. Гладкий К.В., Гравиразведка, Руководство к лабораторным занятиям по гравиразведке и магниторазведке. М: Наука, 2005
13. Огородова Л.В., Шимбирев Б.П., Юзефович А.П. Гравиметрия. М:Недра 2006

Mazmuny

	Giriş.....	7
I.	Ýeriň grawitasion meýdanynyň nazaryeti.....	10
I.1.	Agyrlyk güýji we onuň potensialynyň ikinji önümi.....	10
I.2.	Merkezden daşlaşýan güýjüň potensialy.....	21
I.3.	Ýeriň normal grawitasiýa meýdany.....	25
I.4.	Anomal grawitasiýa meýdany.....	31
I.5.	Agyrlyk güýjüniň tizlenmesini we onuň potensialynyň ikinji önümini ölçemeginň usullary.....	35
II.	Agyrlyk güýjiniň absolýut ölçemeleri.....	39
II.1.	Maýatnik usuly.....	39
II.2.	Erkin gaçýan jisim usuly.....	46
III.	Maýatnikli abzallar bilen agyrlyk güýjüniň otnositel ölçenişi.....	49
III.1.	Maýatnikli abzallar.....	49
III.2.	Punktdaky gözegçilik we alnan maglumatlaryň üstünde işlemek.....	51
IV. I.	Grawimetriýada agyrlyk güýjüniň otnositel ölçemeleri.....	54

IV.1.	Mehaniki grawimetrleriň esasy bölekleri.....	54
IV.2.	Kwarsly grawimetr.....	56
IV.3.	Grawimetrleriň etalonlaşdyrylyşy.....	61
V.	Agyrlyk güýjüniň deňizde we howada ölçenilişi.....	64
V.1.	Agyrlyk güýjüniň deňizde ölçenilişi.....	64
V.2.	Etweşiň täsiri.....	68
V.3.	Howada agyrlyk güýjüniň ölçenilişi.....	72
VI.	Agyrlyk güýjüniň potensialynyň ikinji önümleriniň ölçenilişi.....	73
VI.1.	Wariometrler we gradiýentometrler.....	73
VI.2.	Wariometriň esasy deňlemesi.....	76
VII.	Wagtyň geçmegi bilen agyrlyk güýjüniň üýtgemeginiň öwrenilişi.....	79
VII.1.	Agyrlyk güýjüniň üýtgemeleri.....	79
VII.2.	Agyrlyk güýjüniň pereodiki (wagtal-wagtal) üýtgemeginiň sebäpleri.....	82
VIII.	Grawimetriki kartalaşdyrmanyň usulyýeti.....	88
VIII.1.	Daýanç torlaryny döretmek.....	88
VIII.2.	Topografo-geodeziki işler.....	96

VIII.3.	Grawimetriki kartalaryň taýýarlanylşy.....	98
IX.	Grawimetriýanyň geodeziýada we geologiýada ulanylşy.....	101
IX.1.	Geodeziýada ulanylşy.....	101
IX.2.	Geologiýada ulanylşy.....	104
X.	Grawimetriki abzallar.....	110
X.1.	Kwarsly duýujy ulgamly, ýerüsti inçediapazonly GNU – KW grawimetri.....	110
X.2.	Lazerli grawimetr.....	114
X.3.	Grawimetriýa pudagynda.....	117
	Edebiýatlar.....	124
	Mazmuny.....	125