

**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

**G.Orazow, N.Tatow**

# **GRAWIMETRIKI BARLAGLAR**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

**G.Orazow, N.Tatow,** Grawimetriki barlaglar.

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

Şu okuw gollanma tehniki okuw jaýlarynda bilim alýan talyplara niýetlenendir. Seredilýän meseleler okaýan talyplaryň grawimetriýa kursyny özbaşdak özleşdirmäge kömek eder.

## GIRIŞ

**Grawimetriýa** – ýeriň agyrylyk güýjiniň meýdany we onuň wagt boýunça üýtgemegi hakyndaky ylym. Grawimetriýanyň metodlary Ýeriň görünişini (figurasyny), gurluşyny, Güniň we Aýyň dartyşy bilen ýüze çykyan maýyşgak deformasiýalary öwrenmäge mümkinçilik berýär. Ol metodlar Geodeziki, Geofiziki, Metrologiki, Geologiki, kosmonawtiki, astronomiki meseleleri çözmekde giňden ulanylýar. Ýeriň agyrylyk güýjüniň ululygyny ölçemek üçin maýatnikli abzallar, grawimetrleriň dürli görnüşleri we grawitasion Wariometrler ulanylýar.

Grawimetriýa Grek sözi bolup ( Grawis – agyr, metr – ölçemek) – agyrylyk güýjüniň tizlenmesini *otnositel* ölçemek.

Grawimetriýa ylymy I. Nýuton bilen baglanyşykly (1643-1727 ýý.), ýer aýlanýan elipsoiddyr diýip belläpdir. Ýere deňagramlylykda aýlanýan grawimetrik massa diýip seredipdir. Nýuton Ýeriň gysylmasyny şeýle hasaplapdyr  $\alpha = 1/230$ .

Bir näçe ýyldan soň Fransuz matematigi Klero (1713-1765 ýý.) ýeriň çekiş güýji bilen, giňişligiň ýeriniň, ikisiniň aralygynyň baglanyşygyny, Ýeriň gysylyşynyň hem-de çekiş güýjiniň gatnaşygyny tapypdyr (teorema Klero). Bu uly öňe gidişlik mydama ýeriň üstünde, çekiş güýjini ölçemäge we ýeriň ýüzünde paýlanyşyny öwrenmäge itergi berdi. 1849 ý. Skot (1817-1908 ýý.) subut etdi. Ýeriň kuwwatyny we çekiş güýjiniň aralygyny. Stoksyň teoremasy, Kleronyň goýan düşüňjesini giňeltdi. Olar ýeriň kuwwatyny we çekiş güýjini tapmaga mümkinçilik berýär, berlen deňeşdirilen üstlerde, şoňa görä Ýeriň görnüşinde massasyny we aýlanma hereketini. Galileý (1564-1642 ýý.) çekiş güýjüniň tizlenmesini, erkin gaçyşda tapypdyr. Barlag işlerini belli bolan gyşaryp duran Pižan başniýesinde geçiripdir.

Galileýiň açyşyna görä, erkin gaçma kanuny boýunça çekiş güýji tapypdyrlar.

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

Bu ýerde:

**S** - gaçan jysymyň geçen ýoly; **g** - çekiş güýjiniň tizlenmesi, **t** - wagt.

Öňkilere görä dograk edip Gýugen (1629-1695 ýý.), çekiş güýjini tapypdyr, maýatnigýň hereketiniň esasynda.

$$T = 2\pi\sqrt{L/g}$$

Bu ýerde:

**T** - gymyllynyň wagty; **g** - çekiş güýjiniň tizlenmesi; **L** - maýatnigýň uzynlygy.

Wenger fizigi Etweş XIX asyryň aýagynda täze grawimetriki abzal oýlap tapypdyr – Grawimetriki wariometr, Klonuň aýlanmanyň agramlygyna esaslanypdyr, ygtyýarly ölçemäge çekiş güýjiniň özüni dälde, her taraplaýyn we kese tekizlikde ýokary dogrulykda.

Şeýle abzal tapylandan soň tejribe işlerinde birnäçe işleri amala aşyrmaga mümkinçilik berdi. Geologiýa işlerinde ýeriň ýokarky gatlaklarynyň gatylygynyň hemme ýerde deň dældigini anyklandy.

***Grawimetriýanyň geodeziýada ulanylyşy*** – geodeziki grawimetriýa şunuň ýaly meseleleri çözmek üçin ýeriň ýüzündäki hadysalary we daşyndaky grawitasion meýdanynyň aýry - aýrylygyny (elementlerini). Mundan başgada grawimetriki ölçegler bilelikde astronomo -geodeziki ölçemelerde nokatlaryň beýikligini, astronomo - geodeziki gysartmanyň, otwese hasaplanyşy, ellipsoidiň üstünde ölçegleriň netijelerini redusirlemekde, ellipsoidiň gysarmasyny tapmakda hem ulanylýar. Ellipsoidiň gysylmasyny, ýeriň ýüzünde ugur tapmagy we geoidiň, ellipsoida garanda üýtgemegini hem öwrenýär, bulary dogry tapmaklyk gerek bolýar triangulýasiýa metodlaryny proýektirlemekde, F.N.Krasowskiň aýdyşyna görä.

Häzirki wagtda esasy geodeziki torlar, topografiki sýomkada giňden ulanylýar, metod düzedilen astronomiki koordinat, grawimetriki düzedilmeler, bir näçe ýerlerde triangulýasyýany çalyşyýar. Grawirazwedkanyň geologiýada ulanylşy. Ýeriň figurasyny, gurluşyny, Günüň we Aýyň dartyşy bilen ýüze çykýan maýyşgak deformasiýalary öwrenmäge mümkinçilik berýär. Ol metodlar geofiziki meseleleri çözmekde we gazylyp alynýan peýdaly baýlyklaryň, aýratyn hem nebit, gaz, kömür we şuna meňzeşleriň gözleglerinde giňden ulanylýar.

***Raketno-kosmiki tehnikada we kosmiki barlaglarda*** - hem grawimetriki görkezmeleri baglanyşdyrylýar. Ýokary dogrulykda orbitada we raketanyň traýektoriyasy, kosmosda uçýan aparatlarda ulanylýar. Geljekde grawimetriýanyň önünde Aýy we planetalary, olaryň grawitasion meýdanyny öwrenmek wezipesi durýar.

# I BAP. ÝERIŇ GRAWITASION MEÝDANYNYŇ TEORIÝASY

## § 1. Çekiş güýji we ikinji proizwodniniň potensialy

Grawimetriýanyň teoriýasynyň esasy bolup I. Nýutonyň (1687 ý.) бүтін dünýä dartýş güýjine esaslanandyr, şoňa görä iki nokadyň massasy  $m_1$  we  $m_2$  çekiş güýji  $\vec{F}$ , olaryň massalaryna göni proporsional, olaryň arasyndaky uzaklygyň kwadratyna ters proporsional.

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

Bu ýerde:

$f$  - mydamalyk çekiş güýji (grawitasion – mydamalyk), barlaglaryň esasynda tapylýar, aýlanýan agyrlýk ölçenilýär, iki jisimiň biri-birine baglylykda güýji, belli massaly we ulylygy.

$$F = (6,6720 \pm 0,0041) \cdot 10^{-11} \text{ (m}^2\text{/kg}^2\text{)};$$

Ýeriň bir nokadynyň massasyna üç güýç täsir edýär:

1. Dartýş güýji  $\vec{F}$ , emele gelýär hem-de Nýutoryň kanunyna gabat gelýär, nokadyň aralygynda we Ýeriň massasynda.

2. Ortalyk güýç  $\vec{P}$  –Ýeriň öz okunyň daşyna aýlananda emele gelýär.

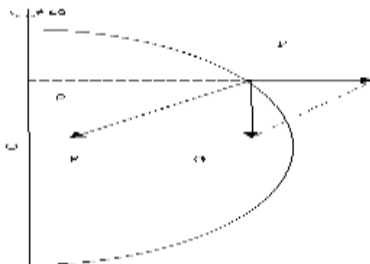
3. Asma jysymlarynyň çekişme güýji-  $\vec{F}_1$ . Hemmesi şu güýçler ýygnaýyp, Ýeriň güýjüniň tizligi –  $\vec{G}$  bolýar.

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

Bu ýerde:

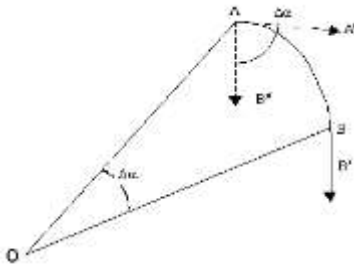
Dartyş güýji  $\bar{F}$  şertli bellikler boýunça Ýeriň içki gurluşyna we görnüşine paýlanýar. Asman jysmymlarynyň çekiş güýji  $\bar{F}_1$ , gös-göni Klonyň kanunyna laýyk gelýär (1.1). Merkezden daşlaşýan güýç  $\bar{P}$  aralykda proporsional  $\rho$ . Şonuň aýlanmagyna we kwadraty burçyň  $\omega^2$  tizlenmesi, Merkezden daşlaşýan güýç, tegelegiň kiçi radiusyna gabat gelýär, şol ýagdaýda aýlanma emele gelýär.

**1-nji surat.** Ýer aýlananda  $\bar{P} = \rho \omega^2 m$  (1.3).



Merkezden daşlaşýan güýç, çekiş güýjini azaltmaga ymtylýar. Töwerekde deň aýlanýan nokadyň tizligi  $V$  geljekde mydamalyk ululykda, her pursatda uguruňgaltaşmagy, ugury boýunça yzy kesilmeýär. Bu bolsa merkezden daşlaşýan güýjiň üýtgeýändigini düşündürýär.

## 2-nji surat.



Surat 2-den görnüşi ýaly wektorlar  $\vec{AA^1}$  we  $\vec{BB^1}$  görkezilýär, çyzykly tizligi, sähelçe wagty bolýan aralygy  $\Delta t$ . Egerde  $A$  we  $B$  nokadyň aralygyndaky burç  $-\Delta\alpha$  uly däl bolsa.

Onda töweregiñ radiusy  $\rho$  bolsa  $V = \rho \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$ ;

$\vec{BB^1}$ -vektoryň uguryňy saklaýarys, ony alyp A nokadyň başlaýan ýerine geçirýäris. Şeýlelikde burç  $\angle ABA^1 = \Delta\alpha$ , ugury boýunça tizligiň üýtgemegi onuň dugasyna deňdir –  $V\Delta\alpha$ , onda olaryň gatnaşygy  $(V\Delta\alpha)/\Delta t$ , bu bolsa merkeziň tizlenmesini berýär. Şu ýerde goýarys  $V$  – derek degişli aňlatmany we hasaplaýarys, onda gatnaşyk  $\Delta\alpha/\Delta t$ , şeýlelikde burç tizlenmesi ( $\omega$ ), merkezden ymtylýan tizlenmäni tapýarys

$$\frac{dV}{dt} = \rho \omega^2$$

Şeýle ýagdaýda dartyş güýji, hereketlenýän nokadyň massasyny bire deň diýip alýarys we onda merkeziň tizlenmesiniň ýerine, merkeziň güýji diýip alýarys,onda şeýle formula bilen görkezilýär



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

Hemme dartyлма güýjiň çekilişi we merkezi güýjiň dartyлмasy, gysylmanyň çekiş güýjini düzýär. Bu ýerde şol nokadyň üstünden jisim hereket edip geçýär, hereket Ýeriň dartgynlygy we merkezi güýjiň täsiri bilen bolýar. Ýeriň ýüzündäki her bir nokatda ýeriň çekiş güýji dürli-dürlidir: şol ekwatorдан көпелip başлаýар polýusa tarap, aralyk azalýar tä Ýeriň merkezi massasyna çenli (bu көпelmegine eltiýar  $\bar{F}$  (1.2), şeýlelikde gysgalmagy aralygyň tä aýlanýan oka (onda merkezi güýç azalyp  $P$ ). Bu ýerde hemme üýtgeşikler biri-biriniň üstüne düşýär, wariantli hem-de belli bir ýere degişlidir, Ýeriň görnüşine we içki gurluşyna baglydyr. Laýyk gelýän (1.4) aralyk arasyndaky deňlenen tekizlikde bir däl, ol çekiş güýjiniň ululygyna ters proporsional. Hil birliginde tizlenmäniň çekiş güýjiniň, sistemasynda ÇGS – şeýle tizlenme diýlip kabul edilen, şeýlelikde көпелýän massa 1 g. täsir edýän güýji 1 dina. Şunuň ýaly tizlenme birliginde alyarys, adyna bolsa birinji gezek çekiş güýjini ölçän Galileý [Gal].

$$[Gal] = [Dlina]/[Gramm] = [sm]/[sek^2];$$

Döwlet sistema birliginde SU tizlenme birliginde şeýle ululykda alynýar  $M/s^{-2}$  deňdir 100 Gal.

Praktikada ulanmak amatly bolar ýaly kiçi birlikler çekiş güýjini ölçände:

0,001 Gala – milligal (mGal) we 0,00000 Gala-mikroгал.

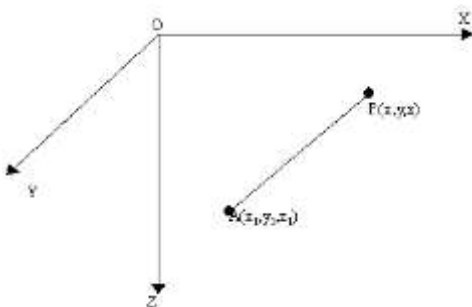
Ýeriň çekiş güýji orta hasap bilen 980 Gal, bu ýerde ýakynlaşýan hasaplamalardan  $1mGal \approx 10^{-6}$ , onda bir milligal deňdir takmynan bir million bölegine çekiş güýjiniň, Ýeriň ýüzünde ölçenýäniň. Ýeriň doly çekiş güýjiniň meýdany we onuň ýüzünde üýtгän golaýлаýар, ýagny, 978 Gal ekwatorда, onda 982,5 Gal polýusда.

Şeýlelikde бүтindүнә система birliginde SU, hili birilikleriň çekiş güýjüniň meýdanynyň dartylyşында Nýuton (N) ulanylýar.

N - bu dartyşma көпелýär 1 kg şeýle ýagdaýда eger tizlenme

1m/s<sup>2</sup>. Kuwat çekişmäni 3 suratdan düşündirse bolar.

### 3-nji surat.



Görkezilen shema göniburçly koordinatlaryň üstünde iki material nokat ýerleşdirilen: özüne çekýän nokat P koordinatlary X, Y, Z we çekilýän nokat A koordinatlary X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub> massasy dm. Iksiniň aralygy

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

Nýutonyň kanunyndan belli bolşy ýaly (1.1) şu material nokatlaryň arasynda çekiş güýji bar

$$dF = f (dm/r^2) \quad (1.6)$$

Bu ýerde:  $dm = \sigma dx_1 dy_1 dz_1$ .

Proýeksiýasy güýjiň dP onda muny koordinatlar okunyň üstünde tapyp bolýar, köpeldip dF-i kosinus burça, bu güýjiň uguryny gurýarys, gabatlaşýan oklarda, onda

$$\begin{aligned} dF_x &= dF \cos (F, X), \\ dF_y &= dF \cos (F, Y), \\ dF_z &= dF \cos (F, Z). \end{aligned} \quad (1.7)$$

Analitiki geometriýadan belli bolşy ýaly, kosinus burçuny görkezip boljak koordinat nokady P we A şunuň ýaly görnüşinde:

$$\begin{aligned}\cos(F, X) &= \frac{x_1 - x}{r}, \\ \cos(F, Y) &= \frac{y_1 - y}{r}, \\ \cos(F, Z) &= \frac{z_1 - z}{r}\end{aligned}\quad \text{Şuňa görä}$$

$$\begin{aligned}dF_x &= f\left(\frac{x_1 - x}{r^3}\right) dm \\ dF_y &= f\left(\frac{y_1 - y}{r^3}\right) dm \\ dF_z &= f\left(\frac{z_1 - z}{r^3}\right) dm\end{aligned}\quad (1.9)$$

Integrirläp hemme ululykdaky çekilýän jisime, onda alýarys gabatlaşýan güýjiň çekilişine, şu jisim P nokatda.

$$\begin{aligned}F_x &= f \int_v \frac{x_1 - x}{r^3} dm \\ F_y &= f \int_v \frac{y_1 - y}{r^3} dm \\ F_z &= f \int_v \frac{z_1 - z}{r^3} dm\end{aligned}\quad (1.10)$$

Bu ýerde: ýönekeý bolar ýaly üç integralyň deregine bir

integral ýazýarys belligi bilen  $\underline{v}$  - görkezýär integralyň göwrümini.

Başgaça seredeňde (1.10), şeýle düşünmek bolýar, olaryň hemmesi proizvodny bir funksiýany, muňa şeýle diýip aýdylýar güýç dartgynlygy.

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

Hakykatdanam

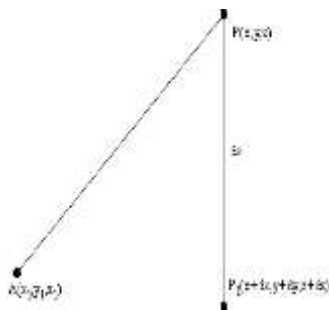
$$\begin{aligned} \frac{dV}{dx} &= f \int_v \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{\left[ (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \right]^{3/2}} \right\} dm = \\ &= f \int_v \frac{1}{\left[ (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \right]^{3/2}} dm = f \int_v \frac{x_1 - x}{r^3} dm \end{aligned} \quad (1.12)$$

Şuňa görä (1.11) deňlemäni differensirowat edip göz ýetirýäris:

$$\begin{aligned} F_y &= \frac{dV}{dy} \\ F_z &= \frac{dV}{dz} \end{aligned} \quad (1.13).$$

Şundan görünişi ýaly potensial ñekişmäni aýytsa bolýar, şeýle funksiýa diýip, aýratynlykdaky proizvodny koordinatlar okunyň üstünde bolýar, dartýş güýjiniň proyeksiýasy şol okuň üstünde. Grawimetriýada esasy düşünje bolýar deňeşdirme üstler. Şu üstlerde potensialyň bahalary mydamalykdyr.

**4-nji surat.** Deňeşdirme üst we olaryň häsiýetleri barada düşünje almak üçin seredeliň üýtgeýän çekişme **P** nokadyň islendik ugur boýunça aralyk **ds**



Şu ýagdaýda süýşýän **P** nokadyň koordinatalary **X, Y, Z** baglanyşykda alarys.

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

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

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

$P_1$  – nokadyň potensialy üçin şunuň ýaly baglanyşyk alarys.

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

Goýup (1.14) bahasyny  $dx$ ,  $dy$  we  $dz$  şonda (1.12) – (1.13) proizwodniniň bahalaryny, onda şeýle ýazyp bolýar:

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

Şoňa görä

$$F_x = F \cos(F, X);$$

$$F_y = F \cos(F, Y); \quad (1.17)$$

$$F_z = F \cos(F, Z)$$

Onda alýarys:  $dV = Fds [\cos (F,X) \cos (S,X) + \cos (F,Y)$

$$\cos (S,Y) + \cos (F,Z) \cos (S,Z)] \quad (1.18)$$

Kwadrat skobkanyň arasyndakylar görkezýär, kosinus burçynyň aralygyndaky ugruny **F** we **S**, şeýlelikde  $dV = F \cos (F,S) ds$  (1.19)

$$\text{başgaça } dV/ds = F \cos (F,S), \quad (1.20)$$

Şoňa görä, proizwodniniň potensialy, islendik ugurda deňdir, çekiş güýjiniň proyeksiýasy şol ugura. Iki aýratyn waka seredeliň, görünişe (1.20).

**Waka 1.** Ugur perpendikulýar güýjiň uguryna.

$$\text{Şonda } \cos (F,S) = 0 \quad dV/ds = 0 \quad (1.21)$$

$$\text{Şeýlelikde } U(X,Y,Z) = \text{const}, \quad (1.22)$$

Bu deňleme üstlere degişlidir, şonuň üçin potensialyň bahalary dñ bolýar, şoňa görä güýç **F** – şonuň her bir nokadynda ugrukdyrylan normasy şoňa. Şunuň ýaly üstlere deňeşdirilen üstler diýilýär. Aýratynlykda bahalary elmydama gabat gelýär dürli deňeşdirme üstler bilen.

**Waka 2.** S ugury gabat gelýär, **F** güýjiň ugury bilen, onda  $\cos (F,S) = 1$ .

$$dV/ds = F \quad (1.23)$$

Şeýlelikde geçýäris soňky baglanyşyga, onda şeýle ýazyp bolýar.

$$\Delta V/\Delta S = F \quad \text{ýa-da} \quad \Delta S = \Delta V/F \quad (1.24)$$

Soňky deňlemä yrazylykda, aralyk arasyndaky iki deňeşdirilen üstlere göni proporsional, potensialyň tapawudyna we ters proporsional güýjiň çekişmesine.

Şeýlelikde eger çekişme güýji haýsy ugur bilen bolsada, gapdalyndan deňeşdirilen üstler azalýar, şol aralyk arasynda, deňeşdirilen üstlerde köpeliýär we tersine.

Şeýlelikde görkezme (1.23) şeýle görnüşde ýazylýar

$$dV = Fds \quad (1.25)$$

Onda alýarys teorema Bruns, fiziki häsiýetleri şeýlelikde potensial bolýar iş, onda ulalýar güýjiň meýdanynyň çekişmesi, şunlukda çekişmesi jisimiň golaýlaşýar, bire massasy we onuň gutarnyksyzlygy nokat P. Tapawudy potensialyň tapylýar iş diýip, şoňa görä ýetirilýär, eňýär güýjiň çekişmesini, köpelyär çekişmäniň massasy şoňa üýtgemegi birlikligine massasy şoňa nokat P we aralyk ds.

**Potensialyň merkezi güýji.** Mehanikadan belli boluşy

$$C = \frac{mv^2}{r_1}$$

ýaly, merkezi güýç deňdir

(1.26)

Bu ýerde: **v**-nokadyň çyzykdaky tizligine, aýlanmada gatnaşygy, **r** – ok aýlananda iki nokadyň aralygy.

Çekiş nokadynyň massasyny bire deňeşdirýäs onda alýarys:

$$C = V^2/r_1 \quad (1.27).$$

Çyzykdaky tizligi burç bilen çalşyryarys, onda alýarys

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

$$\text{Şeýlelikde} \quad C = \omega^2 r_1 \quad (1.29).$$

Koordinatlar okunyň üstünde şeýle bolýar:

$$C_x = C \cos (c,x)$$

$$C_y = C \cos (c,y) \quad (1.30)$$

$$C_z = C \cos (c,z).$$

Şeýlelikde esasy güýç ugrukdyrylan, aýlanýan oka perpendikulýar edilip, aýlanma okuna gabat gelýär diýsek, z ok bilen, onda esasy güýjiň ugury gabat gelýär  $r_1$ , şeýlelikde

$$\text{Cos } (r_1,x) = x/ r_1$$

$$S (r_1,y) \quad (1.31)$$

$$\text{Cos } (r_1,z) = 0.$$

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

görkezme şonuň üçin, merkezi güýjiň düzüminde oklaryň üstinde emele gelyär aýratyn proizwodniniň indiki funksiýasy, bu bolsa aýdylýar potensialyň esasy güýj diýip,

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

onda

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

Çekiş güýji, ýokarda görkezilişi ýaly deň täsir edýän iki güýç. Şoňa görä, potensial çekiş güýji bolýar, hemme potensial dartlmasy we esasy güýji.

$$W = V + Q = f \int_v \frac{dm}{r_l} + \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2)$$

(1.35)

Çekiş güýjiniň aýratyn potensial proizwodnisi oklaryň üstinde, çekiş güýjiniň proyeksiýasyna, deň şol oklarda, şeýle görnüş

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

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

$$\frac{dW}{dz} = g_z = f \int_v \frac{(z_l - z) dm}{r^3} + \omega^2 z. \quad (1.38)$$

**Çekiş güýjiň potensialy** – potensial çekişmäniň häsiýetlerini alýar. Aýratynlykda bahaly düzülende, potensialyň çekiş güýjiniň gutarnyksyzlyga, şonda eger  $r \rightarrow +\infty$  görnüşde esasy güýjiň köpelmegine nula deň bolup bilmeýär, gutarnyksyz bolýar.



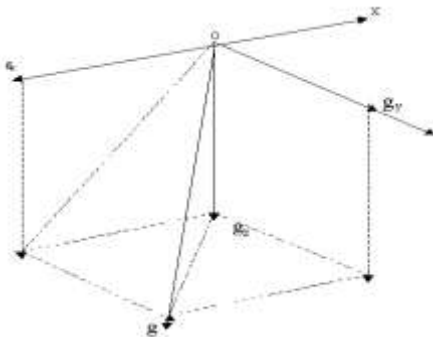
Onda

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

Onda  $z$  okunyň ugruny üýtgedip, çekiş güýjiniň täsir edýän ugruna, şonda deňlikde, deňeşdirilen üstlerde alýarys:  $g_x = g_y = 0$ ,  $g_z = g$ .

Şunlukda düzyň çekiş güýjini ok  $z$  deň çekiş güýjiniň doly bahasyna. Potensial çekiş güýji üstinde durup ölçelmeýär. Alynan barlaglardan esasan tapýarlar bir tizlenmäni  $\mathbf{g}$ , sanly deňdir  $(dw)/dn$  başgaça proizwodny ikinji düzümlü, potensiala görä.

**5-nji surat.** Potensialyň ikinji proizwodnysy.



Goý  $\mathbf{O}$  – nokat ýeriň üstiniň islendik ýerinde alynan, wektor  $\mathbf{g}$  – tapylýar asma çyzygyň ugruny, ok –  $z$  emele getirýär azylan çyzykda kiçi burçy  $\mathbf{u}$ , ok  $\mathbf{x}$  ugrukdurulan demirgazyga, ok  $\mathbf{y}$  – gündogara.

Birinji proizwodny:

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

potensial oklarda  $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$  deňdir proyeksiýa  $\mathbf{g}_x, \mathbf{g}_y, \mathbf{g}_z$   $\mathbf{g}$  wektoryň koordinat oklarynda ýöne proyeksiýa  $\mathbf{g}_z = \mathbf{W}_z$  tejribe işlerinde gabat gelýär ululygyna, tizlenmesine, çekiş güýjiniň proyeksiýalary  $\mathbf{g}_x = \mathbf{W}_x$  we  $\mathbf{g}_y = \mathbf{W}_y$ ; düzüminde tapylýar  $\mathbf{g}_x/\mathbf{g}$  we  $\mathbf{g}_y/\mathbf{g}$  burç u meridianyň üsti we tekizligiň birinji dikligine gabatlanýar.

Proizwodnylar

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

gradient düzümini emele getirýär:  $\mathbf{W}_{zz}$  – aýdylýar çekiş güýjiniň *dik gradienti*,  $\mathbf{W}_{xz}$  we  $\mathbf{W}_{yz}$  – çekiş güýjiniň *kese gradienti* diýip aýdylýar. Iki gradient düzýär *potensialyň ikinji proizvodnisini*.

## II BAP. AGYRLYK GÜÝJINIŇ ABSOLÝUT ÖLÇEMELERI

Bu gözlenýän nokatda agyrlyk güýjüniň güýjenmesiniň modulynyň doly ululygyny kesgitlemekdir. Beýle ölçmeleriň takyklygy diňe bir grawimetriýanyň dälde, eýsem astronomiýanyň, kosmonawtikanyň, metrologiýanyň meselelerini çözmek üçin hem wajypdyr. Bu ölçmeleri Ýeriň, planetalaryň we hemralaryň absolýut massalary belli bolanda, olaryň traýektorialaryny hasaplamak üçin ulanýarlar.

Kosmosda geçirilýän ylmy gözlegleriň giňelmegi sebäpli, mehaniki, magnetiki we elektriki güýçlerini ölçmegiň takyklyk standartlaryna we birliklerine bolan talaplar has ulaldy. Kosmiki gämilerini we stansiýalaryny emeli hemralary uçurmagy dolandyryýan awtomatiki gurnamalaryň işiniň takyklygy agyrlyk güýjiniň intensiwligine gönüden-göni baglydyr. Şol sebäpli hem agyrlyk güýjiniň absolýut bahasyny g kesgitlemek bilen metrologlar we kosmiki hünärmenleri hem meşgullanýarlar. Beýle ölçemelerdünýäniň ähli grawimetriki sýomkalaryny ýeketäk dogry ulgama getirmek bilen agyrlyk güýjiniň has takyk normal bahasynyň we Ýeriň formasyny kesgitlemek üçin zerurdyr. Sebäbi dürli döwletleriň grawimetriki sistemalary her dürlidir we grawimetriki sýomkalary biri-biri bilen deňeşdirmek we umumylaşdyrmak mümkin däl.

Dünýäniň grawimetriki sýomkalarynyň köpüsi 1906 ýylda Kýunen we Furtwengler tarapyndan Potsdamdaky geodeziki institutda kesgitlenen agyrlyk güýjiniň absolýut bahasyna  $g=981274\pm 3$  mGal getirilendigi bellidir. Oňa ýerde geçirilen ähli grawimetriki kesgitlemeler getirilýär. Soňky ýylda bu bahalar birnäçe gezek takyklandy.

**Agyrlyk güýjiniň belli kesgitlemeleri:**

<b>N</b>	<b>Ýerine ýetiren</b>	<b>ýyl</b>	<b>Ölçeme ýerine ýetiren ýer</b>	<b>Kesgitlenen baha</b>	<b>Potsdama getirilen baha</b>	<b>Potsdamdan tapawudy</b>
1	Kýunen <sup>we</sup> 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 usullar bolan maýatnik we erkin gaçma usullary bilen ýerine ýetirilýär. Bu usullardan iň ýaýrany jisimiň erkin gaçma usuly boldy. Onuň giňden ýaýramagyna lazerleriň kömegi bilen uzynlygynyň we wagtyň böleklerini (interwallaryny) takyk ölçemekde gazanylan üstünlikler mümkinçilik berdi.

**Maýatnik usuly.** Maýatnik – bu gorizontala oka görä, goýlan güýçleriň netijesinde yrgyldaýan abzaldyr. Agyrlyk güýjünden başga-da maýatnigiň hereketine grawitasion tebigaty bolmadyk faktorlar öz täsirini ýetirýärler. Olar maýatnigiň we daýanjyň deformasiýalarynda we yrgyldylaryň sönmeginde ýüze çykýarlar. Bu faktorlaryň içinde hasaba alynmaýanlaryna öz agramy netijesinde maýatnigiň uzalmagy, pyçaklaryň kütüleşmegi, sterženiň egrelmegi we pyçak daýançlarynyň deformasiýasy, uzynlygy kesgitleme takyklygy ýaly faktorlar degişlidir. Bu ýalňyşlyk çeşmeleri agyrlyk güýjiniň absolýut kesgitlemeleriniň takyklygyny çäklendirýärler. Ölçeme netijeleriniň takyklygy ölçeme tehnikasynyň mümkinçiliklerini ulanylmagyna hem baglydyr. Soňky ýyllarda ölçeme tehnikasynyň mümkinçilikleri ylmy-tehniki açyşlaryň bazasynda düýp-göter üýtgedi. Bu bolsa ölçemeleriň takyklygynyň birnäçe esse galmagyna mümkinçilik berdi. Şeýlelik bilen uzynlyk birligi – metr – kripton gazynyň atomynyň energetiki geçişlerde şöhlelendirýän ýagtylygynyň tolkun uzynlygy bilen aňladylýar. Tolkun uzynlygyny ýokary takyklyk bilen ölçemeklik üçin interferension usullary we optiki generatorlary (lazerleri) peýdalanýarlar. Ölçeme takyklygy öňki mikroskoplary we mikrometrleri ulanmaga esaslanan usullara garanda 2-3 tertibe ulaldy. Matematiki (ideal) maýatnigiň yrgyldama döwri tükeniksiz hatar görnüşinde aňladylýar.

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

Bu ýerde:

$l$  - maýatnigiň uzynlygy,  $\alpha$ -gyşarma burçunyň iň uly bahasy (yrgyldama amplitudasy).

Fiziki maýatnigi üçin uzynlyk getirilen uzynlyk bilen çalşyrylýar.  $l = I_0/aM$  ( $I_0$  - maýatnigiň yrgyldama okuna görä inersiýa momenti,  $a$  - yrgyldama okundan agramyň merkezine çenli bolan aralyk,  $M$ -maýatnigiň massasy).

Tejribede gyşarma burçunyň kuwwatlylygy sebäpli (köplenç  $\alpha \leq 30^\circ$ ) hataryň ähli agzalary, üçünjiden başlap ( $\sin^4 \alpha/2$ ) taşlanylyp bilner, ikinji agzasy bolsa amplituda üçin düzediş döwür kesgitlenenden soňra goşulyp bilner. Onda

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

(I.41)

Eger-de ähli ölçeme interwalyny yrgyldylaryň sanyna bölmek bilen alnan,  $T$  döwri we getirilen  $l$  uzynlygy ölçeseň, şol nokatdaky agyrlyk güýjiniň absolýut bahasyny tapýarys

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

(I.42)

$T$  we  $l$  kesgitlemegiň talap edilýän takyklygyna baha bermek üçin, agyrlyk güýjiniň tizlenmesiniň absolýut bahasyny  $1\text{mGal}$  takyklyk bilen kesgitlemek talap edilýär diýeliň, onda ol  $\Delta g/g \leq 10^{-6}$  deň bolan otnositel ýalňyşlyk berýär. Logarifmirläp we differensirläp, tapýarys

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

Bu deňligiň çep tarapy  $10^{-6}$  kiçi bolmak üçin, sag tarapyň her agzasy hem bu ululykdan kiçi bolmagy zerurdyr. Maýatnigiň getirilen uzynlygy  $25\text{ sm}$  we doly yrgyldama döwri

$1\text{ sek}$  deň bolanynda,  $T = \pi \sqrt{l/g}$  gelip çykyşy ýaly.  $l$  ululygy  $0,2\text{ mk}$ -dan ýokary takyklyk bilen  $T$  periody  $2 \times 10^{-7}\text{ sek}$  takyklyk bilen ölçemek zerurdyr. Bu bolsa örän çylşyrymly meseledir, aýratynam  $l$  ululygy berlen takyklyk bilen

ölçemeklik has çylşyrymly bolup durýar, eger-de göze görünyän ýagtylygyň tolkun uzynlygy 0,5 mk deňligini göz önünde tutsak. Ondan başga-da maýatnige temperatura, daşyndaky howa we beýleki faktorlar täsir edýär, bu bolsa ähli mümkin bolan täsirleri göz önünde tutmaklygy talap edýär we ölçemeleri has çylşyrymlaşdyrýar. Bu sebäpler biziň döwrümize çenli geçirilen absolýut ölçemeleriň öz arasynda baglanyşsyzlyklaryň emele gelmegini şertlendirdiler. Baglanyşsyzlyklar absolýut ölçemeler geçirilen punktlaryň arasynda geçirilen otnositel ölçemeleriň kömegi bilen ýüze çykaryldy.

### Agyrlyk güýjiniň tizlenmesiniň fundamental we absolýut kesgitlemeleriniň maglumaty

Kesgitlenen ýeri	Kesgitleme ýyly	g, Gal	Otnositel ölçemeleriniň kömegi	Potsdam ulgamyna düzediş ,
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 güýjiniň tizlenmesiniň absolýut kesgitlemeleriniň netijeleri punktlaryň arasy uly bolandada **1 mGal**. Ondan bir bölegine çenli takyklyga eýedirler. Bu **b** bolsa agyrlykgüýjiniň tizlenmesiniň absolýut

ölçemeleriniň geljekdede geçirilmeginiň zerurlygyny görkezýär. Onuň üçin agyrlyk güýjiniň Potsdamdaky bahasyny 14 **mGal** kiçeltmelidir. **T** yrgyldama döwrüniň we **I** getirme uzynlygynyň kesgitlemekde ýalňyşma çeşmeleri:

- Daşky sredanyň täsiri;
- Temperaturanyň üýtgemeginiň täsiri;
- Maýatnigiň yrgyldama periody kesgitlenende ulanylýan sagatlaryň ýöreýişiniň täsiri;
- Maýatnik yrgyldaýan prizmasynyň gapyrgasynyň tegeleklenmesiniň täsiri;
- Yrgyldama amplitudasynyň täsiri;
- Bilelikde yrgyldama täsiri, ýagny, maýatnigiň ştatiwiniň yrgyldamasynyň täsiri;
- Yrgyldaýan maýatnige täsir edýän gorizental we beýleki tizlenmeler;
- Magnit meýdanynyň täsiri.

## § 1. Erkin gaçýan jisim usuly.

Usulyň teoretiki esasy bolup hereketi  $S' = g_0$  (I.44) differensial deňleme bilen aňladylýan jisimiň tizlenmeli erkin gaçmasynyň kanuny hyzmat edýär.

Bu ýerde:

$S'$  - wagt boýunça geçilen ýoluň ikinji önümi, uzaklyklaryň oky aşaga ugrukdyrylandyr;

$g_0$  – agyrlyk güýjüniň hemişelik tizlenmesi.

Geçilen ýol hereketiň ilkinji pursatynda  $t = 0$   $S = 0$ , jisimiň tizligi  $V(0) = V_0$ , koordinata başlangyjyna çenli aralyk  $L(0) = S_0$ . Wagt boýunça integrirläp, alarys

$$S' = g_0 t + C_1, S = g_0 (t^2) / 2 + C_1 t + C_2 \quad (\text{I.45})$$

Bu ýerde:

$C_1 = V_0$ ,  $C_2 = S_0$ . Integrirlenenden soňra (I.45) deňleme görnüşe geler

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



$$\text{Eger-de} \quad S = 0 \text{ we } V_0 = 0, \text{ onda } S = g_0(t^2)/2 \quad (\text{I.47})$$

Erkin gaçma usuly bilen ölçemeler geçilende ( $10^{-9}$ - $10^{-8}$ ) g takyklyk bilen netijeler almaga ymtylmak üçin 1m aralykly kesimlerdäki jisimiň hereketine gözegçilik edýärler. Oňa baglylykda traýektoriýanyň ugruna  $W_{\text{яя}} \approx 0,3 \text{ mGal/m} = 3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-2}$  deň bolan. Gradiýenli g ululygyň üýtgemesini göz önünde tutmak zerur bolýar. Üýtgeýän agyrlyk güýjiniň meýdanynda jizimiň hereket deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

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

Şeýlelik bilen, erkin gaçma usuly, maýatnikli usula garanda käbir artykmaçlyklara eýedir, sebäbi erkin gaçandaky geçilen ýol  $S$  wagt  $t$  bilen aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär

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

$$S = (gt^2)/2 \quad (\text{I.50})$$

Bu ýerde:  $g$ -kesgitlenilmeli agyrlyk güýjüniň tizlenmesi.

Jisim howanyň sürtülmesi ýok ýerde, ýagny, absolýut boşlukda erkin gaçmaly. Bu usuly ilkinji bolup Galileý 1590 ýylda ulandy. Ol  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  baha eýe boldy. Ýagny, ilkinji sekuntda jisim 4,9, iki sekuntda  $-19,6 \text{ m}$ , üç sekuntda  $-44,1 \text{ m}$  geçer.  $10^{-8}$  ýalňyşlygy üpjün etmek üçin 1m uzynlygy  $0,1 \text{ mk}$  takyklyk bilen, wagty  $0,5 \times 10^{-8} \text{ sek}$  takyklyk bilen ölçemek zerurdyr. Beýle ýokary talaplary ýerine ýetirmek diňe soňky onýylyklarda wagty 8-nji we 9-nji belliklerde ölçemek mümkin bolanda mümkin boldy. 1946 ýyldan başlap bu usul bilen agyrlyk güýjüni kesgitlemek Parižde, Wole we Tulin tarapynda ýerine ýetirildi. Potsdamda geçirlen köp sanly tejribeleriň kömegi bilen agyrlyk güýjiniň täze takyklandyrylan bahalary alyndy:  $g = 981261, 6 \text{ mGal}$  (öňkülerden  $12 \text{ mGal}$  tapawutly). Häzirki döwürde Halkara geofiziki we geodeziki birleşik tarapyndan Ýeriň agyrlyk güýjiniň aşakdaky bahasyny kabul etmek hödürlenýär.  $g = 981260, 19 \pm 0,019 \text{ mGal}$ .

## § 2. Ýeriň normal grawitasion meýdany

Ýeriň grawitasion meýdany iki düzüjinden emele gelýär: normal grawitasion meýdandan we galyndy anomal meýdandan. Geodeziýada normal meýdany esasanam üsti derejeli üst hökmünde saýlanan aýlanma ellipsoidiň meýdany ýaly kesgitleýärler. Bu ellipsoide *derejeli ellipsoid* ýa-da *Normal Yer* dýip, atlandyryrlar.

Normal Ýeriň massasy, üst şekili, aýlanma burç tizligi boýunça u normal potensialy we normal meýdanyň beýleki görkezijilerini hasaplap bolýar.  $\gamma$ - agyrlyk güýjiniň normaly u potensialyň gradiýenti hökmünde hasaplanýar.

$$\gamma = \frac{du}{dz} \quad (I.51)$$

Bu ýerde:

**z** - normal grawitasion meýdana geçirlen dik çyzygyň ugry. Normal agyrlyk güýjiniň Normal Ýeriň üstünde üýtgame kanuny aşakdaky deňleme bilen aňladylýar.

$$\gamma_0 = \gamma_1 (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B) \quad (1.52)$$

Bu ýerde:

**B** - nokadyň giňligi  **$\beta$** ,  **$\beta_1$**  - koeffisiýentler,  $\gamma_1$  - ekwatordaki normal agyrlyk güýjüniň bahasy.

(1.59) aňlatma laýyklykda normal agyrlyk güýjüniň polýusdaky bahasy aşakdaka deň bolar

$$\gamma_P = \gamma_1 (1 + \beta)$$

(1.53)

Diýmek  $\beta = (\gamma_P - \gamma_1) / \gamma_1$  koeffisiýenti polýusdaky normal agyrlyk güýjüniň ekwatordaka görä artmasyny görkezýär. Normal Yer üçin  $\gamma_1 \approx 978,0$  Gal,  $\gamma_P = 983,2$  Gal. Şeýlelikde agyrlyk güýjüniň ekwatoran polýusa çenli üýtgemesi  $\gamma_P - \gamma_1 \approx \gamma_1 \beta$  5,2 Gal deň bolýar, bu bolsa doly ululygyň 0,53 % deň, ýagny  $\beta \approx 0,0053$ .  $\gamma_1 \beta = 5,2$  Gal ululyk normal agyrlyk güýjüniň grawitasion we merkezden daşlaşma düzüjileriniň üýtgemesiniň jemidir. Olara aýry serederis.

Ekwatorda merkezden daşlaşma dartys güýji, (1.3) aňlatma laýyklykda, moduly boýunça  $\omega^2 a$  deň, bu ýerde a-Ýer

ellipsoidiniň uly ýarym oky. Ýer üçin  $\omega=2\pi/86164$  (maýdalawjyda ýyldyz gije-gündizdäki orta sekuntlaryň sany), ýa-da  $\omega=7,292 \times 10^{-5}$  rad/s,  $a=6,378 \times 10^6$  m bolany üçin  $\omega^2 a=3,4$  Gal, ýagny,  $\gamma_0=\text{doly bahasynyň } 0,35 \%$ . Dartyлма güýjüniň Normal Ýeriň ýüzündäki doly üýtgemesi deň  $5,2-3,4=1,8$  Gal ýa-da  $\gamma_0$  ululygyň  $0,18 \%$  deň. Ýeriň normal agyrylyk güýjüniň hasaplamagyň esasy 3 deňleme ulanylýar.

**Gelbertiň deňlemesi.**  $\gamma_0 = 978030 (1+0,005302 \sin^2 B - 6,0000070 \sin^2 2B)$  mGal bu ýerde  $\gamma_1$  we  $\beta$  koefisiýentleriň bahalary (1.52) deňleme bilelikde çözmeklik bilen tapylýar. Ýeriň içki gurluşy barada  $\beta_1=0$  tejribesiz kabul edilýär. Ýeriň gysylmasy  $1:298,2$ , bu bolsa Krasowskiniň ellipsoidiniň görkezijilerine ( $1:298,3$ ) we Ý.E.H.-ň gözegçiliklerine laýyklykda alynýan ( $1:298,26$ ) bahalara ýakyndyr.

**Kassinisiň deňlemesi.**  $\gamma_0 = 978049 (1 + 0,0052884 \sin^2 B - 0,0000059 \sin^2 2B)$  mGal. Bu deňleme Heýfordyň ellipsoidine ( $a=6378388$  m,  $\alpha=1:297$ ) üçin hasaplanandyr. Şonuň üçin hem  $\beta$  we  $\beta_1=5,9 \times 10^{-6}$ . Heýskanen  $\gamma_1$  ululygy dünýäniň grawimetriki sýomkasynyň berlenleriniň kömegi boýunça kesgitlepdir.

Kassinisiniň deňlemesinden Gelmertiniň deňlemesine geçmek üçin aşakdaky baglanyşykdan peýdalanýarlar

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

**Halkara geodeziki we geofiziki birleşigiň normal deňlemesi.** (HGGB, 1967; MGGS, 1967).  $\gamma_0 = 978031,8 (1 + 0,0053024 \sin^2 B - 0,0000059 \sin^2 2B)$  mGal (1.54)

Kassinisiň deňlemesinden 1967 ýylyň deňlemesine geçende  $(-17,2 + 13,6 \sin B)$  mGal deň bolan düzediş girizýärlər. Ýeriň massasy  $\gamma$  kesgitlelenende HGGB-1967 ý. deňlemesine Normal Ýeriň ýüzünde kondensirlenen atmosferanyň massasy goşulýar  $\Delta\gamma_a = \delta\gamma_a - (f M_a) / (R+H)^2$ .

Oňa normal atmosferanyň dartmasy üçin düzediş diýip at berilýär.  $\Delta\gamma_a$  bahasy beýiklige bagly bolup durýar: deňizň derejinde –  $0,87$  mGal  $10$  km beýiklikde –  $0,23$  mGal.

## Ýeriň, Aýyň we Marsyň grawitasion meýdanlarynyň häsiýetnamasy

Normal meýdan	Anomal meýdan
<u>Ýer</u> Normal agyrlyk güýjüniň ekwatordaky bahasy $\gamma_1$ Gal 978,0 Agyrlyk güýjüniň polýusdakydan ekwatordaky bahasynyň tapawudy $\gamma_p - \gamma_1$ , Gal 5,2 Ekwatordaky merkezden daşlaşma güýji $\omega^2 a$ , Gal 3,4 Agyrlyk güýjüniň normal dik (wertikal) gradiýenti $(d\gamma)/(dH)$ mGal –3086 Berlen giňlikde agyrlyk güýjüniň gorizontal gradiýenti $45^\circ (d\gamma)/(dx)$ , mGal 0,81 <u>Aý</u> $\gamma_1$ , Gal 162,2 $\omega^2 a$ , Gal 0,001 $(d\gamma)/(dH)$ , mGal/m –0,18 <u>Mars</u> $\gamma_1$ , Gal 372 $\gamma_p - \gamma_1$ , Gal 2,4 $\omega^2 a$ , Gal 1,75 $(d\gamma)/(dH)$ , mGal/m -0,22	Agyrlyk güýjüniň anomaliýasynyň iň uly (maksimal) bahasy $g - \gamma$ , Gal nokatda +669 trapesiýada $1^\circ \times 1^\circ$ +342 trapesiýada $5^\circ \times 5^\circ$ +55 Agyrlyk güýjüniň orta kwadratiki anomaliýasy, mGal nokatda 42,4 trapesiýada $1^\circ \times 1^\circ$ 30,2 trapesiýada $5^\circ \times 5^\circ$ 17,2 Asmanyň gyşarmasy: iň uly bahasy 1' orta kwadratiki $8^\circ$ Maksimal bahalar: Dartylmanyň anomaliýasy, mGal 500 Asmanyň gyşarmasy 7' Maksimal bahalar: Dartylmanyň anomaliýasy, mGal 200 Asmanyň gyşarmasy 1,9'

Normal agyrlyk güýjüni üç deňleme boýunça hem hasaplamak üçin ýörite tablisalar düzülen

B, grad.	0	±20	±40	±60	±80	±90
$\gamma_0$	978,0	978,6	980,2	981,9	983, 1	983,2

Meselem. Moskwa üçin ( $B=55,8^\circ$ )  $\gamma_0 \approx 981,6$  Gal, Guşgy üçin ( $B=35^\circ 08'$ )  $\gamma \approx 979,7$  Gal. Tapawut 1,9 Gal.

### § 3. Anomal grawitasion meýdan

Agyrlyk güýjiniň anomaliýasy – bu hakyky  $g$  (ölçenen) we normal  $\gamma$  (teoretiki) agyrlyk güýjiniň tapawudydyr ( $g-\gamma$ ). Ugurlaryň tapawudy asma çyzygyň gýşarmasy bilen häsiýetlendirilýär. Agyrlyk güýjüniň ölçenen bahasyny hemişe fiziki üstde alýarlar. Anomaliýany almak üçin agyrlyk güýjüniň ölçenen bahasyny ellipsoidine geçirmeli ýa-da teoretiki bahany gözegçilik nokadyna reduksiýa etmeli. Teoretiki we fiziki aňlatmalaryň tapawudy agyrlyk güýjüniň bahasynda beýikligiň üýtgemegi zerarly aňladylýar

$$\Delta g = z (\gamma/R) \Delta H \quad (1.55).$$

Bu ýerde:

$R$ -Ýeriň orta radiusy,  $\gamma$ -agyrlyk güýjüniň orta bahasy,  $\Delta H$ -beýikligiň üýtgemesi. Sanlaryň üsti bilen bu deňlemäni ýazsak aşakdaky aňlatmany alarys:

$$\Delta g = -3086 \Delta H \quad (1.56)$$

Bu ýerde:

$\Delta H$  3 m (ulalanda agyrlyk güýji 1mGal ululyga azalar).  $\gamma$ -ny aşakdaky deňlemeden tapýarlar:

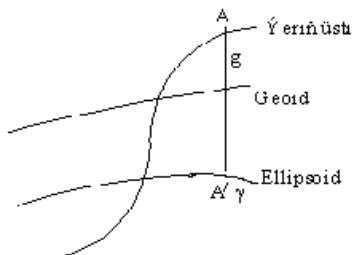
$$\gamma = \gamma_0 + (d\gamma/dH)H = \gamma_0 - 0,3086H. \quad (1.56)$$

Bu ýerde:  $H$ -punktyň beýikligi.  $g - \gamma = g - (\gamma_0 + (d\gamma/dH)H = g - (\gamma_0 - 0,3086H)$  tapawutla erkin howadaky anomaliýa diýilýär. Asmanyň iň uly gyşarmasy ýeriň ýüzünde  $\approx 1'$  deň we aňlatmalaryň üýtgemesi ýer gabygynyň gurluşynyň birmeňzeş dälligi bilen ýakynan baglydyr.

Tejribe işlerinde anomaliýalary grawimetriki kartalar görnüşinde ýazýarlar, bu kartalarda agyrlyk güýjüniň anomaliýalarynyň dürli bahalarynyň çyzyklaryny şekillendirýärler. Bu çyzyklara izoanomaliýalar diýip at berýärler. Agyrlyk güýjüniň potensialynyň ikinji önüminiň anomaliýalary esasanam ýer ýüzüne ýakyn ýerleşen gatlaklaryň birmeňzeşdälligi bilen we relýefiň dartmalary bilen şertlendirilýärler. Olar düzlük ýerlerde birnäçe ýüz *etweşden* daglyk ýerlerinde birnäçe mün *etweşe* deň bolup bilýärler.

Şeýlelikde agyrlyk güýjüniň anomaliýasy onuň hakyky bahasynyň teoretiki bahadan gyşarmasyny kesgitleýär. Teoretiki baha normal deňlemeleriň we olara degişli bolan reduksiýalaryň kömegi bilen hasaplanýar. Reduksiýalaryň kömegi bilen Ýer ýüzüniň fiziki üstünde gözegçilik edilen agyrlyk güýjüniň bahasy haýsydyr bolsa bir deňeşdirme üstüne getirilýär. Meselem deňiz derejesine hem getirilip bolýar. Anomaliýanyň ady ony hasaplamak üçin ulanylýan reduksiýa bagly.

## 6-njy surat. Agyrlyk güýjüniň reduksiýasy.



**Agyrlyk güýjüniň reduksiýasy** - bu beýiklik we aralyk gatlagyň dartylmasy üçin agyrlyk güýjüniň bahasyny düzetmekdir, ýagny, geoidiň sferoidiň üstünden beýgelmesi we getirme derejesi bilen fiziki üstiňarasyndaky gatlagyň dykzlygy üçin girizilýän düzediş.

Gözegçilik edilen agyrlyk güýjüni normal agyrlyk güýji bilen deňeşdirmek mümkin bolmagy üçin, ýagny, anomaliýalary tapmak mümkin bolar ýaly Ýeriň fiziki üstünde ýerleşen A nokatdaky agyrlyk güýji bilen teoretiki  $\gamma$  bahasy hasaplanan üstde ýerleşen A' nokatdaky agyrlyk güýjüniň tapawudyny hasaplamak zerur. Bu tapawudyň A nokatda ölçenen  $g$  ululyga goşulmasy A nokatdaky agyrlyk güýjüni A nokada getirmek diýen düşüňjä laýyk gelýär. Bu getirme işleri hem agyrlyk güýjüniň reduksiýasydyr. Tejribede (önümçilikde) bu işler aşakdaky ýaly ýerine ýetirilýär.

Ýeriň fiziki üstüniň A nokadynda ölçeme işleri geçirilenden soňra agyrlyk güýjüniň bahasyny hasaplama ýollary bilen geçirme üstüniň A' nokadyna geçirýärler. Bu geçirme dürli ýollar bilen amala aşyrylyp bilner. Häzirki döwürde üç sany usul has giň ýaýran.

**Iň adaty usul** – A we A' nokatlaryň arasyndaky agyrlyk güýji gös-göni ölçemek. A nokada çenli burawlanan guýyda, grawimetriň kömegi bilen ýerine ýetirilýär. Bu reduksiýa Preýiň reduksiýasy hem diýilýär. Preýiň reduksiýasyny teoretiki ýol bilen hem amala aşyryp bolar.

**Has ýönekeý usul** – haçanda A we A' nokatlaryň arasynda hiç hili massalar ýok bolan ýagdaýynda, ýagny, nokatlaryň ýagdaýy diňe beýiklik boýunça tapawut edýär. Agyrlyk güýjüniň beýiklige baglylygy bellidir, diýmek A nokatdan A' nokada geçirmek üçin, ölçenen g ululyga girizmeli düzediş A nokatdaky bahany 0,3086 deň bolan haýsydyr bolsa bir koeffisiýente ýönekeý köpeltmek ýetikdir. Şeýle reduksiýa Faýa tarapyndan ilkinji sapar girizilipdir. Faýanyň reduksiýasyna boşlukdaky reduksiýa hem diýilýär.

$$\Delta g = 0,3086 (H-h) \quad (1.57)$$

**Bugeniň reduksiýasy** – grawiki barlag usulynda (grawirazwedkada) has giňden ulanylýar. Bugeniň reduksiýasy hökmünde düzlüklerde – aralyk gatlak üçin, daglyklarda – aralyk gatlak we ýakynda ýerleşen relýef üçin girizilýän düzedişli erkin howadaky reduksiýa düşünilýär.

$$\Delta g_B = 0,3086H - 0,0418\sigma H \quad (1.58)$$

Agyrlyk güýjüniň anomaliýasy umumy ýagdaýda aşakdaky ýaly ýazylyp bilner.

$$\Delta g = \Delta g_H + 0,3086H + \delta g - \gamma \quad (1.59)$$

Bu ýerde: **g<sub>H</sub>**-gözegçilik edilip tapylan agyrlyk güýji. **δg**-reduksiýany häsiýetlendirýän düzediş, 0,3086H - beýiklik üçin reduksiýa (Faýa). **γ** – agyrlyk güýjüniň normal bahasy.

Geodeziki grawimetriýada beýiklik üçin reduksiýa ýeketäk zerur bolan reduksiýadyr. Beýleki ähli reduksiýalar Ýeriň şekili baradaky nazarýetiň esasy kanunlarynyň bozulmagyna getirýär. Meselem Ýeriň umumy massasy baradaky kanunyň bozulmagyna getirýär. Emma geologiki meseleleri çözmek üçin bu bozulmalaryň täsiri ýok.



#### § 4. Agyrlyk güýjüniň tizlenmesini we onuň potensialynyň ikinji önümini ölçemegiň usullary.

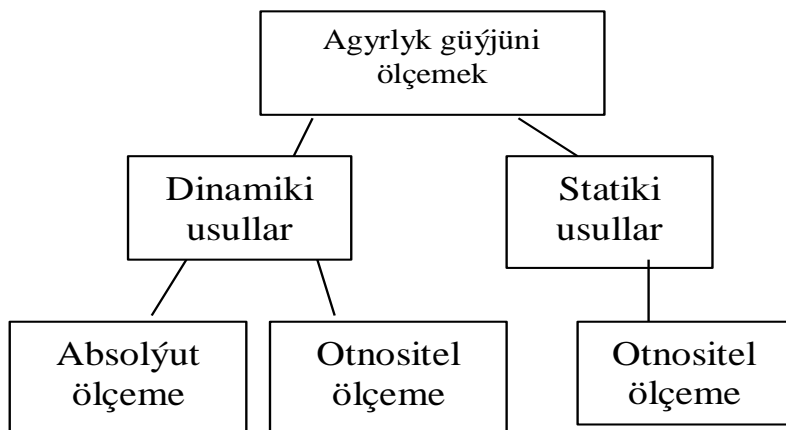
Agyrlyk güýjüni kesgitlemek absolýut we otnositel görnüşde bolup biler:

Absolýut – bu beýleki nokatlarda haýsy-da bolsa ölçemelere bagly däl ýagdaýynda berlen nokatda agyrlyk güýjüniň doly ululygyny ölçemek. Onuň birligi  $[sm\ s^{-2}]$ , şonuň üçin bolsa iki ululygy, ýagny, uzynlyk we wagt ululyklary ölçemeklik zerurdyr. Bu bolsa diňe dinamiki usullary arkaly ýerine ýetirilýär.

Tarmanyň ilkinji sekundynda jisimiň takmynan 4,9 m geçýänligi üçin, ragty  $\sim 10^{-8}-10^{-9}$  s takyklykda ölçemek talap edilýär. Bu ýagdaý bolsa usuly giňden ulanmaklyga ýol bermedi.

Otnositel (differensial) – bu beýleki bir daýanç nokady hökmünde kabul edilen nokada görä, bir nokatda agyrlyk güýjüniň tapawutlaryny we gatnaşyklaryny ölçemek. (bu ýagdaýda daýanç nokadynda agyrlyk güýjüniň ululygy belli bolmaly).

Agyrlyk güýjüni ölçemeklik üçin köp sanly fiziki hadysalar ulanylýar (jisimiň erkin gaçmasy, maýatnigiň yrgyldysy, dartylan taryň yrgyldysy we ş.m.). Şeýlelikde ölçemegiň usullary 2 görnüşe bölünýärler: dinamiki we statiki.



Ölçemegiň dinamiki usullary – bu grawitasion meýdanynda jisimiň hereketiniň gözegçilik edilişi. Bu usullara şular degişli: maýatnik usuly, jisimiň erkin gaçma usuly we dartylan taryň yrgyldatma usuly.

**Maýatnikli usuly** - maýatnigiň erkin yrgyldysynyň  $T$  periodynyň agyrlýk güýjüniň ululygyndan baglylygyna esaslanýar. Bu Güýgensiniň formulasy bilen aňladylýar:

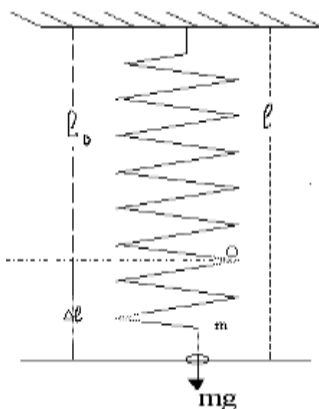
$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Bu ýerde:  $l$ -maýatnigiň uzynlygy. Jisimiň erkin gaçma usuly – erkin gaçýan jisimiň göni çyzykly deňtizlenýän hereketiniň kanunyňa esaslanýar.

$$S = S_0 + v_0 t + g(t^2/2)$$

Bu ýerde:  $S_0$ ,  $v_0$  - wagtyň hasaby başlanan momentinde geçilen ýol we tizlik. Agyrlyk güýjüni kesgitlemegiň statiki usullary – gazyň we maýyşgak pružindäki güýjüniň güýç meýdanynda massa arkaly ösýän  $F = mg$  güýjüniň kompensirlenme prinsipine esaslanýar.

## 7-nji Surat.



Bu ýörelge boýunça agyrylyk güýjüni ölçeyän abzallarynyň giň topary bolan – grawimetrler gurnalandyr. Bu abzallaryň umumy prinsipi pružinli terezileriň prinsipine meňzeşdir. Başlangyç  $l_0$  uzynlykly pružine  $m$  massaly ýük asylandan soňra, pružin  $l$  uzynlyga eýe bolupdyr. Pružiniň maýyşgaklyk koefisiýenti Gukyň kanuny boýunça ýüke proporsiona

$$mg = \tau (l - l_0) \quad (1.60)$$

Bu aňlatmany differensirläp uzynlygyň artmany agyrylyk güýjüniň üýtgemesine proporsionaldygyna göz ýetirýäris.

$$\tau \Delta l = m \Delta g \text{ we } \Delta g = (\tau/m) \Delta l = R \Delta l \quad (1.61)$$

Köplenç kanun hökmünde pružinlerde we sapaklardaky deformasiýalaryň maýyşgak güýjüni we magnit meýdanynda ýerleşen tokly geçirijä täsir edýän güýji ulanýarlar. Bu usul hemişe oňnositel usuldur. 0,1 mGal takyklyk bilen agyrylyk güýjüni ölçemek üçin, uzynlygyň ölçeme takyklygy

ilkibaşdaky uzalmanyň  $10^{-7}$  bölegine, ýagny, mikronlara deň bolmaly.

Dartylan sapagyň yrgyldy ýygylgyny ölçeme prinsiplerine esaslanan agyrlyk güýjüni kesgitlemegiň usullary tarly (sapakly) grawimetrlerde ulanylýar. Bu abzallarda sapagyň (taryň) effektiw uzynlygy wajyp orna eýedir. Ony real şertlerde ölçemegiň çylşyrymlylygy sebäpli abzal grawimetriki sýomkada ulanylmaýar. Ondan başgada birnäçe – wariometrler, gradiýentometrler ýaly abzallar hem bardyr. Olar agyrlyk güýjüniň ikinji önümlerini  $W_{xy}$ ,  $W_{\Delta}$ ,  $W_{xz}$ ,  $W_{yz}$  kesgitlemek üçin ulanylýarlar.

Agyrlyk güýjüni kesgitlemegiň takyklygy alnan netijeler boýunça çözüjek meselelere baglydyr. Oňa esaslanyp aşadaky takyklygy talap edilýär: Regional meýdanlar öwrenilende we ýer gabygynyň düzümi kesgitlenende  $\Delta g$  5-10 mGal -geodeziki meseleleriniň köpüsi çözülide  $-0,02-0,5$  mGal. Grawimetriki daýanç torlarynda we wagt aralygynda agyrlyk güýjüniň üýtgemesini anyklamak üçin absolýut we otnositel meýdan ölçemeleriň iň ýokary takyklygy, ýagny, 0,01-0,10 mGal talap edilýär. Ondan ýokary takyklyk (1 mkGal).

Priliwnyýe wariasiýalary kesgitlemekde diňe stasionar abzallara amala aşyrylýar. Grawimetriki maglumatlary geodeziýada ulanmak üçin olardaky sistematiki ýalňyşlyklar tötänleýin ýalňyşlyklarda has kiçi bolmagy zerurdyr. Bu şert ýerine ýetmeýän wagtynda grawitasion meýdanyň beýleki elementlerini (meselem, asmanyň gysarmasyny) we nokatlaryň koordinatalaryny kesgitlände uly ýalňyşlyklara getirýär. Şol bir wagtda hem agyrlyk güýjüniň hemişelik ululyga üýtgemegi anomaliýalaryň geologiki interpretasiýasynyň netijelerine täsir etmeýär.

Köplenç grawimetriki ölçemeleriň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin birnäçe abzal ulanýarlar ýa-da ölçemeleri birnäçe gezek gaýtalaýarlar.

### III BAP. Maýatnikli abzallar bilen agyrylyk güýjüniň otnositel ölçenişi

Otnositel agyrylyk güýjüniň ölçenişi – bu başlangyç hasaplanýan nokatdaky agyrylyk güýji bilen beýleki bir nokatdaky agyrylyk güýjüniň tapawudyny we gatnaşygyny ölçemekdir. Otnositel agyrylyk güýjini ölçemegiň maýatnikli usuly dürli **punktlardaky** üýtgemeyän getirilen uzynlykly şol bir maýatnigiň erkin yrgyldylaryna gözegçilik esaslanandyr.

Eger-de I punkda  $T_1$  yrgyldy peridy, II punkda bolsa  $T_2$  yrgyldy peridy ölçenen bolsa, we I punkda agyrylyk güýjüniň  $g_1$  bahasy belli bolsa, onda (P.2) esaslanyp ýazýarys

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{1}{g_1}}, \quad T_2 = \pi \sqrt{\frac{1}{g_2}}$$

Bu aňlatmalary kwadrata göterip we agzalaýyn bölegiň 2-nji punktdaky gözlenýän agyrylyk güýjüniň bahasyny alarys.

$$g_2 = g_1 (T_1^2/T_2^2) \quad (1.62)$$

Bu formula aşakdaky netijelere gelmäge mümkinçilik berýär. Otnositel maýatnikli ölçemelerde getirilen 1 uzynlygy kesgitlemegiň zerurlygy ýitýär. Bu bolsa uly kynçylyklar bilen bagly. Ululygyň hemişelik bolmagy bu usul üçin zerurdyr. Şertiň saklanylmazlygy  $g_1 T_1^2 = g_2 T_2^2$  deňligiň bozulmagyna getirýär. Köplenç  $\Delta T = T_2 - T_1$  periodlaryň tapawudyny tapýarlar we  $\Delta g$ -agyrylyk güýjüniň tapawudyny hasaplaýarlar. Gyugensiň formulasy ujypsyz kiçi amplitudaly yrgyldaýan ideal maýatnik üçin niýetlenendir, şonuň üçin ölçenen peridyň bahasyna aşakdaky düzedişler girizilýär:

1. Amplituda üçin düzediş.
2. Temperatura üçin düzediş.
3. Daşky sredanyň dykzlygy üçin düzediş.
4. Kwarsly generatoryň ýygylygy üçin düzediş.

5. Maýatnigiň lezwiýasynyň egriligi üçin düzediş.
6. Ştatiki ýyrgyldamasy üçin düzediş.
7. Neizohronnost we aplituda üçin düzediş (Wening-Meýnesiň usuly boýunça).

## **§ 1. Maýatnikli abzallar**

Maýatnikli abzal aşakdaky esasy böleklerden ybaratdyr: maýatnikleriň komplekti, ştatiw, optiki sistema (ulgam), ýygylýk standarty (kwars generatorlary), registrator, maýatnikli abzalyň dolandyрма puly we güýçli blok.

Häzirki döwürde ýokary takyklykly maýatnikli otnositel ölçemeler geçirlende ikimaýatnikli awtomatizirlenen OWM (optiki wakuumirlenen maýatnik) abzalary we SNIiGAiK-nyň gurnan "Agat" atly kwarsly-metalliki (demir) maýatnikli we yrgyldylaryň periodyny we amplitudasyny fotoelektron registrasiýaly abzallary ulanylýar.

Maýatnigiň gurnalyşy. Otnositel ölçemeler üçin ulanylýan maýatnigiň gurnalyşy getirilen uzynlygyň üýtgemezlik talabyna laýyk gelýär.

Maýatnik berk we daşky täsirlere (temperatura, äkidilende urgulara) durnukly. Maýatnikde ýeke yranma oky berkidilen bolmaly. Gurluşyň elementleri elektrostatiki zarýadlardan goramak üçin metal çäýylan kwars syrykdan, uly esaslary bilen birir-birine ýelmeşdirilen iki sany kesilen konus formaly ýasalan metal ýükden ýa-da silindr formaly agatdan ýa-da metaldan ýasalan kellejikden durýar. Kellejik prizmadan we aýnadan durýar.

Maýatnikli ştatiw hökmünde özüne agatdan bolan ploşadkalar presslenen (güýç bilen basylyp ýelmenen) massiw metalliki plita hyzmat edýär. Ştatiw arretirleýän gurluş ilen, (lezwiýalary) tyglary daýanç meýdançalarynda merkezleşdirme gurluşlary bilen, maýatnige birmeňzeş amplituda bermek üçin we maýatnikleri garşylykly fazalarda birwagtda (sinhron) işe goýbermek üçin niýetlenen gurluşlar bilen üpjün edilen.

Bu gurluşlaryň işini ýeketäk dwigatel dolandyryýar. Optiki sistema - ýagtylandyryjydan, obýektiwden we maýatnigiň aýnalary bilen bir derejede ýerleşen optiki köpürjagazdan durýar. Ýagtylyk akymy kondensoryň kömegi bilen geçirýän ysly diafragmanyň tekizliginde fokusirlenýär. Yrgyldylaryň seriýasynyň dowamlylygyny ölçemek üçin iş kwars generatory ulanylýar. Generatoryň döredýän ýygylgyna ýygylgyň standartynyň kömegi bilen barlag gözegçiligi edilýär.

Registraturada maýatnigiň yrgyldylary we iş generatorynyň çykarýan wagt bellikleri sinhron (bir wagta) fiksirlenýär. Registratoryň elektron bloky FEU-dan dowamlylygy  $2 \times 10^{-3}$  sek impulslary bilen üpjün edýär we  $1 \times 10^{-5}$  sek dowamlykly gysga impulslara üýtgedip bilýär.

***Dolandyrys puly*** – we güýç bloky abzalyň işi bilen uzak aralykdan dolandyrmak üçin we ştatiwiň kolpagynyň aşagyndaky temperaturany we basyşy registrasiýa etmek üçin niýetlenendir.

## § 2. Punktdaky gözegçilik we alnan maglumatlaryň üstünde işlemek

Grawimetriki baglanyşygyň takyklygy ýokary takyklykly maýatnikli ölçemeleriň tejribesiniň görkezişi ýaly bir ýerden başga bir ýere geçirmegiň şertlerine we tygyň köpelmesine baglydyr. Şol bir punkda täzedan ölçemeler geçirilende iki ölçemäniň tapawudy  $10 \times 10^{-8}$  sek (0,4mGal) çenli bolup biler. Diýmek punktdaky maýatnigiň orta döwrüni (periodyny)  $1 \times 10^{-8}$  sek takyklyk bilen almak ýeterlidir. Gözegçiligiň netijesinde alnan maglumatlaryň üstünde işlemek aşadaky formula boýunça maýatnigiň döwrüni (periodyny) hasaplamaga syrygýar.

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

Bu ýerde:

T'-yrgyldama döwri (periody),  $\Delta T_a$ -amplituda üçin düzediş,  $\Delta T_t$ -temperatura üçin düzediş,  $\Delta T_D$ -daşky sredanyň dyklyzlygy üçin düzediş,  $\Delta T_f$ -ýygylýk üçin düzediş,  $\Delta T$ -agyrlýk güýjüniň guýulma wariasiýalary üçin düzediş.

### § 3. Maýatnikli ölçemeleriň netijeleri

Maýatnikli abzallar beýleki grawimetriki abzallara mahsus bolmadyk üstünliklere eýedirler we ýokary takyklykly netijeleri almagy mümkinçilik berýärler. Şonuň üçin maýatnikli usul esasanam grawimetrler bilen edilen ölçemelerini barlag gözegçiligini ýerine ýetirmek, sýomkalary ýeketäk sistema getirmek we grawimetrleri etalonirlemek maksady bilen döredilen seýrek daýanç torlarynda ulanylýar.

### § 4. Alnan netijeleriň takyklygyna baha bermek

Grawimetriki gözegçilikleri hasaplamak işi  $\Delta g$ -ni aşadaky formula görä kesgitlemek bilen tamalanýar:

$$\Delta g = g_2 - g_1 = -2g_1\Delta T/T_2 + g_1(\Delta T/T_2)^2 \quad (1.64)$$

hemme gurallar üçin.

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

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

Ýalňyşlygyň ortaça jemi abzallaryň hemmesine

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

Ýalňyşlygyň täsirini tapmak, her ölçegde, abzal üçin çylşyrymly mesele, şonuň üçin köp gezek ölçegler geçirmek zerur, işler geçirilende abzallar bir görnüşde, bir ýagdaýda bolmaly.



## IV BAP

### § 1. Grawimetriýada agyrlyk güýjüniň otnositel ölçemeleri.

Grawimetrler, agyrlyk güýjüni statiki usul bilen otnositel ölçemeler geçirmek üçin ulanylýar. Olarda agyrlyk güýji täsir edýän jisimiň deňagramlylyk ýagdaýy fiziki kompensasiýa arkaly emele gelýär.

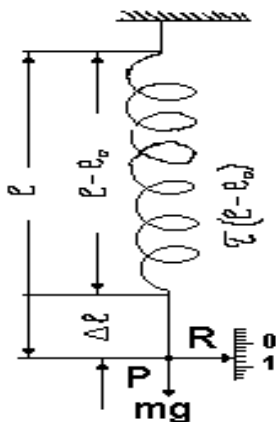
Hemişelik massaly jisime täsir edýän agyrlyk güýjüni deňagramlaşdyrýan we agyrlyk güýjüniň üýtgemelerini jisimiň süýşmesine öwürýän gurluş-grawimetriň duýujy elementidir.

Gurluşyna baglylykda tereziler belli bir kesgitli maýyşgak reaksiýa eýedirler. Pružiniň uzalmagy, ryçagyň öwrülmegi; massanyň süýşmegi we ş.m. şeýle reaksiýalara degişlidir. Bu reaksiýanyň agyrlyk güýjüniň meýdanynyň üýtgemesine (ösdürmesine-priraşeniýe) bolan ***gatnaşygyna pružinli tereziniň mehaniki duýgurlygy*** diýilýär. Duýgurlyk reaksiýanyň, meýdanyň güýjenmesine görä alnan, önümi bilen häsiýetlendirilýär.

$Dx/dg$ , bu ýerde  $x$ -reaksiýa,  $g$ -meýdanyň güýjenmesi. Şeýle grawimetrleriň işleýişi agyrlyk güýjüni kompensirlenýän (deňagramlaşdyrýan) güýç bilen deňeşdirmäge we olaryň tapawudyny ölçemäge esaslanýar.

8-nji suratda görüsimiz ýaly;  $l_0$  başlangyç uzynlykly pružine  $m$  massaly  $P$  ýük asylypdyr. Agyrlyk güýjüniň täsiri astynda pružin  $l$  uzynlyga süýnýär.  $P$  ýük  $mg$  agyrlyk güýjüniň we pružiniň maýyşgak deformasiýasynyň güýjüniň  $\tau(l-l_0)$  täsirleriniň netijesinde statiki deňagramlylyk ýagdaýyna eýe bolýar.

**8-nji surat.** ( $\tau$ -pružiniň çyzyklaýyn gatylyk koeffisiýenti). Bu statiki deňagramlylyk ýagdaýy  $P$  ýük bilen gaty berkidilen,  $R$  indeks bilen belleýärler. Agyrlyk güýjüniň  $m\Delta g$  ululyga üýtgemegi, pružiniň uzynlygyň üýtgemegine we  $P$  ýüküň  $\Delta l$  ululyga süýşmegine getirer. Ýüküň çyzyklaýyn süýşmegi agyrlyk güýjüniň üýtgemesiniň ölçegi bolup hyzmat edýär.



Kompensirleýän güýjüň häsiýetine görä, grawimetrler üç topara (klasa) bölünýärler:

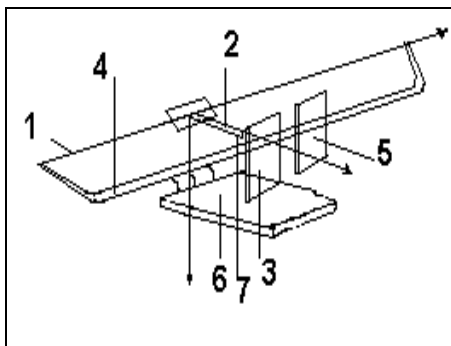
1. gazly grawimetrler, olarda agyrylyk güýji gazyň maýyşgaklyk güýji bilen deňagramlaşdyrylýar;
2. mehaniki grawimetrler olarda deňagramlaşdyrýan güýç, jisimleriň (pružinleriň we towlanan sapaklaryň) maýyşgak deformasiýasynyň güýjüdür;
3. elektromagnit güýçleri ulanmaga esaslanan grawimetrler.

Häzirki zaman grawimetrleriň aglaba köpüsi mehaniki grawimetrlerdir: olaryň duýuş elementine maýyşgak sistema (ulgam) diýilýär, ony eredilen kwarsdan ýa-da metallaryň erginlerinden ýasaýarlar. Şonuň esasynda mehaniki grawimetrler kwarsly we metally grawimetrlere bölünýärler.

**Kwarsly grawimetr.** Onuň maýyşgak sistemasy (ulgamy) eredilen kwarsdan ýasalýar. Aýlanma (towlanma) sapagyň (simiň) uzynlygy 15 sm. Leňneriň başyna serpidiriji aýna berkidilen, onuň ýanynda kronşteýnde (esasda) gozganmaýan aýna ýerleşdirilen. Gözegçilik edilende ştrihleri (inçe çyzygyň şekilleri) bu aýnalarda gabat gelýär. Sistema (ulgam) bütinleý içi suwuklykdan doldurlan we germetiki ýapylan gaba salynýar, gabyň özi bolsa ikileýin termostatda

ýerleşdirilýär. 9-njy suratda kwarsly grawimetri görkezilen: 1- kwars sapagy (simi) [kwarsdan ýasalan sim], 2-leňner (ryüag); 3-serpikdiriji aýna, 4-gozganmaýan aýnanyň kronşteýni (esasy); 5,6 –esas kwars plastinka, 7-platinadan ýasalan halka.

### 9-njy surat.



Leňneriň gorizontol ýerleşmegini  $630^\circ$  burça towlanan sapak üpjün edýär.  $Q$  arkaly aýlanma burçy bellenen,  $\alpha$  arkaly – ýapgytlyk burçy,  $\tau$ -sapagyň towlanma koeffisiýenti,  $l$ -leňneriň egni,  $m$ -onuň massasy. Deňagramlylyk deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar.

$$Q\tau = mlg\cos\alpha \quad (1.67)$$

Eger-de sistema (ulgam) başga bir nokada ( $g_1$ ) geçirilse, onda  $Q$  we  $\alpha$  üýtgärler, ýagny, (1.67) deňlemä derek alarys

$$(Q + \delta Q)\tau = mlg_1\cos(\alpha + \delta Q) \quad (1.68)$$

Leňnere berkidilen aýnany öňki ýagdaýyna getirmek üçin leňneri  $\Delta\alpha$  burça ýapgytlandyrmaly.

$$\text{Onda alarys } Q\tau = mlg_1\cos(\alpha + \delta Q + \Delta\alpha) \quad (1.69)$$

Şeýlelik bilen, agyrylyk güýjüniň  $\Delta g$  ulalmagy, gorizontol tekizlige görä ýapgytlyk burçy  $\Delta\alpha$  ululyga ulalar. Metalliki grawimetr kwarsly grawimetrden düýp-göter tapawutlanýar. Onuň maýyşgak sistemasynyň (ulgamynyň) hereketli elementi agyrylyk güýjüniň üýtgemegi netijesinde, has kiçi süýşmeleri amala aşyrýar. Metalliki grawimetrleriň

nazarýetinde (teoriýasynda) deformasiýalaryň agyrylyk güýjüne proporsionaldygy kabul edilendigi mälim.

$$\text{Şoňa görä } l = l_0 = (1/\tau) \text{ mg} \quad (1.70)$$

Differensirläp, maýyşgak sistemanyň hereketli elementi P bilen agyrylyk güýjüniň tizlenmesiniň üýtgemeginiň  $\Delta g$  arasyndakybaglanyşygy alarys.

$$dl/l - l_0 = dg/g \quad (1.71)$$

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 mkm deň bolar. Hereketli elementiň süýşmelerini hasaba almak üçin, kiçi süýşmeleriň indikatorlary diýip atlandyrylýan gurluşlar ulanýarlar. Bu maksatlar üçin, 100-lerçe esse ulaldýan, optiki mikroskoplary ulanýarlar. Maýyşgak sistemanyň statiki deňagramlylyk ýagdaýyna temperaturanyň we daşky sredanyň dykzlygynyň üýtgemegi täsir edýärler, olaryň täsirini ýok etmek (deňagramlaşdyrmak) üçin grawimetrlerde ýörite gurluşlary ulanýarlar.

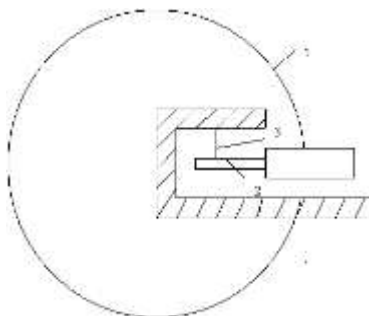
Mehaniki grawimetrler aşadaky esasy düzüm böleklerinden durýarlar:

- 1) maýyşgak sistema (ulgam);
- 2) kiçi süýşmeleri hasaba alýan gurluş;
- 3) agyrylyk güýjüni deňagramlaşdyrýan we ölçemek üçin ulanylýan gurluş;
- 4) diapazon gurluş (ölçeme çäklerini saýlaýan gurluş);
- 5) temperaturany deňagramlaşdyrýan gurluş;
- 6) atmosfera basyşynyň täsirini deňagramlaşdyrýan gurluş.

Grawimetrleriň beýleki gurallara görä kesgitli üstünlikleriniň barlygyna seretmezden olar käbir uly kemçiliklere eýedirler. Bu kemçilikleriniň esasyalarynyň biri-wagtyň geçmegi bilen maýyşgak sistemanyň metarialynyň häsiýetleriniň üýtgemegidir. Ol bolsa grawimetriň ölçemeleriniň hasabatynyň (otsçýotynyň) üznüksiz üýtgäp durmagyna getirýär, şol sebäpli hem iş başlamazdan ozal her bir guraly kalibrowka edip durmak zerur bolýar. Metalliki

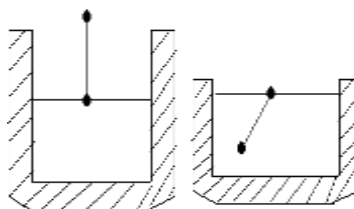
grawimetrler ulanylýan maýyşgak sistemanyň görnüşine görä üç topara bölünýärler.

### 10-njy surat.



1-nji topara halka lenta pružinli abzallar deňşlidir. (sur.10).(3) sapaklarda asylan, leňňere (2), (1) pružiniň bir uýy berkidilen, beýleki uýy abzalyň korpusyna berkidilen. Bu görnüşli grawimetrlere GKM, GKA we GB-52 (GKM-Molodenskiniň Halka Grawimetri) ýaly grawimetrleri deňşli etçek bolar. Ikinji topara leňňer berkidilen gorizontol kwars sapakly grawimetrler (Ising, Askaniýa, Norgard) deňşlidirler.

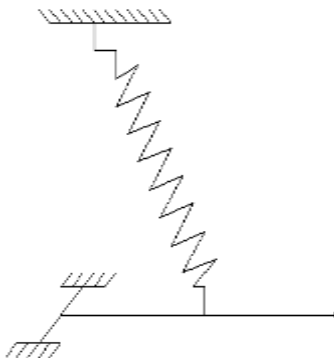
### 11-nji surat.



Norgardyň grawimetri (sur.11) şeýle görnüşli grawimetrleriň birnäçesini işläp düzmek üçin esas bolup hyzmat etdi.

Metalliki grawimetrleriň 3-nji toparynda Golisiniň wertikal seýsmografynyň esasy düşünjesi ulanylan (sur.12).

### 12-nji surat.



Bu grawimetrlere, WNIIG tarapyndan işlenilip düzülen, GMT-1, GMT-2 grawimetrler deňşlidir. GMT-1 grawimetri daýanç torlaryny döretmek üçin niýetlenendir we 1;5 mGal deň bolan diapazona (ölçeme çäklerine) eýedir. GMT-2 grawimetriniň ölçeme çäkleriniň tapawudy gaty kiçidir, şol sebäpli ol razwedka üçin ulanylýar (diapazon 150-200 mGal).

Grawimetrleri **barlamak** we **sazlamak** işleri olary döredende, meýdan işlerine taýarlyk görülyän döwründe we iş önümçiligi döwründe ýerine ýetirilýär.

Olardan has ýygy-ýygydan we esasy ýerine ýetirilýänlerine aşakdakylar deňşli:

Ýapgytlyga duýgurlygy has kiçi bolar ýaly urowenleri (deňleýjileri) sazlamak hasabatly almak wagtyny kesgitlemek temperatura koeffisiýentini we temperatura häsiýetnamasyny kesgitlemek etalonlama.

Deňleýjileri ýapgytlyga duýgurlygy has kiçi bolar ýaly ýagdaýa getirmek üçin, grawimetri, abzalyň ýokarsynda berkidilen, göteriji wintleriň kömegi bilen niwelirleýärler.

Grawimetriň deňleýjilerini ýustirowka etmegini abzaly deňleýjilere görä berk esasa ýerleşdirmek ýoly bilen amala aşyrýarlar. Hasabat indeksini nul çyzygy (ştrihi) bilen gabat getirýärler we grawimetriň hasabatyny kesgitleýärler. Soňra grawimetri erkin burça, göterme wintleriniň kömegi bilen gyşardýarlar. Gyşarma burçuny korpusda indeksiň kömegi bilen, göterme wintiniň aýlaw sany boýunça (wintiň kellesi 10 bölege bölnen) kesgitleýärler. Grawimetri gyşardandan soňra, indeksi täzeden nol çyzyk (ştrih) bilen gabat getirýärler we hasabat alýarlar. Soňra bu işi beýleki tarapa gyşartmak bilen gaýtalaýarlar. Netijeler boýunça grafik gurýarlar.

Hasabat almak üçin gerek bolan wagtny kesgitlemegi ölçeme punkutda, birnäçe wagtyň dowamynda ýerine ýetirýärler.

Grawimetr boýunça hasabat abzaly goýan badygna alynsa, grawimetr bilen ölçemegiň orta ýalňyşlygyndan has uly ýalňyşlyk gözegçiligiň netijelerine girer. Bu ýalňyşlygy goýbermezlik üçin hasabaty almak üçin gerek bolan wagty kesgitleýärler we gözegçilik edilende, hasabaty abzal ýerine goýandan soňra birnäçe wagtdan soňra alýarlar. Hasabaty almak üçin gerekli bolan wagt köplenç 2-3 min. deň bolýar.

Grawimetriň temperatura häsiýetnemasyny termokamerada derňeýärler. Grawimetri iş ýagdaýynda termokamera ýerleşdirýärler we indeksi şkalanyň hasabat çyzygy (ştrihi) bilen gabat getirýärler. Soňra sagatda  $1^{\circ}\text{C}$  ( $1^{\circ}\text{C/sag}$ ) tizlik bilen temperatura üýtgär ýaly şert döredýärler. Bu şertleri grawimetriň içki temperaturasy başlangyç temperaturadan  $15^{\circ}\text{C}$  tapawut beryänçe saklaýarlar. Soňra temperatura ýene-de  $1^{\circ}\text{C/sag}$  tizlik bilen üýtgär ýaly edýärler, ýöne üýtgame ters ugurda bolup geçmelidir. Şeýle režim grawimetriň içki temperaturasy  $30^{\circ}\text{C}$  ululyga üýtgeýänçe saklanylýar. Synagyň бүтін geçiş döwründe, birinji temperatura

režimi berlenden 3 sagatdan soňra grawimetirden hasabat alýarlar. Derňewiň netijeleri boýunça grafik gurýarlar.

**Grawimetrleri etalonlamak.** Grawimetrler bilen gözegçilik edilende, agyrlyk güýjüniň tapawudy (ösdürmesi-abzalyň hasabat alyjy gurluşynyň şertli birlikler sistemasynda kesgitlenýär. Abzalyň görkezmelerini milligallara geçmek üçin hasabat alynýan gurluşyň bölüminiň bahasyny bilmek zerurdyr, oňa grawimetriň hemişeligi hem diýýärler.

Grawimetriň bölüminiň bahasyny, onuň temperatura we beýleki daşky faktorlara baglylygyny kesgitlemek işlerine grawimetrleri etalonlamak işleri diýýärler. Grawimetriň hemişeligini kesgitlemek üçin, öňden belli bolan agyrlyk güýjüniň etalon tapawudyny derňelýän abzal bilen ölçemek zerurdyr. Eger-de  $\Delta g$ -agyrlyk güýjüniň ösdürmesiniň (tapawudynyň) milligallardaky bahasy,  $\Delta s$ -mikrometr wintiniň aýlaw sanyndaky hasabatlaryň degişli tapawudy bolsa, onda çyzykly hasabat şkalaly grawimetriň bölüminiň bahasyny aşakdaky gatnaşyk boýunça hasaplaýarlar.  $C = \Delta g / \Delta s$ . Etalonlama usullaryny  $\Delta g$  etalon tapawudynyň kesgitlenişiniň görnüşine laýyklykda tapawutlaýarlar.

Agyrlyk güýjüniň bahasy belli bolan punktlardaky etalonlama usuly iň umumy usuldyr. Onuň kömegi bilen grawimetrleriň islendik görnüşiniň bölüminiň bahasyny kesgitlemek mümkindir. Onuň üçin ilki bilen (maýatnikli ýa-da ballistiki abzallar bilen) etalon bazisini (poligonyny) döretmek üçin takyk ölçemeler geçirmek zerurdyr. Etalonlama maksatlary üçin halkara, milli we ýerli bazisler döredýärler. Olary köplenç meridianlaryň ugruna ýerleşdirýärler. Häzirki döwürde giň diapazonly grawimetrleri etalonirmek üçin üç sany halkara bazis döredildi:

Norwegiýanyň demirgazygyndan (Hammerfest,  $\varphi = 70,6^\circ$ ) Afrikanyň günortasyna çenli (Keýptaun,  $\varphi = -34,0^\circ$ ) uzalyp gidýän Ýewro-Afrikan bazisi; Alýaskanyň demirgazygyndan (Barrou  $\varphi = +71^\circ$ ) GO Amerikanyň merkezine (Melburn,  $\varphi = -38^\circ$ ) çenli uzalýan Amerikan bazisi.



Käwagt agyrlyk güýjüniň tapawudy agyrlyk güýjüniň beýiklige görä üýtgeýänliginiň hasabyna döredilýär-etalon bazisiniň punktlaryny beýik jaýlaryň dürli etažlarynda we daglaryň ýapgytlarynda ýerleşdirýärler. GDA-da Baksan (dg.Kawkaz) poligony ýerleşýär. Ol giň diapazonly grawimetrleri etalonlamak üçin niýetlenendir. Halkara bazisleri  $1 \times 10^{-4}$ - $3 \times 10^{-5}$  tertipli takyklyga eýedirler. GDA-da agyrlyk güýjüniň üýtgame diapazony 8-den 100 mGal bolan  $1 \times 10^{-4}$ - $3 \times 10^{-5}$  takyklykly we diapazony 1 000-den 3 000 mGal deň bolan  $5 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-4}$  takyklykly etalonlama grawimetriki poligonlar döredildi.

**Grawimetrler bilen gözegçilik.** Statiki grawimetrler has ýikary öndürjilige eýedirler: punkdaky gözegçilik, abzaly ýerleşdirmekden we grawimetriň şkalasyndan hasabatly kesgitlemekden, ybaratdyr. Bu ýönekeýlige seretmezden, gözegçilik döwründe ýokary hilli netijeleri gazanmak üçin ýörite çäreleri ýerine ýetirmek zerurdyr. Grawimetr bilen alnan netijeleriň takyklygy köplenç, ölçemeleriň tötänleýin we sistematiki ýalňyşlyklaryň täsiri zerarly, abzalyň duýgurlyk çäginde has kiçi bolýar. Tötänleýin ýalňyşlyklaryň çeşmeleri: indeks bilen nol ştrihi gabat getirme ýalňyşlygy, mikrometr gurluş boýunça hasabat almagyň tötänleýin ýalňyşlygy, deňleýjiler boýunça grawimetri ýerleşdirmegiň tötänleýin ýalňyşlygy, mikroseýsmalaryň, elektrik we magnit meýdanlaryň täsiri we nul punkdyň süýşme tizligini kesgitleme ýalňyşy.

Sistematiki ýalňyşlyklaryň esasy çeşmesi etalonlamada grawimetriň bölüminiň bahasyny kesgitlemekdäki goýberlen ýalňyşlykdyr; şeýle hem hasabat şkalasynyň çyzyklaýyn däl bolmaklygyny temperaturanyň täsirini, mikroseýsmalaryň statiki täsirini doly hasaba almazlyk sistematiki ýalňyşlyklara getirýär.

Grawimetrler bilen ýerine ýetirilýän gözegçilikleri aýratyn reýsler bilen ýerine ýetirýärler. Nul-punktuň süýşmesini kesgitlemek üçin gözegçiligi başlangyç punkda hem gutarýarlar ýa-da agyrlyk güýjüniň tapawudy belli bolan

punktlaryň arasynda ýerine ýetirýärler. Reýsiň dowamynda nul-punkdyň süýşme tizligi hemişelik diýip çaklanylýar. Bu çaklama reýsiň dowamlylygy uly bolmadyk (4-8 sagat) ýagdaýynda dogrydyr.

## **V BAP. AGYRLYK GÜÝJÜNIŇ DEŇIZDE WE HOWADA ÖLÇENIŞI.**

### **§ 1. Agyrlyk güýjüniň deňizde ölçenişi**

Agyrlyk güýjüni ölçemekde ýokary takyklygy diňe gaty esasda berkidilen abzal bilen amala aşyryp bolýar, sebäbi mikronyň ondan bir bölegine deň bilen ýükiň süýşmelerini kesgitlemek talap edilýär. Esas durnuksyz bolan mahalynda podstawkanyň gorizontal süýşmeleri maýatnigiň yrgyldama häsiýetini, wertikal süýşmeler agyrlyk güýjüniň üýtgemeleri hökmünde täsir eder, sebäbi dartylmalaryň tizlenmesi we podstawkanyň inersial süýşmeleri ekwiwalentdir. Bu tizlenmeleri saýgarmak mümkin däl.

Ýöne şeýle bolsa-da hem agyrlyk güýjüni deňizde ölçemek mümkindir. Bu ýagdaýda iň ýönekeý usul maýatnigi ýa-da grawimetri deňiz düýbine düşürmekdir. Ýeterlikli çuňlukda suwuň tolgunmasy ýok ýerinde, agraşly abzal yrgyldamaz. Bu maksatlar üçin aralykdan dolandyrylýan çuňluk grawimetrleri döredilen. Häzirki döwürde bu usul bilen geçirilýän gözlegler deňizleriň şelf zolaklarynda, 100-200 m çuňluklarda ýerine ýetirilýär. Bu işleri deňiziň has çuň ýerlerinde ýerine ýetirmek hem mümkin, ýöne onuň üçin köp material çykdaýjylar we wagt talap edilýär, bu bolsa olary maksada laýyk däl edýär.

Emma agyrlyk güýjüni maýatnikleriň we grawimetrleriň kömegi bilen gämide ýerine ýetirmek mümkindir. Bu pikir golland geofiziki Weýning Maýnes tarapyndan hödür edildi.

Pikir şeýledir: eger-de podstawkada iki sany maýatnik yrgyldasa, onda gäminiň tolgunmasy zerarly dörän wozmuşaýuşyýe tizlenmeler podstawka arkaly iki maýatnige hem deň täsir eder. Diýmek, iki maýatnigiň gyşarmasy hem birmeňzeş bolar. Şeýlelikde gämide bir podstawkada ýerleşdirilen iki maýatnigiň biriniň yrgyldamasynan

beýlekisiniň yrgyldamasyny aýyrsak, iki maýatnige heň deň täsir edýän gorizental wozmuşaýuşyýe tizlenmeler aýrylar we arassa yrgyldylar galar.

Indi usul bilen birinji ýakynlaşmada maýatnigiň hereketiniň gorizental wozmuşeniýa aýrylar. Gäminiň tolkunyny üstünde ýokary aşak hereketi esasynda dörän wertikal wozmuşeniýeler uzak wagt aralygynyň içinde gözegçilik edilen ölçemeleri orta bahasyny almak arkaly aýrylar. Şeýle yrgyldamalaryň dogry amplitudasynyda we hemişelik periodynyda wozmuşeniýeler orta baha almak arkaly aýrylar, sebäbi agyrylyk güýjüniň ýokary galmadaky ulalmagy we aşak düşmedäki kiçelmegi bilen deňagramlaşdyrylar.

Emma tejribede bu ähli işler gaty çylşyrymlydyr we agyrylyk güýjüniň tolgunmadan döreyän wozmuşeniýeleri aýyrmak üçin (eger-de tolgunma 2-3 ball bolsa) ýörite özleşdirmeleri talap edilýär. Bu ýagdaýda gämide ulanylýan tizlenmeleriniň wozmuşeniýelerini we gyşarmalary ölçeýän abzallar ýörite gurnama (akselerograf) bilen üpjün edilýär, abzallar gidrostabilizerlýan platformada ýa-da kardan asmalarynda ýerleşdirilýär.

Wozmuşaýuşyý tizlenmeden başga-da hereket edýän gämide ornaşdyrylan abzala Ýeriň aýlanmasyna ugurdaş we garşy hereketi esasynda dörän merkezden daşlaşma güýjüniň üýtgemesi täsir edýär. Eger-de älemiň boýy boýunça Ýeriň aýlanmasyna ugurdaş bolsa, onda Ýeriň aýlanmasynyň burç tizligine  $W$  gäminiň töwerek boýunça hereketiniň burç tizligi  $\Delta W$  goşulýar.

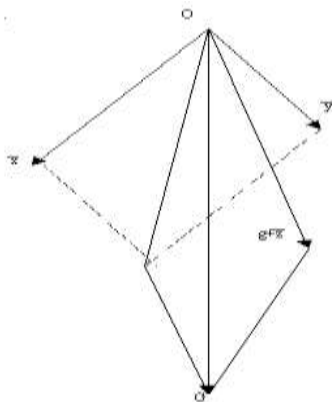
Eger-de bu hereket Ýeriň aýlanmasyna garşy ugurly bolsa onda  $\Delta W$  aýrylýar. Degişmelikde agyrylyk güýjüniň merkezden daşlaşma düzüjisi ulalýar ýa-da kemelýär. Meridianyň boýy boýunça herektde burç tizligi üýtgemeyär. Eger-de gämi azimuth boýunça hereket etse, onda goşmaça merkezden daşlaşma tizlenmesiniň ululygy azimuthyň kosinusyna proporsional bolar. Burç tizliginiň şeýle üýtgemesi agyrylyk güýjüniň ölçenen ululygynyň üýtgemegine getirer. Bu

ýalňyşlyklaryň çeşmesini hasaba almak üçin gözegçilikleriň netijesine ýörite düzediş ýagny Etweşiň düzedişini girizmeli.  $\Delta g_e = 7,5v \sin A \cos \varphi$  A-gäminiň hereketiniň azimuty,  $v$ -tizlik (uzellerde),  $\varphi$ -ýeriň giňligi. Gäminiň tizligi 15 uzel bolanda bu düzedişin ululygy 112 mGal deň bolýar.

Şeýlelikde hem gämi hereket edendäki uly yrgyldama döwürli maýyşgak sistema deňiz düýbiniň agyrlyk güýjünden yza galýar we g ululygy berer, bu ululyk diňe bir ölçeme wagty boýunça alnan orta ululyk bolman eýsem ol gäminiň birnäçe wagt mundan öň ýerleşen nokadyna degişlidir. Bu zatlaryň ählisi deňizde agyrlyk güýjüni hasaba almak gury ýerdäkiden has kynlaşdyrýar, şeýle hem onuň takyklygy iki esse azdyr.

Şeýlelik bilen agyrlyk güýjüniň deňizdäki ölçenmesi gury ýerdäki ölçemedən şu häsiýetler boýunça tapawutlanýar. Agyrlyk güýjüni ölçemek üçin gerek bolan abzal. Deňiziň tolgunmasy esasynda deň ölçegsiz herekt edýän gämide ýerleşen. Wozmuşaýuşyý tizlenmäniň amplitudasy g ululygyň 10-20% ýetýär we gäminiň marşruty boýunça üýtgeýän agyrlyk güýjünden  $10^4$ - $10^5$  esse uludyr. Goşmaça wozmuşaýuşyýe tizlenmeler gäminiň hereketlendirijileri we mehanizmleri şeýle hem tolkunlaryň gäminiň korpusyna urulmagy netijesinde emele gelýärler. Deňizde ölçemeleriň netijeleriň gaýtadan işlemegiň we bütin rýady hasaba almagyň düzediş bütin prosessi awtomatlaşdyrmaga getirýär.

### 13-nji surat.



Açyk deňizde köp halatlarda agyrlýk güýjüniň anomaliýesini hasaplamak we düzediş hasaba almak üçin gäminiň koordinatalaryny we deňiziň çuňlugynyň takyklygyny anyklamak kyn bolýar. Hereket edýän esasyda ölçenilende inersiýanyň tizlenmesi agyrlýk güýji  $g$  bilen goşulýar we her wagt aralygynda pursatlaýyn agyrlýk güýjüni

$$\text{düzýär } G = \sqrt{\left(g + \bar{z}\right)^2 + \bar{x}^2 + \bar{y}^2} \text{ niredesiz } \bar{x}, \bar{y}, \bar{z} - \text{ inersion}$$

tizlenmäniň gorizonta we wertika düzüjileri. Pursatlaýyn agyrlýk güýjüniň ugury asma çyzygy bilen dogry gelenok we ol pursatlaýyn wertika diýlip atlandyrylýar.

Abzalyň düýgurlyk elementululygynyň düýgurlyk okunyň proyeksiýasyna täsir edýär.

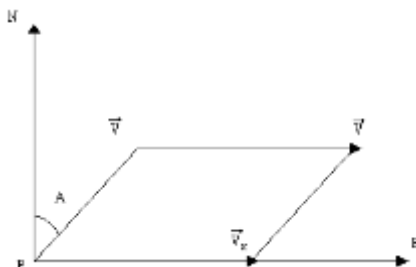
Deňizde agyrlýk güýji hasaplananda wozmuşaýuş tizlenmeleriň we gyşarmalaryň täsirini seredip geçeliň. Abzalyň düýgurlyk okunyň hemişe asma çyzygyň ugruna ýakyn bolýanlygy sebäpli tizlenmeleriň gorizonta we wertika düzüjileriniň täsiri has tapawutly bolarlar, şonuň üçin hem olara aýry-aýry seredeliň, seretmekde ikinji tertipli kiçiler bilen çäkleneliň, bu bolsa tejribe maksatlary üçin ýeterlikdir.

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

## § 2. Etweşiň effekti (täsiiri)

Goý gämi (P nokat)  $\varphi$  giňişlikde deň ölçegli  $v$  tizlikli A azimut ugury boýunça hereket etsin ( surat 14).

**14-nji surat.**



Gämide ornaşdyrylan grawimetrik abzalyň görkezmesi diňe agyrlýk güýjüniň ululygy bilen kesgitlenmän, ol Ýeriň burç tizliginiň wektoryna oňnositel hereketiniň ugruna hem bagly. Gäminiň Ýere görä hereketi esasynda abzalyň kesgitlän agyrlýk güýjüniň üýtgemesine Etweşiň effekti diýilýär. Etweşiň effektini hasaba almak üçin ölçemeleriň netijelerini gymyldamaýan esasyda gözegçilik edilen şerte getirýärler. Ýeriň giýe-gündiz aýlanmasynyň esasynda P nokadyň, ýagny, gäminiň tizligi bilen Ýeriň tizligini goşalyň  $v^2 = v^2 - 2v_3v\cos(90^\circ + A) + v_3^2$ .

Şonuň bilen gäminiň deňölçegli hereketinde abzala merkezden daşlaşma güýji täsir edýär.  $v^2/R = v^2/R + 2v_3v\sin A/R + v_3^2/R$  niredede R-Ýeriň orta radiusy. Formulanyň soňky agzasy Ýeriň aýlanmasynyň netijesinde dörän

merkezden daşlaşýan güýji aňladýar. Formulasynyň başga agzalary Etweşiň düzedişini emele getirýärler. Sferiki Ýer üçin  $v_3 = W \cos \varphi$ , Onda  $\Delta g_e = 2wv \cos \varphi \sin A + v^2/R$

$R = 6371 \text{ m}$  we  $w = 7,2921 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$  deň bolanlygy sebäpli

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

Eger-de tizligi uzelde görkezsek

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

Formulanyň sag tarapynyň ikinji agzasy diňe gäminiň tizligine bagly bolanlygy üçin ol diňe Etweşiň effektiniň merkezdendaşlaşma bölegini tutýar. Ol  $1 \text{ mGal}$  ululyga diňe  $30 \text{ km/sag}$  tizliginde ýetip biler. Şonuň üçin hem gämileriň tizliginiň ululygynda düzetmäniň birinji agzasy esasy rol oýnaýar. Ol korioliýe güýjüniň dik düzüjisini düzýär. Etweşiň düzediş iň uly baha ekwatorda hereket edende, ýagny,  $\varphi = 0$   $\sin A = \pm 1$  El bolýar.

### § 3. Deňiz grawimetriki sýomkasy

Gämiye ýerleşen çuňluk grawimetrler bilen deňiz grawimetriki sýomkasyny ýerine ýetirýärler. Wehami ýa-da buýami berkidilen punktlardan ybarat bolan daýanç toryny döredýärler we 2-3 sany grawimetr bilen hatar torynyň punktlarynda birnäçe reýsler geçirýärler. Punktarda birnäçe hasabat alandan soň kontrol gözegçilik üçin abzaly göterýärler we ýene-de suwuň düýbine düşürýärler. Çuňluk grawimetrler bilen reýsleri geçirmegiň we gözegçilikleri täzeden işlemegiň gurluşy gury ýerdäki gözegçiligiň gurluşyna meňzeýär. Gämiye ornadylan radiogeodezik ulgamyň kabul ediş indikatory bilen punktlaryň koordinatalaryny we olaryň çuňlugy bolsa eholotlar ýa-da grawimetriň çuňluk ölçeyjisi bilen anyklaýarlar. Ölçeme dowamynda gämi ýakorda durýar. Çuňluk sýomkasy  $30 \text{ m}$  çuňlukda  $7$  sagadyň dowamynda  $10-15$  punkty anyklap bilýär we  $100-150 \text{ m}$  çuňlukda bolsa onuň öndürijiligi  $25 \%$  kemelýär. Onuň priwýazkasynyň we ölçemesiniň ýalňyşlygy deňiziň çuňlugynyň ulalmagy bilen



ösyär. Şonuň üçin hem çuňluk sýomkasy 200-300 m çuňluk bilen ograniçeno.

Açyk deňizde grawimetriki sýomkany her hili suw sygdyryjlygy bolan ylmy-barlag gämilerinde ýerine ýetirýär. Köplenç ol sýomkany beýleki geofiziki barlaglar bilen bilelikde ýerine ýetirýärler. 3-den az bolmadyk grawimetrleri gäminiň agyrlyk merkezine ýakyn edip we yrgylda päsgel berýän düşekçelerde oturdýarlar. Gözegçiligi deňölçegli hereketde hem-de göniçyzykly galsah geçirýärler. Galslarda gaýtadan ölçeme ýoly, galslaryň kesişme nokatlarynda we ozalky barlaglaryň netijeleri bilen deňeşdirmek ýoly bilen grawimetriki sýomkanyň takyklygyna baha berýärler.

Şelflerde işiň şertleri açyk deňizdäki şertlere garanyňda has amatly, sebäbi şelflerde daýanç punktlaryny düşürilýän ýerde döredip bolýar we nokatlaryň koordinatalaryny has takyk anyklap bolýar. Deňiz grawimetriki gözegçilikleri täzeden işlemek, düzetmeler girizmek we grawimetriň görkezmelerini düzetmek ýaly işleri üçin örän köp zähmet sarp edýär. Deňiz punktynda agyrlyk güýjüniň bahasy her grawimetr üçin özbaşdak hasaplanýar  $g = g_0 + \Delta g$   $g_0$ -daýanç punktynda agyrlyk güýji,  $\Delta g$ -agyrlyk güýjüniň priraşeniýesi  $\Delta g = K(m - m_0) + \Delta g_2$ .

Bu ýerde:  $K$ -grawimetriň bölünme bahasy,  $m_0$ -daýanç punktynda hasabat,  $m$ -(tekuşyý) hasabat,  $\Delta g_2$ -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 nirede  $t_0$ -daýanç gözegçilikleriniň geçýän wagty,  $a$  we  $c$  hemişelikleri daýanç gözegçilikleri wagtynda tapýarlar.

Deňiziň üstünde agyrlyk güýjüniň anomaliýesini

$\Delta g = g - \gamma_0$  formula boýunça tapýarlar

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

#### § 4. Agyrlyk güýjüniň howada ölçenmesi

Howada agyrlyk güýjüni ölçemek deňizdäki ölçenmeden has kyndyr onuň 3 sany görnüşi bar:

1. Regulýar bolmadyk köpwagtly periodiki dik we kese tizlenmelerin 30-160 sek peridy bolanlygy sebäpli;
2. Agyrlyk güýjüniň bahasyna güýçli üýtgedýän yrgyldylaryň barlygy;
3. Etweşiň effektine bagly bolan ugaryň örän uly tizligi esasynda ugarda hasaba alnan wagtynda örän uly üýtgemeler emele gelýär.

500-600 tizlikler üçin Etweşiň effektiniň düzediş 2 500-3 000 mGal ýetýär. Tejribe döwründe alnan agyrlyk güýjüniň häsiýetnamasy hereket tizliginiň we beýikliginiň umumylaşdyrylan we düzedilen netijelerini berýär. Ugarda ölçenen agyrlyk güýji ýerde we deňiz ölçenen agyrlyk güýjüniň ornuny tutup bilmeýär.

Agyrlyk güýjüniň howadaky ölçemelerine girizilýän Etweşiň düzedişi şu formula boýunça hasaplanylýar.

$$\Delta g_E = 2\omega v \sin\beta + (1 + l^2/a)v^2 - l^2/a(v^2 \cos^2 B + 3/2 v^2 \sin^2 B)$$

**Awiagrawimetriki sýomka.** Onuň reýsleri aerodromdaky grawimetriki punktlara daýanýarlar. Ýerdäki daýanç gözlegleri ugaryň duran mahalynda ýerine ýetirýärler. Ugaryň watopilota geçmekligi, berlen beýiklige galmaklygy we göniçyzykly marşruta çykmaklygy bilen gözegçilik başlanýar. Tekiz düzlük ýerlerde uçuşyň beýikligini topografo-radiobeýiklik ölçeýji bilen 1m takyklykda ölçeýärler; daglyk ýerlerde daýanç nokatlary fotografirlemek bilen bilelikde barometrik usuly ulanýarlar. Etweşiň düzedişini 1mGal töwereginde hasaba alyp koordinatalaryň gerek bolan takyklygyny anyklaýarlar. Ol faza radiogeodeziki ulgam bilen üpjün edilýär. Ýol tizligini, gysarma burçy we kursy 0,4 km/sag 20' we 10' takyklyk bilen alýarlar. Şolar bilen

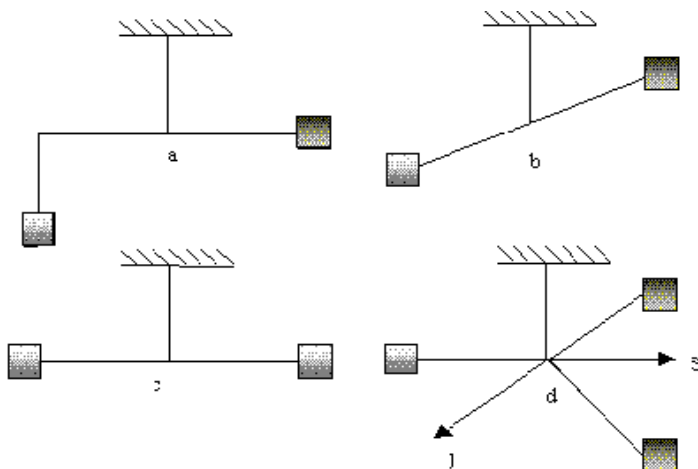
koordinatalaryň daýanç nokatlara garanyňda koordinatalaryň priraşeniýesini hasaplaýarlar. Aerograwimetriki gözegçilikleriň täseden işlenilişi deňizdäki ölçemeler iň täzeden işlenşinden tapawutlanmaýar.

## **VI BAP. Agyrlyk güýjüniň potensialynyň ikinji önümlerini ölçemek.**

Potensialyň ikinji önümlerini ölçemek üçin ulanylýan abzallary grawitasion wariometrler we gradiýentometrler diýip atlandyryrlar. Olaryň içinde esasysy wengr fiziki Etweşiň wariometridir. Bu abzalyň duýujy elementi bolup, gorizonta tizlikde täsir edýän has kiçi güýçleri ölçemek üçin ulanylýan, Kulonyň aýlanma terzisi hyzmat edýär. Ol inçe sapakda ortasyndan asylan eginden we onuň her tarapyna berkidilen deň ýukjagazlardan ybaratdyr. Ýukli egin sapagyň daşyndan aýlanmaga ukyply. Kulon bu abzaly nýutonial dartylmany kesgitlemek üçin ulansa, Etweş bolsa Ýeriň grawitasiýa meýdanynyň dürlüligini öwrenmek üçin. Abzalyň nazarýetini giňeldip, Etweş ölçemeler üçin bir ýüki biraz aşak düşürilen. Aýlanma terezisini ulanmak has amatly boljakdygyny tapdy. Kulon tarapyndan ulanylan terezä Etweş 1-nji hilli grawitasiýa wariometrleri diýip atlandyrdy, bir ýukjagazy aşak düşürilen aýlanma terezä bolsa 2-nji hilli (kysymly) wariometrler diýdi.

Grawitasion wariometriň işleme düzgüni aşakdakylara esaslanýar. Wolframdan, iridili platinadan ýa-da eredilen kwarsdan ýasalan inçe sapakdan her tarapyna ýukjagazlar berkidilen, egin asylan (surat 15).

Egin sapagy almak bilen uly periodly we doly sönme wagty uly bolan yrgyldyly hereket edýär. Aýlanma doly sönme wagtynda egin haýsydyr bolsa bir orna eýe bolýar. Birmeňzeş grawitasiýa meýdanynda bu orna sapagyň saralmadyk ýagdaýy gabat gelýär.



### 15-nji surat.

Eger-de meýdan birmeňzeş bolmasa, onda ýukjagazlara täsir edýän güýçler parallel däldirler. Diýmek bu güýçleriň gorizonta düzüjileri we egnä perpendikulýar bolanlary jübüt güýçlere emele getirip egniň sapagyň daşynda aýlanmagyna sebäp bolýarlar. Bu aýlanma jübüt güýçleriň täsiri sapagyň maýyşgak momentini täsirine deňeşýänçe dowam eder. Grawitasiýa meýdanynyň häsiýeti üýtgeşe diýmek jübüt güýji hem üýtgär, ýagny, egniň dynma orny üýtgär.

Şeýlelik bilen egniň dynma ýagdaýy (orny) grawitasiýa meýdanynyň birmeňzeşligine bagly. Ony wariometriň kömegi bilen ölçäýärler. Grawitasiýa meýdanynyň dürlilik derejesi agyryk güýjüniň gradiýentleriniň ululygy, ýagny,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ugurlar boýunça önümleriniň ululygy bilen hasiýetlendirilýär. Şol sanda hem grawitasiýa meýdanynyň häsiýetlendirmek üçin şol nokatdaky dereje üstüň egriligi ýa-da oňa ähli ýerde perpendikulýar güýç çyzyklarynyň ugry ulanylýar. Öňden bellenişi ýaly agyryk güýjüniň gradiýentleri – bu potensialyň ikinji önümleridir:

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

dereje üstiň egriligi.

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

Grawimetriki wariometr aşakdaky ululyklary almana mümkinçilik berýär.

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

Wariometriň aýlanma sistemasynyň (ulgamynyň) deňagramlylyk deňlemesi aşakdaky görnüşe eýedir.

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

$$+ mlh (W_{yz} \cos \alpha - W_{xz} \sin \alpha)$$

(1.73)

Bu deňlemä wariometriň esasy deňlemesi diýilýär. Oňa baş sany näbelli  $\theta_0$ ,  $W_\Delta$ ,  $W_{xy}$ ,  $W_{yz}$ ,  $W_{xz}$  we baş sany parametrlr  $J$ ,  $l$ ,  $m$ ,  $h$ ,  $\tau$  girýär. Ähli baş näbellini kesgitlemek üçin  $\theta$  burçunyň ölçeglerini dürli baş  $\alpha$  azimutlarda ýerine ýetirmeli.

(1.73) deňlemä laýyklykda önümleriň birmeňzeş bahalarynda egniň aýlanma burçy  $J/\tau$  gatnaşyga proporsional  $\Delta W$  we  $W_{xy}$  üçin, şeýle hem  $mlh/\tau$  gatnaşyga proporsional  $W_{yz}$  we  $W_{xz}$  üçin.

Bu gatnaşyklar wariometriň duýgurlygyny kesgitleýärler. Wariometriň duýgurlygy sistemanyň (ulgamyň, abzalyň) agramy we ölçegleri uly boldugyça we asma sapagynyň näçe inçe we uzyn boldugyça, şonça-da ýokary bolýar. Eger-de  $m = 30r$ ,  $2l = h = 30$  sm,  $\tau = 1g/sm^2 \times c^{-2}$  bolsa onda  $J/\tau = mlh/\tau = 2,8^\circ E$ .

Ýagny 1 E proporsional bolan ikinji önümler ölçemäge mümkin bolan egniň aýlanmasyny emeli getirýärler. Ikinji önüler dartma massasynyň kubyna (üçünji derejesine) ters proporsional kemelýändikleri sebäpli wariometr ýakyn massalara ýokary düýgurlyk görkezýär. Goý meselem 70 kg massaly gözekçi bir ýükden 50 sm aralykda we beýlekiden 40 sm aralykda dur diýeliň. Eger-de massa bir ýükden  $r_1$  we beýlekiden  $r_2$  aralykda ýatan nokatda jemlenen bolsa gözegçiniň dartylmasy 35 E deň bolan gradiýen bilen 30 sm eginli terezä täsir eder.

$$fm/30=(1/r_1^2-1/r_2^2)=35 \text{ E}$$

Ýakyn massalaryň uly täsiriniň barlygy sebäpli egniň ýagdaýyny fotografiki plastinka gözekçi ýok bolan wagty surata düşürýärler. Egniň aýlanma burçuny ölçemek üçin aýlanma okunda serpikdiriji aýna berkidýärler: aýnadan serpigen şöhläni fotoplýonkada surata düşürýärler. Eger-de optiki egniň uzynlygy  $D$ , plastinka boýunça hasabat (otsçýot)  $n-n_0$ , onda

$$\theta - \theta_0 = \frac{n - n_0}{D}$$

(1.74)

bellenişikler girizeliň  $JD/\tau=a$ ,  $mlhD/\tau=b$

(1.75)

(1.74) we (1.75) bellemeleri göz önünde tutsak wariometriň esasy deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolar.

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

(1.76)

Wariometriň egni her azimut boýunça ugrukdyrylanda dynýança 10-15 min dowamynda asmanyň okunyň daşynda yrgyldama herekitini amala aýrýar. Önümleriň gözegçilik edilip tapylyan bahalaryny esasy üç sebäp şertlendirýär: normal grawitasiýa meýdanynyň birmeňzeş dälligi, relýefiň we Ýeriň içindäki anomal massalaryň täsiri. Gözlegleriň netijelerini

geofiziki interpretasiýa edilende önümleriň içki anomal massalar bilen nagly bolan bölegi dykyzlanma döredýär. Relýefiň dartylmasynyň we normal meýdanda agyrlyk güýjüniň üýtgemesini düzedişler görnüşinde göz önünde tutýarlar. Ölçenen ululyklardan relýefiň we normal meýdanyň täsirini ýok edenden soňra, alnan ikinji önümleriň anomal aňlatmalaryny, grawiorazwedkada çuň däl gatlaklara gözegçilik (öwrenmek) etmek üçin ulanylýar. Wariometrleriň kömegi bilen kiçi aralyklarda agyrlyk güýjüniň ösdürmelerini (tapawutlaryny) uly takyklyk bilen kesgitlemek mümkin.

Grawiometrleriň kömegi bilen agyrlyk güýjüniň tapawudyny islendik aralyklarda şol bir takyklyk bilen ölçemek mümkin. Wariometrler we gradiýentometrler bilen ölçenip alnan netijeleri agyrlyk güýjüniň anomaliýalarynyň kartalary, agyrlyk güýjüniň wektorlary dereje üstüň egriliginiň tapawudynyň wektorlary görnüşlerinde aňladýarlar. Wariometrler we gradiýentometrler uly göwrüme we gözegçilik etmezden ozal ýeterlikli köp taýarlyk görmegitalap edýänlikleri üçin olaryň giňden ulanylmagyny çäklendirýär.



## **VII BAP. Wagt aralygynda agyrlyk güýjüniň üýtgemeleriniň öwrenmek**

Wagtyň geçmegi bilen agyrlyk güýjüniň ululygy we ugry üýtgeýärler. Beýle yrgyldylaryň (üýtgemeleriň) esasy periody (döwri) ýarym gije-gündize ýakyn. Bu esasanam Aýyň we Günüň dartmasynyň täsiriniň üýtgemegi, ýagny, dartylma nokadyna görä olaryň ýagdaýynyň üýtgemegi sebäpli bolup geçýär. Bütindünýä dartylma kanunyna laýyklykda ähli jisimler biri-birine dartylýarlar. Diýmek biziň birlik massamyz diňe Ýer tarapyndan däl-de, eýsem Aý, Gün we beýleki planetalar tarapyndan hem dartylýar.

Aýa seredeniňde has uzakda ýerleşen we Güne seredeniňde has kiçi massaly planetalaryň täsiri häzirki döwür ölçeme takyklygy zerarly duýulmaýar. Aý we Gün Ýere görä öz ýagdaýlaryny üýtgedýärler. Başga sözler bilen aýdanyňda, Ýer gije-gündiziň dowamynda edýän aýlanma hereketi zerarly Aýa we Güne dürli taraplary bilen seredýär (öwrülýär). Täsir edýän jisime seredýän tarapynda goşmaça dartylma emele gelýär. Ol Ýeriň merkezinden geçýän şöhle bilen ugurdaş. Agyrlyk güýjüniň iň uly üýtgemesi Aýyň täsirinden 0,16452 mGal, Günden 0,07576 mGal. Iň uly jemleýiji üýtgame 0,24 mGal. Bu ululyk häzirki zaman ölçemeleriniň takyklygy bilen deň bolan tertibe eýedir we grawimetriki işlerde göz önünde tutulýar. Her bir giňlik we uzaklyk üçin ýörite tablisalar düzülýär.

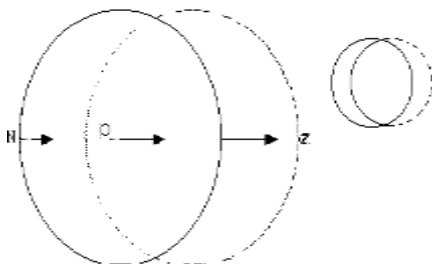
Olarda ýylyň her bir güniniň her sagady üçin aý-gün täsirlerinden agyrlyk güýjüniň üýtgemesi görkezilýär. Gün gözegçilik nokadynyň üstünde ýerleşende, agyrlyk güýji kemelýär. Şol sanda potensial hem kemelýär. Şol sebäpli hem Ýeriň figurasyny kesgitleýän dereje üsti dartma jisimine tarap süýşýär. Daşgyn emele gelýär. Deňizdäki suw şol tarapa akyp

başlaýar we onuň derejesi ýokary galýar. Gury ýer hem biraz ýokary galýar.

Gün gözegçilik nokadyna görä  $90^0$  burç bilen, ýagny, gözýetimde ýerleşende, daşgyn doly ýitýär. Gaýtgin emele gelyär. Ýöne bir zady belläp geçmek gyzyklydyr, ýagny, Gün gözegçilik nokadyna görä Ýeriň arka ýüzüne geçende ýene-de gaýtgin boljak ýalydyr, emma hakykatda daşgyn bolup geçýär. Aşakda  $\Delta g$  Zenit aralygynyň iki bahasynda iň uly bahalara eýe bolýandygy görkeziler. Bu hadysa, Aýyň orbita boýunça hereketi Ýeriň massalar merkeziniň süýşmesine getirýänligi bilen şertlendirilýär.

Hereket umumy Aý-Gün massalar merkeziniň töwereginde bolup geçýär. Bu ýagdaýda ähli massalar hem süýşýär, şeýle hem massa näçe täsir edýän jisime (Aýa) ýakyn bolsa, şonça-da süýşme hem uludur. Şonuň üçin Z zenitdäki massalar has köp süýşerler, olardan azrak merkezi massalar we has az süýşme Aý nadirde ýerleşen massalar sezawar bolarlar.

### 16-njy surat.



Aýyň täsiri zerarly dereje üstüň iň ýokary galmasy 35,6 sm, iň uly aşak düşmesi-17,8 sm ýetýär. Şeýlelik bilen Aý tarapyndan döredilen dereje üstüniň yrgyldamalarynyň amplitudasy 53,4 sm barabardyr.

Günüň täsiri zerarly dereje üstüniň iň uly ýokary galmasy -16,4 sm aşak düşmesi -8,2 sm, amplitudasy 24,6 sm

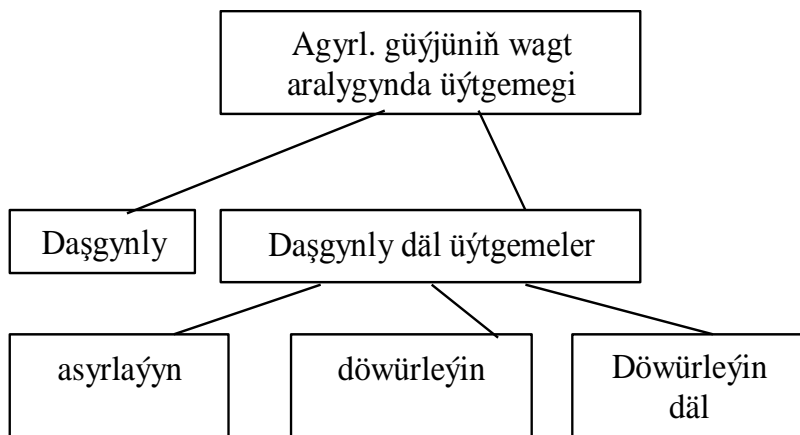
deňdir. Günüň we Aýyň käbir kesgitli ýagdaýlarynda dereje üstüniň yrgyldamasynyň amplitudasy 78 sm ýetýär. Eger-de Ýeriň özi absolýut gaty bolup, özüniň daşynda agramsyz, ideal akýan suwuklyk gatlagy bar bolup we rezonans hadysasy bolup geçmeýän bolsa daşmanyň ýokarlygy hem oňa deň bolardy. Eger-de Ýer absolýut gaty bolup suwuk gatlagy ýok bolan mahalynda daşgynlar düýbünden bolmazdy.

Hakykatda Ýer esasanam suwuk we käbir ýerlerde belli bir derejede gaty plastiki gurşawa eýedir we absolýut gaty däl. Daşgynyň amplitudasy ideal suwuklyk bilen gurşalan Ýerindäki daşgynlaryň beýikligi bilen absolýut gaty Ýer üçin daşgynlaryň beýikliginiň bahalarynyň arasynda üýtgeýär.

Ýeriň hakyky (real) daşgynynyň deformasy ideal statiki daşgynynyň 65% düzýär. Ony ýer ýüzüniň ekwatordaky yrgyldylarynyň iň uly amplitudasynyň bahasy 51 sm deňdir. 50-60<sup>0</sup> giňlikdäki bahasy 40 sm deňdir.

Şeýlelik bilen Ýer hemişe dyngysyz pulsirleýär. Daşgyn çişmesiniň tolkuny hemişe üstünden geçip durýar. Biz bu süýşmeleri, olar gaty haýal sagatda 4 sm geçýänlikleri üçin duýmaýarys (meselem Moskwanyň giňligi üçin 40 km aralykda süýşme 3 mm deň).

Aýyň we Günüň täsirlerinden döwürleýin giňlikler üýtgeýär, ýagny, Ýeriň polýuslarynyň ýagdaýy üýtgeýär. Şol sebäpli Ýeriň käbir böleklerinde birnäçe metre ýetýän okeaniki daşgynlar emele gelýär. Olar suwuň direlmegi netijesinde derýalaryň aýagynda has ýokary bolýarlar. Bu üýtgemeler daşgynly we daşgynly däl bolup bilýärler.



Agyrlyk güýjüniň daşgynly üýtgemeleri Ýer bilen beýleki asman jisimleriniň, esasanam Aý bilen Günň özara ýagdaýlarynyň üýtgemegi bilen baglydyrlar. Olar Ýeriň içki gurluşy bilen şertlendirilýär we onuň maýyşgak häsiýetlerine baglydyrlar.

Asyrlaýyn üýtgemeleriniň sebäbi bolup merkezden daşlaşma güýjüniň, Ýeriň aýlanma tizliginiň azalmagy netijesinde üýtgemegi, dartyлма hemişeliginiň gipotetiki azalmasy we ýeriň içindäki çuň ýerleşen massalaryň süýşmegi, litosfera plitalaryň hereketi. Ýeriň maddasynyň fiziki häsiýetleriniň üýtgemegi bilen bagly bolan üýtgemeler hyzmat edýär.

Ýeriň öz okunyň daşynda deň ölçegsiz hereket edýänligi mälum. Ol ýyl-ýyldan, asyrdan-asyra peselýär we haýallyk bilen bir gije-gündiziň uzynlygy artdyrýar. Beýle artmanyň bardygyny soňky 2600 ýyl üçin hem we 250 ýyl üçin hem bellanlip geçilýär. 2600 ýylyň dowamynda gije-gündiziň ortaça artmasy  $0,0023 \text{ s/ýyl}$  deňdir, soňky 250 ýyl üçin  $0,00135 \text{ s/ýyla}$  deňdir.

Ýeriň aýlanma tizliginiň üýtgemegi agyrlık güýjüniň üýtgemegine hem täsir edýär. Ol onuň merkezden daşlaşma

düzüjisiniň üýtgemeginde ýüze çykyar. Eger-de Ýeriň aýlanma tizligi yzygider kemelýän bolsa, onda merkezden daşlaşma güýji kiçelýär we umumy agyrlyk güýji ulalýar.

Şeýlelikde bir asyrda Ýeriň aýlanma tizligi  $14 \times 10^{-13}$  rad/s ululyga kiçelse, onda agyrlyk güýjüniň ekwatordaki bahasynyň ulalmasy bir asyrda  $+15 \times 10^{-12}$  mkGal deň bolar.

Agyrlyk güýjüniň döwürleýin üýtgemeginiň sebäpleri bolup dürli meteorologiki faktorlar çykyş edýär: howa basyşynyň döwürleýin (ýyllyk, gije-gündiziň dowamyndaky) üýtgemegi, ygallaryň pasyllaýyn düşmegi, ýerasty suwlaryň derejesiniň üýtgemegi, topragyň çyglylygynyň üýtgemegi.

Bu üýtgemeleriň amplitudasy uly däl: şeýle, gije-gündiziň dowamynda howa basyşynyň üýtgemeginiň agyrlyk güýjüne täsiri 3-5 mGal deňdir. 1 mGal amplitudaly agyrlyk güýjüniň üýtgemesini emele getirýän 5-10 sek döwür bilen we 10 mkm amplitudaly Ýeriň yrgyldylary hemişe hasaba alynýar.

Döwürleýin däl agyrlyk güýjüniň üýtgemeleri köp sebäpler bilen şertlendirilýärler; olara degişliler: Ýeriň aýlanma tizliginiň periodiki däl yrgyldylary, ýertitremeler, wulkanizm, howa basyşynyň yrgyldylary (siklonlar, antisiklonlar), ygallaryň düşmegi, topragyň çyglylygynyň we ýerasty suwlaryň derejesiniň yrgyldylary, adamyň işjeňligi we ş.m. Olaryň täsiri esasynda döreýän agyrlyk güýjüniň üýtgemesi belli-bir derejede duýulýar. Meselem, astronomiki gözegçiliklerde Ýeriň aýlanma tizliginiň üýtgemeleri agyrlyk güýjüniň aýda 2-3 mkGal üýtgemesine getirýär; Tokioda ýerasty suwlarynyň derejesiniň yrgyldamalary netijesinde ýedi ýylyň dowamynda agyrlyk güýjüniň 11 mkGal/ýy tizlik bilen azalmagy we dört ýylyň dowamynda 18 mkGal/ýyl tizlik bilen köpelmegi hasaba alnan 1 m çuňlukly çukur gazylanda agyrlyk güýji onuň serhetlerinde takmyndan 0,05 mGal üýtgär.

Aşakda real (hakyky) Ýer üçin agyrlyk güýjüniň daşgynly üýtgemeleriniň nazarýetine seredeliň. Goý Ýer ideal gaty, deformirlenmeýän, R-radiusly şar, asman jisimi – m

Ýeriň merkezi O bilen asman jisiminiň  $O_1$  arasyndaky uzaklygy  $\rho$  bilen, asman jisimi bilen Ýeriň ýüzündäki A nokadyň arasyndaky uzaklygy  $\rho'$  bilen belläliň (sur. 17). O we A nokatlarda m massaly material nokat tarapyndan döredýän dartyлма potensialy aşakdakylara deň  $v_0 = fm/\rho$ ;  $v_A = fm/\rho'$

$$F_0 = fm/\rho^2 \quad F_A = fm/\rho'^2$$
$$(\rho^1)^2 = \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos Z \quad (1.77)$$

74

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

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

$$\frac{1}{\rho'} = \frac{1}{\rho} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{R^n}{\rho^n} P_n(\cos \alpha) \quad \text{we}$$

$$V_a = \frac{fm}{\rho} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{R^n}{\rho^n} P_n(\cos z) \quad (1.79)$$

Bu ýerde:  $P_n(\cos Z) - \cos Z$  esasly  $n$ -derejeli köpçülenler, olara başgaça Ležandryň polinomlary hem diýýärler.

$V_A$  üçin ýazylan aňlatmany differensirläp, güýjiň düzüjilerini taparys

$$\delta g' = \frac{dV_A}{dR} = -\frac{fm}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{nR^{n-1}}{\rho^n} P_n(\cos z) \quad (1.81, a)$$

$$\delta g'' = \frac{dV_A}{Rdz} = -\frac{fm}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{nR^{n-1}}{\rho^n} \frac{dP_n(\cos z)}{dz} \quad (1.81, b)$$

(1.81, a) aňlatmadaky minus belgisi  $R$  we agyrlyk güýjüniň ugurlary tersdigini (garşylyklydygyny) görkezýär. (1.81,a) we (1.81,b) aňlatmalaryň sag tarapynda jemlemek  $n = 1$  başlanýar, sebäbi,  $V_A$  potensialyň aňlatmasyndaky 0 (nol) tertipli.  $fm/\rho$  agza  $R$ -e we  $z$ -e bagly däl, şonuň üçin onuň önümi 0 (nola) deňdir. Şoňa baglylykda daşma potensialy  $P$  diýip, aşakdaky tapawuda aýdylýar

$$\Pi = V_A - V_0 = \frac{fm}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{P^n}{\rho^n} P_n(\cos z) \quad (1.82)$$

Agyrlyk güýjüniň daşgynly üýtgemelerine ýakynlaşan baha bermek üçin (1.81) aňlatmada diňe 1-nji we 2-nji tertipli

agzalary galdyralyň.  $P_1(\cos Z) = \cos Z$ ,  $P_2(\cos Z) = \frac{3}{2} \cos^2 Z - \frac{1}{2}$  deň bolany üçin  $\delta g'$  üçin alarys

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

(1.83) aňlatmadaky birinji agza  $R=0$  bolandaky, Ýeriň merkezindäki, daşma güýjiň bahasyna deňdir. Massalar merkezinde goýlan güýç bütin Ýeriň öňe bolan hereketini emele getirýär, bu güýç, Ýeriň öz orbitasy boýunça hereket edendäki emele gelyän, merkezden daşlaşma güýji bilen deňagramlaşdyrýar.

A nokatda agyrylyk güýjüniň üýtgemeginiň sebäbi  $\delta g'$  güýjiň,

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

deň bolan we Ýeriň merkezindäki asman jisiminiň dartylyma güýjine gabat gelyän güýç bilen tapawudy bolýar. Şonuň üçin agyrylyk güýjüniň daşgynly üýtgemegi üçin ýazýarys:  $\delta g = \delta g' - \delta g_0 = \frac{f m R}{\rho^3} (1 - 3 \cos^2 z)$  (1.85)

Şeýlelik bilen daşgynly güýç asman jisimine çenli bolan uzaklygyň kubyna ters proporsionaldyr. Wagtyň her-bir pursatynda daşgynly güýç Ýeriň dürli nokatlarynda dürli dürlidir we asman jisiminiň zenit aralygynda baglydyr: bu güýç iki minimuma  $z=0^\circ$  we  $z=180^\circ$  eýedir, ýagny asman jisimi zenitde we nadirde bolan wagtynda;  $z=90^\circ$  bolanda maksimum baha eýedir, ýagny asman jisimi gözýetimde ýerleşende;  $z=54,7^\circ$  we  $z=125,3^\circ$  bolanda daşma güýji nola deňdir. Bu güýç Ýeriň merkezi bilen asman jisimini birleşdirýän göni çyzygyň, 001 ugruna Ýeri süýündirmäge ymtylýar. Onuň Ýeriň ýüzi boýunça ýaýraşy 15 suratda görkezilen. Ýokarda belenilip geçilişi ýaly Ýeriň grawitasiýa meýdanynyň elementleriniň daşgynly üýtgemeleri esasanam Aýyň we Günüň täsirleri bilen baglydyr. Olar sebäpli deformasiýalardaky Ýer ýüzüniň wertikal ugurdaky süýşmeleri gury ýerde 40-50 sm we deňizde 10 m gowrak bahalara ýetip bilerler.

Deformirlenýän Ýer üçin absolýut gaty Ýere seredeniňde agyrylyk güýjüniň üýtgemeleri uly bolar, asmanyň ugrunyň yrgyldylary kiçi bolar. Bu hadysa şeýle düşündirilýär: daşma güýjüniň täsiri zerarly Ýer 00,  $A_1$  we  $A_2$  nokatlar massalar



merkezinden daşlaşýarlar. Şol sebäpli bu nokatlardaky agyrlyk güýjiniň goşmaça azalmagyna getirýär, tersine  $A_3$  nokat ýeriň merkezine ýakynlaşýanlygy sebäpli agyrlyk güýji goşmaça üýtgeýär.

## **§1.Grawimetriki sýomkanyň usuly.**

Grawimetriki sýomka diýip, agyrylyk güýjüniň giňişlikleýin paýlanyşyny öwrenmek maksady bilen punktlaryň koordinatalaryny kesgitlemekligiň we grawimetriki gözegçilikleriň jemine aýdylýar. Ýeriň grawitasion meýdanynyň elementleriniň ölçegi geçirilen grawimetriki sýomkanyň punktyna grawimetriki punkt diýilýär. Sýomkany ölçemeklik maksatlara we gurallara baglylykda gözegçilik punktlarynyň degişli atlary bilen grawimetriki we wariometriki bolýar.

Ýeriň bütün üstüni we grawitasion meýdany kesgitlemek üçin zerur bolan grawimetriki sýomka dünýä grawimetriki sýomkasy diýilýär. Grawimetriki sýomka niýetlenişine baglylykda regionlaýyn we bölekleýin (detalnyý) görnüşlere bölünýär.

Regional sýomka uly territoriýalarda (1 000 we ondan köp km aralykda) geofiziki we geologiki barlaglar, grawitasion meýdanyň umumylaşdyrylan esaslaryny kesgitlemek üçin ulanylýar. Onuň kömegi bilen has bölekleýin iş geçirmek üçin uçastoklar ýüze çykýar. Regional sýomkanyň netijeleri boýunça kiçi masştably grawimetriki kartalar düzülýär (1:1 000 000, 1:500 000).

Kesgitli grawimetriki obýektleri ýüze çykarmak üçin geçirilýän grawimetriki sýomka poiskowaýa sýomka diýilýär. Şeýle sýomkalaryň netijesinde 1:200 000, 1: 100 000 1-2 mGal seçeniyeli masştably kartalar düzülýär. Bölekleýin grawimetriki sýomka diýip mümkin bolan maksimal takyklyk we punktlaryň paýlanyşynyň ýokary gürlügi bilen ýerine ýetirilýän grawimetriki sýomka aýdylýar. Onuň materiallary boýunça 1:50 000-1:5 000 0,05-0,5 mGal seçeniyeli masştably kartalar düzülýär.

## **§2. Bölekleyin sýomka.**

Hemme masştabdaky grawimetriki kartalary otwesyň gyşarmasy, beýiklikleriň anomalýalary we punktlaryň ortaça beýikligini hasaplamak üçin ulanylýar. Sýomkanyň ýerüsti, ýerasty, skwažinalaýyn, deňiz (donnaýa, podwodnyý, melkowodnyý), aerograwimetriki görnüşleri bar, olar grawimetrleriň, wariometrleriň we gradiýentometrleriň degişli görnüşleri boýunça geçirilýär. Sýomkany grawimetriki punktlaryň ýerlere paýlanylyşynyň häsiýetine görä ploşadnyýe we profilnyýe görnüşlere bölýärler. Ploşadnyý diýip, barlanylýan ploşadyň azoanomal agyrlyk güýjüniň wektorlaryň kriwiznalary kartasyny gurmaga mümkinçilik berýän, punktlaryň ýa-da profilleriň otnositel deň paýlanylmagy bilen geçirilýän grawimetriki sýomka aýdylýar. Eger-de profili boýunça gözegçilik punktlarynyň arasyndaky we profilleriň arasyndaky uzaklyk birmeňzeş bolsa deňölçegli, eger-de ol uzaklyklar birmeňzeş, bolmasalar deňölçegli däl diýilýär.

## **§3. Profil sýomkasy.**

Ölçemeleriň aýry çyzyklarynyň özara daşlaşmagynyň netijesinde diňe şol çyzygyň uzaboýuna anomalýesiniň gradiýentini ýa-da agyrlyk güýjüniň anomalýesiniň üýtgemegini almak mümkinçiligi bolandaka sýomka profil sýomkasy diýilýär. Profil sýomkasy uzyn geologiki obýektleri öwrenilende, baglama we interpretasiýanyň hilini ýokarlandyrmak üçin etalon uçastogynda ýokarytakykly profiller gurulanda we barmasy kyn bolan ýerleriň gözegçiliginde ulanylýar.

Hemme deňiz gözegçilikleriniň uýalanan bölegini profil sýomka bilen ýerine ýetirýärler. Grawimetriki gözegçilikler köplenç otnositel usul bilen ýerine ýetirilýär. Otnositel ölçegleri bir ulgama getirmek üçin, grawimetrleriň nul-punkta süýşmesine gözegçilik etmek we olaryň masştablaýyn

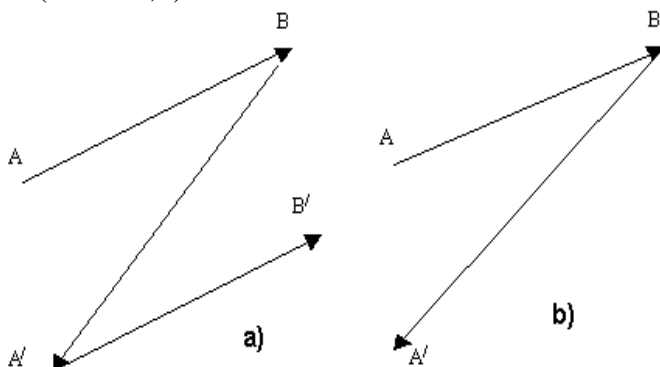
koeffisiýentlerini kesgitlemek üçin arasyndaky agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň tapawudy ýokary takyk mälim bolan grawimetriki ulgama eýe bolmak zerurdyr.

Şeýle punktlaryň sistemasyna daýanç grawimetriki torý diýip atlandyrylýar. Şu ýerden grawimetriki sýomkalar daýanç (opory) we hatar (rýadow) sýomkalara bölünýär. Daýanç grawimetriki torý dünýä daýanç torýndan, döwlet daýanç torlaryndan we ýerli (meýdan we hatar) daýanç torlaryndan durýar. Soňkular sýomkanyň başlanmagynyň oň ýanynda ýa-da bir wagtda döredilýär. Dünýä daýanç grawimetriki torý otnositel kesgitlemeleriň masştablarynyň we başlangyç milli absolýut bahalarynyň birligini üpjün etmek üçin zerur. Hemme otnositel kesgitlemeleri absolýut ulgama geçirmek üçin bir punktda absolýut kesgitleme bilen çäklenmek bolar. Toruň masştabyna anyklamak üçin birnäçe daýanç punktlaryň arasyndaky agyrlyk güýjüniň ýokary takykly kesgitlenmesi gerek.

Häzirki wagtda dünýä daýanç grawimetriki torý 1950-1960 ýyllar aralygyndaky köpsanly grawimetriki gözegçilikleriň esasynda emele gelen we deňlenen hem-de 1971 ýylda Moskwada geçen Halkara geofiziki we geodeziki soýuzyň XV general assambleýasynda ulanmagy hödürlendi. Tor 1971 ýylyň Halkara grawimetriki standart torý diýen ady aldy – MGSS-71 (JGSN-71) – The International gravity Standartization net) HGST-71 döretmek üçin Ýer şarynyň sekiz punktynyň absolýut kesgitlemeleri we 25 000 golaý agyrlyk güýjüniň tapawudynyň ölçegleri (olardan 400 golaýy maýatnik aragatnaşygy) ulanylandyr. HGST-71 setiň masştabynyň takyklygy  $5 \times 10^{-5}$  tertipli ululykda bahalandyrylýar. Bu punktlaryň islendiginde agyrlyk güýjüniň ýalňyşlygy 0,2 mGal-dan az bahalandyrylýar.

Milli grawimetriki daýanç torý aýratyn döwletleriň territoriýalarynda otnositel usul bilen döredilýär. Tor adatça Potsdamskoý ýa-da HGST-71 ulgamyň başlangyç punktynyň otnositel ýokary takyk kesgitlenen milli daýanç punktýndan

öşýär (ugur alýar). Ol poligon usuly bilen döredilýär. Biri-birine bagly bolmadyk birnäçe reýsler we birwagtda birnäçe abzallar bilen poligonyň her tarapynyň uzaboýuna gözegçilik edýärler. Bu usul köpgezekli-taraplaýyn ölçeg usuly diýip atlandyrylýar. Eger-de A we B daýanç torynyň punktlary, bu punktlaryň arasyndaky gözegçilikler şu shemalar boýunça alnyp barylýar: A-B-A'-B' (goşa halka, surat 15,a) ýa-da A-B-A' (surat 18,b).



**18-nji surat.**

Ölçemeleriň gutulgysyz ýalňyşlyklarynyň netijesinde agyrylyk güýjüniň ýapyk poligonyň uzaboýuna artmasynyň jemi nula deň däl, şonuň üçin gözegçilikleriň netijelerini deňleýärler. Deňlemäniň möhüm etapy agyrylyk güýjüniň tapawudy ölçenen terezileri oturtmak bolup durýar.

Döwlet grawimetriki daýanç torý I we II klasly torlardan durýar. I klasly tora maýatniki we grawimetriki punktlar, II klasly tora diňe grawimetriki punktlar girýär. Maýatniki punktlar 20% golaý I klasly daýanç toruny düzýärler. Islendik punktyň orta kwadratiki ýalňyşlygy Potsdam ulgamyna bolan gatnaşyga 0,033 mGal düzýär.

Aýratyn döwletleriň milli daýanç torlary gurluş usuly boýunça, takyklygy boýunça tapawutlanýarlar. Meýdan daýanç torý – bu hatarlaýyn reýslerde nul-punktyň süýşmesini hasaba almak üçin we sýomkany bir ulgama getirmek üçin hyzmat

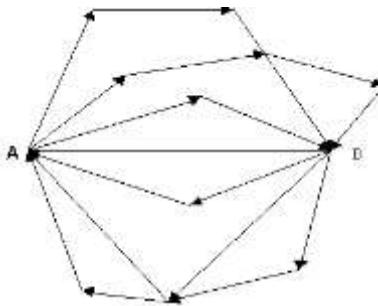
edýän ýokary takykly grawimetriki punktlaryň tory. Ol hatarlaýyn torlaryň setindäki gözegçilikleriň önünden ýa-da olar bilen bir wagtda döredilýär. Takyklygy boýunça ol hatarlaýyndan 1,5-2 esse artyklyk etmeli. Takyklygy ýokarlandyrmak iň gowy grawimetrleri we has taplanan usullaryny ulanmaklyk bilen amala aşyryp bolar.

Meýdan daýanç setini döretmek üçin köpgezekli – taraplaýyn ölçeg usuly ulanylýar, has amatly transport serişdelerini ulanmaklygyň hasabyna reýsleriň uzaklygyny kemeldýärler toryň deňlemesini ýerine ýetirýärler. Daýanç toruny poligonlar usuly bilen döredýärler ýa-da merkezi we iki basgançakly ulgamlar boýunça we esasy nokatlar metody ýerine ýetirilýär.

Meýdan daýanç toruny merkezi ulgam boýunça döredilende, ulgamyň merkezinde ýerleşen hemme daýanç torunyň punktlaryny gös-göni başlangyç daýanç punktlary bilen baglaýarlar. Daýanç punktlaryň agyrylyk güýjüniň tapawudynyň bahasyny başlangyç punktlara garaňda köpgezekli ölçemeleriň orta arifmetiki netijesi boýunça tapýarlar.

Daýanç torunyň ikibasgançakly ulgamyny gurmaklyk, karkas torunyň punktlaryna daýanýan reýsler bilen merkezi ulgam we daýanç punktlaryň dolduryjy torlary metodlary boýunça karkas daýanç toruny döretmekden ybaratdyr.

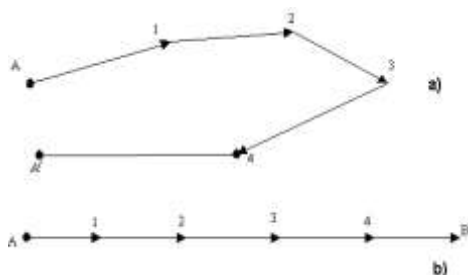
Esasy nokatlar metody boýunça gözegçilikler diňe haçanda daýanç tory haýsydyr-da bir sebäp boýunça hatar torunyň ölçeg geçirilende punktlarynda ýa-da daýanç torunyň dykzlygy ýetmezlik eden halatynda ulanylýar. Birnäçe reýsler bir punktda kesişende esasy nokatlar emele gelýärler. Meselem 19 suratda A nokat daýanç torunyň punkty B we C nokatlar birnäçe reýsleriň kesişýän ýeri ýagny goşmaça daýanç ýa-da esasy nokatlar Meýdan işleri gutarylandan soňesasy punktlaryň tory deňleşdirilýär we olary soňra nul-punktyň üýtgemesiniň düzedişini hasaplamak üçin daýanç punktlary hökmünde ulanýarlar. Meýdan daýanç torunyň punktlaryny I we II klasly Döwlet daýanç torunyň punktlaryna baglaýarlar.



### 19-njy surat.

Meýdan torunyň punktlaryny köp möhletleýin predmetler ýagny triangulýasion belgiler niwelirleme reperler bilen utgaşdyrýarlar. Ýerde ynamly berkidilen daýanç torunyň meýdan punktlary 3 klasly daýanç toruny düzýär. Grawimetriki daýanç torunyň punktlary geofiziki sýomkadaky geodeziki işleriň instruksiýasynyň talapnamasy boýunça berkidilýär. Her daýanç punktyna abris düzülýär. Hatar punkty agaç çyzygy ýa-da hemişelik predmetde ýazylan ýazgynyň kömegi bilen berkidilýär.

Hatar torunyň punktlarynda gözegçilik metodikasy grawimetriň nul-punktynyň süýşmesiniň hasaba alynmagynyň zerurlygy bilen baglaýarlar, şonuň üçin hem daýanç torunyň punktlaryna daýanýan aýry reýsler bilen gözegçilik edýärler.



## 20-njy surat.

Ölçmeleri daýanç punkta başlaýarlar hem-de gutarýarlar. Iki ýagdaý bolup biler: reýs şol bir daýanç punktyna daýanýar (sur. 20a) ýa-da reýs iki sany daýanç punktyna daýanýar (sur.20b).

Birinji halatda nul-punktyň üýtgemesiniň tizligi  $K$  şu formula boýunça hasaplanylýar.

$K = A' - A/t_2 - t_1$  Ikinji halatda  $K = B - A - (g_B - g_A)/t - t_1$  nirede  $A'$ ,  $A$ -grawimetriň  $A$  punktdaky  $t_1$  we  $t_2$  wagtdaky hasabaty (reýsiň başynda we soňunda),  $B$ - $t$  wagtdaky  $B$  punktda hasabat we  $g_A$ ,  $g_B$ - $A$  we  $B$  punktlarda agyrylyk güýjüniň bahasy.

Takyklygyna baglylykda gözlegler bir, iki ýa-da birnäçe grawimetrler bilen ýerine ýetirilip bilner. Hatar torunyň punktlarynda gözlegleriň işläp taýýarlanmasy grawimetriň hasabatynyň düzetmeleriniň hasaplanylmagyna getirilýär: 1)grawimetriň hasabat şkalasynyň göni çyzykly däl; 2)temperatura üçin; 3)agyrylyk güýjüniň üýtgemesiniň toplanmasy; 4)nul-punktyň üýtgemesi üçin. Şu sanalan düzedişleriň içinden iň wajyp düzediş bu nul-punktyň üýtgemesi. Ony şu formula boýunça hasaplaýarlar  $\Delta g_K = - K(t - t_0)$  nirede  $t - t_0$ -reýsiň başyndan wagt aralygy. 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 dolandýrmak we takyklygyna baha bermek üçin umumy kesgitlenýän punktlaryň göwrüminden 5-10% barlag ölçemelerini ýerine ýetirýärler. Barlag gözegçiliginiň netijesi boýunça agyrylyk güýjüniň tizlenmesiniň birlik tapawudynyň orta kwadratiki ýalňyşlygyny  $\sigma$  şu formula boýunça kesgitlenilýär.

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

$\delta$  - barlag punktyndaky iki sany gözegçiligiň arasyndaky tapawut,  $n$  - barlag punktlaryň sany.

#### **§4. Topografo-geodeziki işler.**

Grawimetriki punktlaryň giňişlikdäki koordinatalary diňe punktlary kartanyň ýüzüne geçirmek we katalogyny düzmek üçin gerek bolman olar agyrylyk güýjüniň anomaliýesiniň sýomkalarynyň soňky netijesini almak üçin hem gerekdir. Şonuň üçin hem topografo-geodeziki işler grawimetriki sýomkanyň aýryp bolmaýan bölegi bolup durýar. Olar şulardan ybaratdyr ýagny proýekti aýdyň şekiline geçirmek, meýdanda grawimetriki punktlary berkitmekde, koordinatalary we beýiklikleri kesgitlemekde. Olaryň beýiklikleri abzallaýyn kesgitlenende umumy grawimetriki sýomkanyň bahasynyň 2/3 bölegini düzýär (daýanç punktlary kesgitlenende ulanylýan awiatransport hasaba alynmazdan başga).

Kesgitlenen koordinatalaryň we beýiklikleriň ýalňyşlyklary anomaliýany kesgitlemegiň takyklygyna täsir edýärler. Koordinatalary kesgitlemegiň gerek bolan takyklygy hasabat kartanyň masştabyna görä kesgitleýärler. Meselem 1:200 000 masştably kartada koordinatalaryň takyklygynyň ahyrky çägi 0,8 mm düzüp meýdanda olar 160 m düzýär.

Agyrlyk güýjüniň normal bahasy geografiki giňligiň funksiýasydyr. Orta giňliklerde meridian boýunça 1 km ýerini üýtgedeniňde agyrlyk güýjüniň bahasy takmynan 0,8 mGal üýtgeýär. Şulardan ugur alyp koordinatalaryň kesgitlenmesiniň takyklygynyň rugsat normalary görkezilýär we şoňa bagly agyrlyk güýjüni kesgitlemegiň ýalňyşlyklary bahalandyrylýar. Barmasy kyn bolan raýonlarda sýomka geçirilende koordinatalary kesgitlemek üçin aerofotosýomkanyň materiallary ulanylýar, nirede 300 m çenli ýalňyşlyk goýberilýär.

Agyrlyk güýjüniň anomaliýesiniň takyklygy öwrenilende beýiklikleriň kesgitlenmesiniň ýalňyşlygy örän uly rol tutýar. Bu ýalňyşlyklar grawisýomkada örän wajypdyr. Bugeniň anomaliýesi hasaplananda 1 m ýalňyşlyk anomaliýada 0,21 mGal ýalňyşlyk berýär. Sýomka halatynda her 2 mGal izoanomal kese-kesikli kartany gurmakda rugsat edilen ýalňyşlyklar anomaliýe üçin  $\pm 0,8$  mGal, beýiklik üçin  $\pm 2,5$  m düzýär. Bu beýikligiň ýalňyşlygy anomaliýada  $\pm 0,52$  mGal ýa-da hemme rugsat edilen ýalňyşlyklaryň 65 % tutýandygyny aňladýar.

Beýiklikleri eýýäm belli bolşy ýaly niwelirleme metody bilen kesgitlenilýär. Ýagny ol metodlar şular ybarat: 1) tehniki; 2) taheometriki ýa-da beýiklik teodolit hodlary; 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 newýazka 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. Newýazka x aralyga proporsional paýlanylýar, şonuň üçin hem düzetme  $\mu$  ýoluň häzirki, nokadyna şu deňleme boýunça tapylýar  $\mu = \frac{f}{1} x$  Şu halatda orta kwadratiki ýalňyşlygy  $m_H$  orta integral berýär

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

Bulardan şu gelip çykýar  $m_H = 0,53$  f. Integral formulanyň esasynda  $m_H$  bahasy boýunça rugsat berlen newýazkany  $f$  tapyp bolar ýagny  $f = 1,72$  m<sub>H</sub>.

Tehniki we taheometriki niwelirlemäniň ýalňyşlyklary grawimetriki ýalňyşlyklara garanynda ýygnama häsiýetine eýedir. Eger iki nokadyň arasyndaky beýgelme ölçenilende ýalňyşlyk goýberilen bolsa, onda şol ýalňyşlyk beýleki punktlaryň beýgelmeleriniň içine girer.

Newýazka  $f$  punktlara-reperlere baglanan nowelir ýolunyň hemme artdyrmalarynyň we beýgeltmeleriniň ýalňyşlyklarynyň algebraik jemidir.

Barometriki niwelirleme az özleşdirilen we barmasy kyn bolan raýonlarda ulanylýar we beýgeltmeler kesgitlenende orta kwadratiki ýalňyşlygy  $\pm 1$  m düzýär.

## **§5. Grawimetriki kartalary gurmak.**

Grawimetriki kartalaryň düzülişi şu aşakdaky esasy etaplardan düzülýär: kartanyň masştabynyň we kese-kesiginiň saýlanmagy; agyrlyk güýjüniň anomaliýesini bir sistema getirmek; aralyk gatlagynyň dykzlygynyň saýlanmagy; anomaliýeleri interpolirmek we kartany gurmak.

Kiçi masştably grawimetriki kartalar aýry döwletleriň we kontinentleriň territoriýasynda düzýärler. Şolary döretmek üçin dürli halkara başlangyç punktlara görä ýerine ýetirilen grawimetriki sýomkalary peýdalanýarlar. Anomaliýeler hasaplananda her-hili normal formulalar peýdalanýlaýr. Bir normal formuladan beýleki normal formula geçmek rugsat edilýär. Uly masştably grawimetriki kartalary bir döwletiň

çäginde ýerine ýetirilen jikme-jik sýomkanyň materialy boýunça düzýärler. Bu ölçemeleriň netijelerini bir ulgama getirmeklik hökümet daýanç toryna baglamak bilen üpjün edilýär.

Kartanyň masştabyny we kese-kesigini saýlamak sýomkanyň dykzlygy, anomaliýanyň ýalňyşlygy we grawitasion meýdanyň çylşyrymlylygy boýunça kesgitlenilýär. Grawimetriki sýomkanyň netijeleriniň geologiki interpretasiýasy üçin aralyk gatlagynyň saýlanyp alnan dykzlygyna bagly bolan Bugeniň anomaliýesini ulanýrlar. Türkmenistanda aralyk gatlagynyň dykzlygy  $2,3 \text{ G/sm}^3$  deň diýlip alnap.

Halkara razgrafki trapesiýalar boýunça grawimetriki kartalary gurýarlar. Karta kesilen topografiki ýagdaýy we agyrylyk güýjüniň anomaliýasynyň bahalary ýazylyan grawimetriki synlamalaryň punktlaryny çekýärler. Çyzykly interpolýasiýa bilen iki goňşy punktlaryň arasyndaky nokatlary belleýärler we olardaky anomaliýe Kn deňdir. (K-bütün san, n-kartanyň kese-kesigi). Soň deň bahaly anomaliýeli nokatlary birsydyrgyn çyzyk ýagny izoanomal bilen birleşdirýärler we osifrowywaýut.

Kartanyň gurulmagynyň takyklygy interpolýasiýanyň ýalňyşlygy boýunça kesgitlenilýär (M.S.Molodenskomu). Interpolýasiýanyň ýalňyşlygyny E şu formula boýunça tapýarlar

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

nirede  $\Delta q_{\text{int}}$  – interpolirlenen,  $\Delta q_i$  - anomaliýanyň nokatda ölçenen aňlatmasy, **n**-nokatlaryň sany.

## **§6. Ýeriň grawimetriki sýomka arkaly öwrenilenligi.**

Ýeriň grawitasion meýdanynyň öwrenilenligini bahalandyrylanda standart trapesiýadaky anomaliýanyň orta bahasy ulanylýar:  $1^\circ \times 1^\circ$  we  $5^\circ \times 5^\circ$ . Trapesiýa grawimetriki taraplaýyn öwrenilen diýlip aydylýar haçanda trapesiýanyň çäginde haýsy hem bolsa bir grawimetriki punkt bar bolsa.

Grawimetriki taraplaýyn Ýer deň ölçegsiz öwrenilendir. Materikler (Antarktidadan we Afrikanyň az-kem ýerlerinden başga) doly  $1^\circ \times 1^\circ$  trapesiýa boýunça ölçenilendir. Dünýä ummanynyň üsti ýeterliksiz ölçenendir. Deňiz sýomkalary bilen Orta ýer deňizi, Demirgazyk Atlantika, Hindi we Ýuwaş ummanynyň demirgazyk bölekleri örtülendir.

Materikleriň uly bölegi demirgazyk ýarymşarda ýerleşenligi sebäpli. Demirgazyk ýarymşarda günorta ýarymşara garanyňda materikleriň uly bölegi ýerleşenligi sebäpli olaryň öwrenilenliginiň prosenti örän uly we 80 % düzýär. Umuman Ýer üçin 59 % birgradusly trapesiýa düzülendir. Häzirki zaman Dünýä grawimetriki sýomkasy Ýeriň figurasyny grawimetriki ýol bilen kesgitlemek üçin ýeterliksizdir.

## VIII BAP. Grawimetriýanyň geodeziýada we geologiýada ulanylşy.

### §1. Geodeziýada ulanylşy.

Grawimetriýanyň ulanylşy aşakdaky meseleleri çözmäge degişlidir:

- ýer sferoidiniň gysylmasyny kesgitlemek;
- geoidiň formasyny (şekilini) ölçeglerini kesgitlemek;
- Astronomo-grawimetriki niwelirleme ýoly bilen ýer geoidiniň formasyny (ölçeglerini) kesgitlemek;

Grawimetriki maglumatlaryň kömegi bilen asmanyň gysarmasyny kesgitlemek.

Agyrlyk güýjüni ilkinji sapar kesgitlenen döwürden başlap, grawimetriýanyň Ýeriň formasyny öwrenmekde uly ornunyň bardygy aýan boldy. Meselem 1743 ýylda Kleroň teoremasy arkaly, Ýeriň gysylmasy bilen agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň arasyndaky baglylyk aňladyldy. Klero Ýeriň dereje üstiniň gurluşynyň ondaky agyrlyk güýjüniň paýlanyşygyna baglylygyny anyklady.

Klero öz teoremasynda Nýutonyň birmeňzeş Ýer üçin güýç meýdanynyň subutnamasyny giňelttdi. Aýlanýan birmeňzeş ideal suwuklygyň deňagramlylyk figurasy (şekili) – bu kiçi gysylmaly aýlanma ellipsoidini ol anyklady. Bu figura (şekil) birmeňzeş däl massalardan düzülen Ýere hem mahsusdyr, egr-de dykzlyk her bir sferoidiki gatlagyň içinde hemişelik bolup galýan bolsa. Bu bolsa biziň Ýer baradaky aň ýetirmekligiň ikinji ýakynlaşmasydyr.

Klero agyrlyk güýji bilen nokadyň ellipsoidiniň üstünde ýerleşiş ýagdaýynyň arasyndaky arabaglanyşygy kesgitledi. Bu aragatnaşyk aşakdaky görnüşe eýedir.

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

Birinji deňleme agyrlyk güýjüniň ýeriň  $\varphi$  giňligiň funksiýasydygyny görkezýär. Onda  $g_e$ - ekwatorial hemişelik.

Ol agyrlyk güýjüniň ekwatordaky güýjenmesine deňdir, ýagny,  $\varphi = 0$  bolandaky bahasy;  $\beta$  - agyrlyk güýjüniň polýusdaky bahasynyň artmasynyň agyrlyk güýjüniň ekwatordaky bahasyna gatnaşygyna deňdir;  $\alpha$  - gysylma derejesi ululyk bize eýýäm tanyşdyr.

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

Ol ekwator üçin merkezden daşlaşma güýjüniň agyrlyk güýjüne gatnaşygyna deňdir. Bu teorema grawimetriýanyň fundamental teoremasydyr. Ol Ýeriň gysylmasy bilen grawitasion meýdanyň güýjenmesi bilen baglanyşygyny görkezýär. Onuň kömegi bilen agyrlyk güýjüniň ölçemeleri belli bolanda gysylmany hasaplamak mümkin. Başgaça aýdanyňda iki nokatda agyrlyk güýjüniň güýjenmesiniň bahasyny bilip  $g$  üçin iki deňleme düzmek mümkin. Deňlemeleriň kömegi bilen  $g_e$  we  $\beta$  hasaplamak mümkin. Soňra tapylan  $\beta$  we  $q$  ululyklar boýunça  $\alpha$  gysylmany hasaplaýarlar. Ýeriň burç tizligi  $\omega$  belli, uly ýarym oka hem geodeziki ölçemelerden bellidir,  $g_e$  - tapylandyr.

Hakykatdan bolsa mesele has çylşyrymlydyr. Ýer massalaryň dogry paýlanyşygyna eýe däl, şonuň üçin agyrlyk güýji ideal ýagdaýdakydan başga hili üýtgeýär. Her sapar  $g_1$  we  $g_2$  jübüt üçin täze çözüw alarys. Ähli Ýer üçin gabat gelýän  $\alpha$  aňlatmasyny tapmak üçin Ýeriň ähli meýdany boýunça agyrlyk güýjüniň kesgitlemeli we ähli ölçenen  $g$  boýunça deňlemeler düzmeli. Bu deňlemeler sistemasyny  $g_e$  we  $\alpha$  görä kiçi kwadratlar usuly bilen çözüp umumy Ýer üçin iň oňaly  $\alpha$  gysylmany taparys. Bu prinsipe grawitasion meýdanyň kömegi bilen Ýeriň formasyny kesgitleýän häzirki zaman usullar daýanýarlar.

Geoidiň figurasyny kesgitlemek mümkinçiligi Stoks atly alymyň teoremasyna esaslanýar. 1849 ýylda Stoks teoriýanyň çäklerini has giňeldip Ýeriň figurasynyň massalaryň paýlanyşygyna bagly däl nazaryetini döretdi.

Öňden belläp geçişimiz ýaly Nýutonyň nazaryetiniň çuň manysy Ýere deňişli edilip alnan bütindünýä dartyлма kanundadyr. Ýeri polýuslarda düşýän we ekwatorda süýündirýän merkezden daşlaşma güýjüni göz önünde tutup Nýuton güýçleriň täsiri astynda erkin akyp geçýän, birmeňzeş düzümlü ideal suwuklykdan duran Ýeriň aýlanma ellipsoidiniň şekiline eýe boljakdygyny aýtdy. Ol şeýle ellipsoidiň gysylmasyny ýagny  $\alpha = (a - b)/a = 1/230$  hasaplady, bu ýerde **a** –ekwatoraky radius, **b** - polýar radius. Stoks şeýle hem ters meseläni öňe sürdi: belli bolan güýç meýdany boýunça ähli massalary öz içine alýan dereje üsti tapmak. Emma bu mesele praktiki taýdan çözüwsizdir. Stoks hususy ýagdaý üçin, ýagny, aýlanma ellipsoidine ýakyn kiçi gysylmasy Ýer üçin hususy çözüwi tapdy.

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

Bu ýerde:  $\gamma_0$  - agyrylyk güýjüniň sferoid şekilli. Ýer üçin bahasy  $g_0 - \gamma$  - agyrylyk güýjüniň hakyky we orta bahalary,  $g_0 - \gamma_0$ -agyrylyk güýjüniň anomaliýalary.

$s(\psi)$  - nokatdan  $\psi$  polýar aralygyň käbir funksiýasy, onda  $\xi$  aňlatma gözlenýär. R-Ýeriň orta radiusy. Jem alnanda (goşulanda) Ýer boýunça deň paýlanan  $g_0 - \gamma_0$  anomaliýalary bolmek zerurdyr. Geoidiň  $\xi$  beýikligini bilmek üçin Ýeri meýdanlara bölmeli, bu meýdanlarda  $g_0 - \gamma_0$  anomaliýalary ölçäp, Stoksyň funksiýasyny  $s(\psi)$  hasaplar çykarmaly.

Stoksyň formulasy alnandan soňra **geoid** atly dereje üsti gurmak mümkinçiligi döredi. Bu bolsa geodeziki meseleleri çözmek üçin grawimetriýa ulanylmagyna uly dykyzlanma döretdi.

Şeýlelik bilen agyrylyk güýjüniň ölçenen aňlatmalary elipsoidiň gysylmasyny – Ýeriň figurasynyň birinji ýakynlaşmasyny we geoidiň bu ellipsoidden tapawudyny üçünji ýakynlaşmany kesgitlemäge mümkinçilik berýärler.



## § 2. Geologiýada ulanylyşy.

Grawimetriýanyň geologiýada ulanylmagy, onuň kömegi bilen geologiki-gözleg meselelerini çözmek (grawimetriki gözleg) bagly bolýar. Ol agyrylyk güýjüniň anomaliýalarynyň Ýer gabygynyndaky dykzlyklaryň paýlanyşygy bilen baglydygyna esaslanýar. Grawitasion meýdanyň gözleg meýdanyndaky şekilini bilip anomal grawitasion meýdanyň gurluş häsiýetine baglylykda bu anomaliýalary emele getirýän ýer gabygynyndaky birmeňzeş däl dykzlykly gatlaklaryň barlygyny kesgitleýän bolýar.

Anomal grawitasion meýdanyny kesgitleýän esasy faktorlara aşakdakylar degişlidir.

- 1) Ýer gabygynyň kuwwaty ýagny Mohorowiçiň araçaginiň relýefi we gabykasty maddanyň dykzlygynyň üýtgemegi.
- 2) Çökündi gatlaklaryň granit we bazalt gatlaklaryň kuwwatlarynyň aragatnaşygy, ýagny, olaryň üçekleriniň relýefi.
- 3) Dykzlyk häsiýetnamalary, ýagny, çökündi gat, petrografiki düzümiň we tektoniki gurluşyň üýtgemeleri.

Grawimetriki maglumatlaryň interpretasiýasy hil we mukdar taýdan hem geçirilýär.

**Hil interpretasiýasy** – berlen regiona degişli bolan ähli geologiki we geofiziki maglumatlar boýunça we grawitasion meýdanynyň gurluş häsiýetlerine baglylykda tektoniki raýonlaşdyrma geçirmegi göz önünde tutýar. Iri planda a<sub>1</sub>g<sub>1</sub>-ň regional anomaliýalaryň paýlanma häsiýeti ýer gabygynyň ösüşiniň dinamikasyna baha berýär. Gözlenýän jisim bilen ony özünde saklaýn jynslaryň arasynda dykzlyk tapawudyň bolmagy grawirazwedkanyň netijelidiginiň esasy şertidir.

**Mukdar interpretasiýasy** - bu gözlenýän massalaryň grawimetriki maglumatlaryň kömegi bilen san häsiýetnamalaryny almakdyr. Olara ýatma çuňlugy, formasy, agyrylyk merkeziniň koordinatalary, anomal massalaryň

bölünme çäkleri degişlidir. Bu meseläni ýeketäk çözüwi bardyr. Grawimetriki maglumatlaryň mukdar interpretasiýasy iki topar operasiýalara bölünýär:

- Ýer gabygyny düzüminiň birmeňzeşdalligi bilen şertlendirilen gözegçilik geçirilen grawitasion meýdanyň anomaliýalaryny düzüji animaliýalara bölmek. Düzüji anomaliýalaryň her biri haýsy bolsa hem bir düzüm gatlagyň (etažyň) dykzlygyň birmeňzeşdalligi bilen şertlenýär.
- Jemleýji ýa-da bölek anomaliýalar boýunça **gyşardyjy** (wozmuşaýuşyýe) jisimleriň gurluşyny kesgitlemek, ýagny, ölçeglerini şekilini we ýatma çuňlugyny kesgitlemek.

Köplenç gözegçilik edilen anomaliýalary çuňlukda ýatan massalaryň grawitasion effekti bilen şertlendirilen regional anomaliýalara we lokal (galyndy) anomaliýalara bölýärler, bu anomaliýalar ýüzde ýerleşen çökündi gatlagyň gurluşy bilen şertlendirilýär. Bu bolsa ähli anomaliýalaryň içinden özüni dykzlandyrýan anomaliýalary saýgarmagy başarmaklygyň zerurçylygynyň emele gelmegine getirýär.

Grawitasion meýdany lokal we regional düzüjilere bölmek işi meýdany transformasiýanyň dürli usullary bilen ýerine ýetirilýär. Transformasiýanyň esasy manysy päsgel berýän maglumatlary ýatymaga we peýdaly maglumatlary aýdyň ýüze çykarmaga ugrukdyrylan "filtrasiýa prinsipidir". Transformasiýa usullarynyň dürli-dürli görnüşleri köpdür, olaryň içinde ýönekeý we tejribede köp ulanylýanlara aşadakilara degişlidir.

Çyzyklaýyn regional fony aýyrmak we ortalaşdyrylan grawitasion kartanyň kömegi bilen fony aýyrmak. Meýdanlar boýunça ortalaşdyrma usuly bilen lokal anomaliýalary saýgarmak. Gradiýentleri ortalaşdyrma usuly bilen grawitasion meýdanlary saýgarmak. Lokal anomaliýalaryny potensialyň ikinji önümine geçirmek usuly bilen lokal anomaliýalaryny

saýgarmak. Grawitasion anomaliýalary beýiklik boýunça potensialyň üçünji önümine hasap bilen geçirmek usuly bilen meýdanlary bölmek.

Meýdany regional we lokal düzüjilere bölmek usullarynyň in çylşyrymylarynyň birine korellasion usullaryň kompleksi degişlidir.

Geologiki gurluş bilen agyrylyk güýjüniň arasyndaky baglylygy bilmek üçin dürli jynslarynyň dykzlygy we onuň geologiki emele gelmelerde üýtgame kanuna laýykly soragynyň uly orna eýedigini biz belläp geçipdik. Öňden bilişimiz ýaly dag jynslary çökündi jynsyna metamorfik we izweržennyý toparlara bölünýärler, bu toparlar dykzlygy we litologiki düzümi boýunça tapawutlanýarlar. Şol bir wagtyň özünde dürli emli emele gelen dag jynslary birmeňzeş gurluşa eýedirler.

Goý  $\sigma_1$ -anomal jisimiň dykzlygy,  $\sigma_0$ -süýşüren dag jisimleriniň dykzlygy. Onda  $\sigma = \sigma_1 - \sigma_0$  tapawuda **artykmaç** ýa-da anomal dykzlyk diýilýär. Bu dykzlyk otrisatel hem položitel bolup bilýär.  $\sigma_1$  we  $\sigma_2$  dykzlyklar anomal jisimiň daş töwereginde hemişelik bolmaýarlar. Interpretasiýa üçin anomal meýdanyň anomal dykzlygynyň şertlendirilen bölegini ulanýarlar.

Gözegçilik edilen anomaliýalaryny, ýagny, Bugeniň anomaliýalaryny  $\Delta g$  üsti bilen belläp we beýleki faktorlaryň şertlendirýän c täsiri aýryp. Şeýle hem c täsiri anomal meýdanyň çäginde hemişelik diýip kabul edip alarys  $V_z = \Delta g - c$ .

$V_z$  ululygy anomal jisimi tarapyndan emele getiren, geologiki gurluşda dykzlyk birmeňzeşdälligi emele getirýän massalaryň dartyлма güýjüniň wertikal düzüjisi hökmünde seretmek mümkin. Şundan  $V_z$  bahalary boýunça  $\delta$  dykzlykly massalaryň paýlanyşygyna kesgitlemek mümkinçiligi ýüze çykýar. Ýeriň ýüze bu ýagdaýda gorizontalk tekizlik hökmünde kabul edilýär.

Interpretasiýanyň mukdar usullary grawirazwedkanyň **göni** we **ters** meseleleriniň çözüwidir. Göni meseläň mazmuny

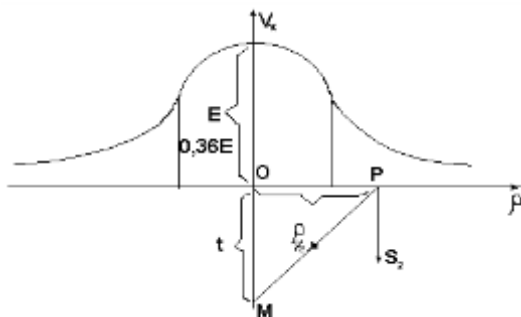
parametrleri belli bolan, anomal jisim tarapyndan ýüze çykarýan  $V_z$  anomaliýanyň aňlatmasyny kesgitlemekden durýar. Beýle meseläniň ýeketäk çözüwi bardyr. Şeýle hem teoretiki bilen gözegçilik edilip alnan grafikleri deňeşdirmek bilen ekspress çözüwleriň alynmagy mümkin. Bu maksatlar üçin dogry geometriki figuralara degişli bolan grafikleriň albomy döredilendir. Jisimler erkin formaly bolanda hasaplamalar EHM-lerde ýa-da paletkalaryň kömegi bilen ýerine ýetirilýär.

Ters meseläň mazmuny boýunça gözegçilik edilen  $V_z$  anomaliýanyň aňlatçalaryna görä geologiki obýektiň parametrlerini (massasyny, ýatma çuňlugyny we formasyny) kesgitlemekdir. Dykzylyk bu ýagdaýda belli hasaplanýar. Umumy ýagdaýda ters mesele çözügsiz hasaplanýar, ýagny, köp dürli-dürli çözügütlerdir. Şol sebäpli ony üstünlikli çözmek üçin gözegçilik edilýän meýdana degişli öňden barlanylmadyk maglumatlary ulanmak zerurdyr.

Birmeňzeş düzümlü şaryň mysalynda göni we ters meseläň çözülişine seredeliň.

Ýeriň üstüni gorizontalk tekizlik hökmünde kabul edýäris. Goý şaryň merkezi  $t$  çuňlukda ýatan bolsun.(sur.18).

## 18-nji surat.



Anomal massany  $M$  üsti bilen belläp,  $O$  episentrden  $\rho$  aralykda ýerleşen erkin nokadyň  $V_z$  dartylmasynyň dik düzüjisini  $V_z$  aşakdaky formula bilen taparys.

$$V_z(\rho) = G \frac{M}{\rho^2 - t^2} \cos(r, z) \quad \cos(r, z) = \frac{t}{\sqrt{\rho^2 + t^2}} \text{ bolýanlygy üçin}$$

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

Bu ýerden:  $V_z \rho = 0$  bolanda iň uly baha eýe bolýandygy görünýär. Bu bahany  $E$  bilen belläliň. Diýmek  $E = GM/t^2$  (1.87)

$\rho$  ululygyň ulalmagy bilen  $V_z$  ululyk nola asiptotiki ýakynlaşmak bilen kiçelýär.

$P = t$  bolanda  $V_z = 0,36 E$  we  $\rho = 2t$  bolanda  $V_z = 0,09 E$  bolýandygyny belläp geçmek peýdalydyr.

(1.86) formulany ulananda uly sanlar bilen işlemek maksady bilen  $M$  ululygy garmmlarda, uzynlyklary santimetrlerde aňlatmalydyr. Eger-de  $E$  eýýäm belli bolsa ýa-da gözegçiliklerden hasaplanan bolsa,  $V_z$  ululygy  $E$ -ň üsti bilen aňlatmaly. Bu maksat bilen zerur formulany tapmak üçin (1.86) we (1.87) deňlemelerden  $GM$  aňlatmany ýok etmeli. Onda

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

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

Bu ýagdaý üçin  $V_z(\rho_{1/2}) = 0,5E = GM \frac{t}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}}$

(1.87)

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

$$\frac{1}{t^2} = \frac{2t}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} \text{ deňlemeden taparys } t = 1,305\rho_{1/2}$$

t ululygy bilip M massany kesgitlemek mümkin. (1.87)  
laýyklykda alarys  $M=Et^2/G$ . Şaryň radiusyny hem kesgittläň  
 $M=4\pi R^3\sigma/3$  bolany üçin, E-ni mGal-da we R, t- ululyklary

$$\text{metrde aňladyp alarys } R = 3,3\sqrt[3]{\frac{Et^2}{\sigma}} \quad (1.88)$$

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 edildi.

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

## Peýdalanylan edebiýatlar

1. Saparmyrat Türkmenbaşy. Ruhnama. Aşgabat, 2001.
2. Saparmyrat Türkmenbaşy. Ruhnama. Ikinji kitap. Aşgabat, 2004.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
4. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Umumymilli "Galkynyş" Hereketiniň we Türkmenistanyň Demokratik partiýasynyň nobatdaky daşary V gurultaýlarynyň bilelikdäki mejlisinde sözlän sözi. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Eserler ýygyndysy. 1-nji tom. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidentiniň "Obalaryň, şäherçeleriň, etrapdaky şäherleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin" Milli maksatnamasy, Aşgabat, 2007.
7. "Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry" Milli maksatnamasy, "Türkmenistan" gazetiniň, 2003-nji ýyl, Alp Arslan aýynyň 27-si.
8. Д.Г. Успенский. Гравиразведка. Москва. «Недра».- 1968г.
9. В.С. Миронов. Курс гравиразведки. Москва. «Недра».-1970г.
10. А. Граф. Гравиметрия. М. Геодезиздат. 1961г.
11. Б.А. Андреев. Курс гравитационной разведки.М.-Л., Госгеолтехиздат. 1941г.

## MAZMUNY

Sözbaşy.....	7
Giriş.....	7
<b>I-nji BAP.</b> Ýeriň grawitasion meýdanynyň teoriýasy.....	10
§ 1. Çekiş güýji we ikinji proizwodniniň potensialy.....	10
<b>II-nji BAP.</b> Agyrlyk güýjiniň absolýut ölçemeleri.....	23
§ 1. Erkin gaçýan jisim usuly.....	28
§ 2. Ýeriň normal grawitasion meýdany.....	30
§ 3. Anomal grawitasion meýdan.....	33
§ 4. Agyrlyk güýjüniň tizlenmesini we onuň potensialynyň ikinji önümini ölçemeginiň usullary.....	37
<b>III-nji BAP.</b> Maýatnikli abzallar bilen agyrlyk güýjüniň otnositel ölçenişi.....	41
§ 1. Maýatnikli abzallar.....	42
§ 2. Punktdaky gözegçilik we alnan maglumatlaryň üstünde işlemek.....	43
§ 3. Maýatnikli ölçemeleriň netijeleri.....	44
§ 4. Alnan netijeleriň takyklygyna baha bermek.....	44
<b>IV-nji BAP.</b> Grawimetriýada agyrlyk güýjüniň otnositel ölçemeleri. ....	45
<b>V-nji BAP.</b> Agyrlyk güýjüniň deňizde we howada ölçenişi...55	
§ 1. Agyrlyk güýjüniň deňizde ölçenişi.....	55
§ 2. Etweşiň effekti (täsiiri).....	59
§ 3. Deňiz grawimetriki sýomkasy.....	60
§ 4. Agyrlyk güýjüniň howada ölçenmesi.....	62
<b>VI-nji BAP.</b> Agyrlyk güýjüniň potensialynyň ikinji önümlerini ölçemek.....	64



<b>VII-nji BAP.</b> Wagt aralygynda agyrlyk güýjüniň üýtgemelerini öwrenmek.....	69
§1. Grawimetriki sýomkanyň usuly.....	78
§2. Bölekleýin sýomka.....	79
§3. Profil sýomkasy.....	79
§4. Topografo-geodeziki işler.....	85
§5. Grawimetriki kartalary gurmak.....	87
§6. Ýeriň grawimetriki sýomka arkaly öwrenilenligi.....	89
<b>VIII-nji BAP.</b> Grawimetriýanyň geodeziýada we geologiýada ulanylşy.....	90
§1. Geodeziýada ulanylşy.....	90
§2. Geologiýada ulanylşy.....	93