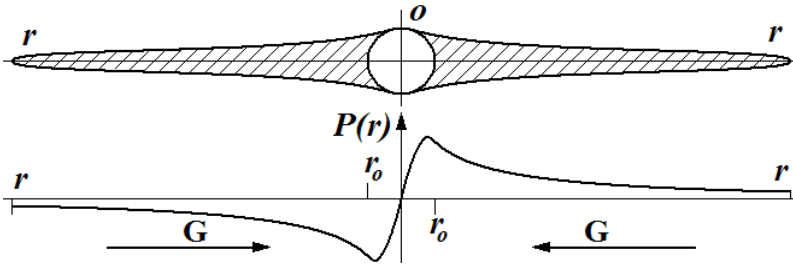
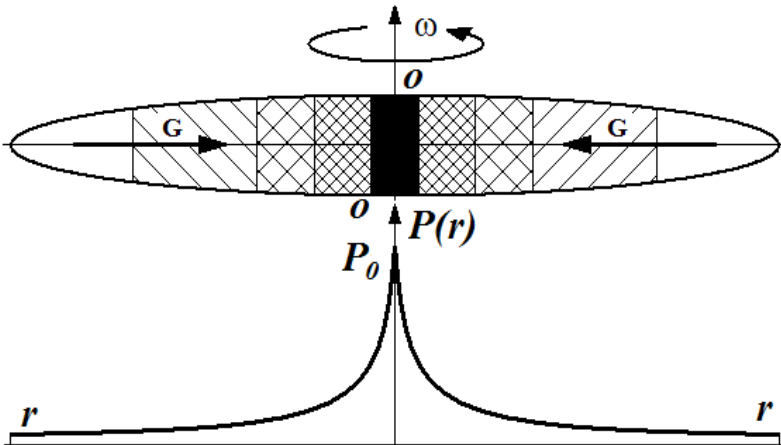


BƏYLƏR ASLANOV



QRAVİ-KƏŞFİYYAT KURSU (I hissə)



BAKI - 2011

VVK83.3 AZ

QRAVİ-KƏŞFİYYAT KURSU

B.S.Aslanov Bakı, ADNA-nın Nəşriyyatı, 2011, 132

səhifə.

Bu kitab Azərbaycanda qravimetriya (qravi-kəşfiyyat) fənni üzrə müstəqil dərs vəsaitinin olmamasına görə nəşr olunmuşdur. Kitabda müəllif mərhum professor Əmiraslanov Tanrıqulu Sadıx oğlunun müzahirələrindən bilavasitə istifadə etmişdir. Burada qravimetriyanın yaranması tarixindən başlayaraq ən müasir qravimetrik metodlar qısaca olaraq əhatə olunmuşdur. Əsasən Bakı Dövlət Universitetində «geofizik-seysmoloq» və Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasında «dağ mühəndisi-geofizik» ixtisasları üzrə təhsil alan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur. Ancaq müəllif əmindir ki, burada qravi-kəşfiyyat fənninə aid olan və açıq şərh olunmuş bir çox izahatlar alim və mütəxəsislər arasında geniş oxucu kütləsini özünə cəlb edəcək. Hər hansı bir mülahizə üçün müəllif əvvəlcədən öz minnətdarlığını bildirir. Hər bir məsləhət və tövsiyələri müzakirə etməyi və nəzərə almağı müəllif öz üzərinə götürür.

**Kitab geologiya-mineralogiya elmləri doktoru,
mərhum professor Tanrıqulu Sadıx oğlu
Əmiraslanovun əziz xatirəsinə ithaf olunuub.**



**„Allah-dan gəlir Sən-ə hər yaxşılıq,
öz ucbatından gəlir Sən-ə hər pislik...“
Qura'n-i Kərim, Nisə Surəsi, 79-cu a'yə.
(mərhum akademik Ziya Bünyadovun tərcüməsindən)**

*Bismi-llahi-r-rahmani-r-rahim, yəni Rəhman və Rəhim
ALLAH-ın adıyla...*

E P İ L O Q

„MÜƏLLİM“ adı yüksəkdir! Bu yüksəkliyin əlçatmaz zirvələri fəth olunmazdır. Həyatda nə qədər çalışıb-çarpıssan da, nə qədər uğurlar qazansan da müəllimin yeri daima görünür. Onu axtarırsan, istəyirsən ki, bu fani dünyanın çeşməkeşlərindən aldığı həzzi və iztirabı onunla bölüşsən.

Hər bir insanın həyatında müəllimlər xüsusi yer tutur. Ancaq müəllimlər arasında birinin yeri daha müqəddəsdir, yenilməzdir, əvəzolunmazdır. Ən təsirli məqam isə, qüssəli və qəmgin olsa da, həmin müəllimin həyatdan cavan getməsidir. Şübhəsiz bütün insanlar gec və ya tez ALLAH dərgahına pənah aparır – ilk və sonuncu dəfə... Bu gedişlə də əbədi xatirələrə həkk olunurlar – Tanrıqulu müəllim kimi... O, çox cavan yaşında elmlər doktoru alimlik dərəcəsinə, professor elmi adına layiq görülmüşdü, lakin amansız ölüm onu bizdən tez apardı.

Onun həyatdan cavan getməsinə bais olan olan iblisi mən çoxdan tanısam da heç kəsin mənə inanmayacağına görə susurdum. Ancaq əmin idim ki, Tanrıqulu müəllimin vaxtsız ölümünə bais olan, vəzifə, şöhrət nəminə hər cür riyakarlığa qadir bir adamın iç üzünü bəlli olacaq.

Tanrıqulu müəllimi fiziki məhv etmək çətin idi, mənəvi isə çox asan. Çünki o dərin mənəviyyətə malik şəxsiyyətdi. Ali və aqil insan mənəviyyəti nə qədər dərin və zəngindirsə, bir o qədər də incədir, zərifdir. Bu incəlik və zəriflik isə yüksək dəqiqlikli „*astazir olunmuş qravimetr*“ə oxşayır – onu çalxalamaq olmaz! Çünki qravimetrin həssas ölçü sisteminin tarazlığı kimi, „*insan mənəviyyətinin taraz sistemi*“ pozula bilər... Günahı təsdiq olunmaz məlun isə bu incəlikdən istifadə etdi, Tanrıqulu müəllimin mənəviyyətini möhkəm çalxaladı., yaşamaq üçün yaranan insan əbədi susdu. Çox-çox əfsuslar olsun...

**ALLAH TANRIQULU MÜƏLLİMƏ
RƏHMƏT ELƏSİN...**

MÜNDƏRİCAT

	Səh.
GİRİŞ.....	7
§1. QRAVİTASIYA SAHƏSİNİN POTENSİALI	8
1.1. Ağırılıq qüvvəsi təcilinin təyin olunması haqqında qısa xülasə.....	15
1.2. Qravi-kəşfiyyatın prinsipləri və meyarı.....	19
1.2.1. Potensial sahənin prinsipləri. Nyuton cazibə qanunu... 24	
1.2.2. Yer in cazibə qüvvəsinin təcili.....	27
1.3. Qravitasiya potensialı və onun əsas xassələri.....	30
1.3.1. Kəsilməzlik və müntəzəmlik.....	37
1.3.2. Tarazlanmış səthlər və ya qeoid səthi.....	39
1.3.3. Tarazlanmış səthlər arasındakı məsafə.....	41
1.3.4. Nyutonian və ya üçölçülü potensial.....	42
1.3.5. Loqarifmik və ya ikiölçülü potensial.....	44
1.4. Potensial nəzəriyyənin əsas tənlikləri.....	46
1.5. Cazibə qüvvəsi reduksiyası (düzəlişlər). Normal düzəliş.....	49
1.5.1. Hündürlüyə görə və ya «hava» düzəlişi.....	52
1.5.2. Buge düzəlişi.....	54
1.5.3. Prey düzəlişi.....	56
1.5.4. Etveş düzəlişi.....	57
1.5.5. Topoqrafiya düzəlişi.....	59
1.5.6. İzostazisiya düzəlişi.....	60
1.5.7. Yer səthinin qabarma-çəkilməsinə görə düzəliş.....	63
1.6. Yer in cazibə sahəsinin kainat cisimləri ilə əlaqəsi. Ay in hərəkətinə təsir edən qüvvə.....	70
1.7. Anomaliyalar.....	73
§2. QRAVİMETRİYADA İSTİFADƏ OLUNAN CİHAZ VƏ AVADANLIQLAR.....	75
2.1. Cazibə qüvvəsi təcilinin mütləq ölçülməsi.....	76
2.2. Cazibə qüvvəsi təcilinin nisbi ölçülməsi. Qravimetrler..	77

2.3. Qravimetrin sabitinin təyini.....	89
§3. QRAVİMETRİK MÜŞAHİDƏ METODLARI.....	92
3.1. Dayaq şəbəkəsi.....	95
3.2. Sırasıvi şəbəkə.....	98
3.3. Qravimetrlə dənizdə müşahidə.....	102
3.4. Müşahidələrin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi.....	106
3.5. Anomaliyanın dəqiqliyinin hesablanması.....	108
3.5.1. Çöl müşahidələrinə görə sıxlığın hesablanması.....	111
3.5.2. Qravimetrik metodla sıxlığın təyin olunmasına şaquli qradiyentin təsiri.....	114
§4. Qravitasiya sahəsinin transformasiyası.....	115
4.1. Regional fon, lokal və qalıq anomaliyalar.....	117
4.2. Ortalaşdırma və qrafiki metod.....	119
4.3. Qalıq və üçüncü tərtib törəmə anomaliyaları.....	124
NƏTİCƏ.....	130
ƏDƏBİYYAT.....	131

GİRİŞ

Geofizika – Yerin fiziki xüsusiyyətlərini öyrənən elmdir. İlk dəfə olaraq, geofizikanın təkamül tapmasını Nyutonun qravitasiya nəzəriyyəsinin və Gilbertin Yer kürəsinin bütövlükdə qeyri-sabit maqnit olması ixtirası ilə bağlamaq olar. Dağ-mədən və metal axtarışı çox qədim zamana təsadüf edir, lakin bu sahədə tədqiqat işlərinin başlanması 1556-cı ildə Georgids Aqrikolun «De remetallica» traktatasının dərc olunmasından başlanmışdır. Bu traktata uzun illər sivil xalqların dağ-mədən işlərində əsas sənəd rolunu oynamışdır. Geofizikanın metal axtarışında tətbiqinin ilk addımları 1843-cü ildə Fon Frede tərəfindən atılmışdır. Fon Frede ilk dəfə olaraq qeyd etmişdir ki, Yerin maqnit sahəsinin variasiyasını ölçmək üçün Lamontun istifadə etdiyi maqnit teodolitindən filiz yataqlarının axtarışında istifadə etmək olar. Ancaq bu ideya professor Robert Talenin 1979-cu ildə nəşr etdirdiyi «Maqnit üsulu ilə dəmir-filiz yataqlarının öyrənilməsi haqqında» kitaba qədər həyata keçirilməmişdir.

İllər keçdikcə dünya xalqlarının sivilizasiyasının geniş vüsət tapması və Yerin təkində olan təbii sərvətlərə insan tələbinin artması bir tərəfdən, Yerin başqa kainat elementləri ilə təmasını öyrənmək isə digər tərəfdən, geofizika elminin

hərtərəfli inkişafına olan ehtiyac yeni geofiziki cihaz və avadanlıqların çox sürətlə istehsalına səbəb oldu. XX-ci əsrin ikinci yarısında cihaz və avadanlıqlar daha da təkmilləşmiş və istehsal artmışdır.

Geofizikanın inkişafında elektron texnikasından, kompyuter avadanlıqlarından, yüksək səviyyəli proqramlardan istifadə olunması bu elmin daha da hərtərəfli inkişafına səbəb oldu. Yerin fizikasını öyrənən elm riyaziyyat, kimya, fizika, astronomiya və s. kimi fundamental elmlərlə sıx əlaqəli bir fənnə – elmə çevrilmişdir. Artıq bu gün tam inamla demək olar ki, geofizikanın bu günə qədər olan səviyyəsinə görə geofizika geologiyanın bir hissəsi yox, tam müstəqil elmdir. Şübhə yoxdur ki, geofizika elminin əsas öyrənmə obyektlərindən biri bütövlükdə Yer kürəsidir.

§1. QRAVİTASIYA SAHƏSİNİN POTENSİALI

Hər hansı fiziki sahənin təsir qüvvələrini müəyyənləşdirən və vektorluğunu (qradiyentliyini) xarakterizə edən gərginliyindən başqa, verilmiş nöqtədə sahənin potensialı – sahəni skalyar xarakterizə edən kəmiyyət mövsuddur.

Vektorial sahələri skalyar xarakterizə edən, sahə qüvvələrinin gördüyü işlə əlaqədar olan potensial (potensial

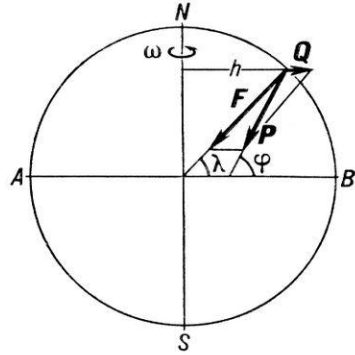
funksiyaya) sahənin həlledisi güc əlamətidir. Vektorial cazibə qüvvələrinin təsiri altında olan fəza **qravitasiya sahəsi** adlanır.

Ağırılıq qüvvəsinin təsiri altında olan fəza isə **ağırılıq qüvvəsi sahəsi** adlanır. Hər iki sahənin

hər bir nöqtəsinə, bu sahənin malik olduğu maddi nöqtə vasitəsilə həyata keçirilən potensial enerjinin müəyyən qiyməti uyğundur. Başqa cür desək, hər hansı vektor sahə,

sahənin istənilən maddi nöqtəsində vahid yükə xas olan potensial enerji kəmiyyəti ilə xarakterizə oluna bilər. İstənilən iki nöqtə arasında sahə qüvvələrinin gördüyü iş, bu iki nöqtə arasındakı sərf olunan məsafənin formasından yox, bu nöqtələrin vəziyyətindən (koordinatlarından) asılıdırsa, bu cür **sahə potensial sahə**, sahə qüvvələri isə **konservativ** adlanır.

Yerin qravitasiya sahəsi – gün ərzində fırlanma nəticəsində yaranan, ağırılıq qüvvəsi və mərkəzdən qaçma qüvvələrindən asılı olan qüvvə sahəsidir; az miqdarda Ayın və Günəşin, eləcə də başqa kainat elementlərinin və Yer atmosfer kütləsindən asılıdır (şəkl.1). Burada F -Yerin mərkəzinə doğru



Şəkil 1. Cazibə qüvvəsinin əsas elementləri.

istiqlamətlənmiş ağırlıq qüvvəsi, Q – mərkəzdən qaçma qüvvəsi, P – bu iki qüvvənin cəmi olan cazibə qüvvəsidir. Q – mərkəzdən qaçma qüvvəsi Yerin öz oxu və Günəş ətrafında fırlanma nəticəsində yaranır və sabit qalması (deməli təcilsizdir) ilə yanaşı ədədi qiymətcə F qüvvəsi ilə müqayisədə çox cüzdür. Eyni zamanda $\lambda \cong \varphi$ olur. Ona görə də Yer səthində götürülmüş hər hansı bir nöqtədə ağırlıq qüvvəsinin qiyməti cazibə qüvvəsinə bərabərdir, yəni $F \cong Q$.

Yerin qravitasiya sahəsi ağırlıq qüvvəsi, ağırlıq qüvvəsinin potensialı və ağırlıq qüvvəsinin müxtəlif törəmələri ilə xarakterizə olunur. Potensialın vahidi $m^2 \cdot san^{-2}$ -dir, qravimetriyada potensialın (o cümlədən ağırlıq qüvvəsinin) birinci tərtib törəməsinin vahidi $10^{-5} m \cdot san^{-2}$ -yə bərabər olan *milliqal* (mQal), ikinci tərtib törəməsi üçün isə – $10^{-9} \cdot san^{-2}$ -yə bərabər olan *etveş* (E) qəbul olunmuşdur. Yerin qravitasiya sahəsinin əsas xarakterik qiymətləri: dəniz səviyyəsində ağırlıq qüvvəsi potensialının qiyməti $62636830 m^2 \cdot san^{-2}$; Yer səthində ağırlıq qüvvəsinin orta qiyməti $979801,5 \cdot 10^{-5} m^2 \cdot san^{-2}$; ağırlıq qüvvəsinin orta qiymətinin qütblərdən ekvatora doğru azalması $5200 \cdot 10^{-5} m^2 \cdot san^{-2}$ (o cümlədən $3400 \cdot 10^{-5} m^2 \cdot san^{-2}$ Yerin gün ərzində fırlanması hesabına); Yer səthində ağırlıq qüvvəsinin maksimal anomaliya qiyməti $660 \cdot 10^{-5} m^2 \cdot san^{-2}$; ağırlıq

qüvvəsinin normal şaquli qradiyenti $0,3086 \frac{mgal}{m}$; və s. Ağırılıq

qüvvəsinin ikinci tərtib törəməsi qravitasiya qradientometri və ya variometrə ölçülür.

Ağırılıq qüvvəsi sahəsinin potensiallığı o deməkdir ki, qarşılıqlı cazibədə olan bir cüt maddi yükə potensial enerji vermək olar və yüklərin qapalı kontur boyunca hərəkəti zamanı bu enerji sərf olunmayacaqdır. Ağırılıq qüvvəsinin potensiallığı kinetik və potensial enerjinin cəminin qorunub saxlanması qanunundan irəli gəlir və bu cür sahədə cisimlərin hərəkətinin öyrənilməsi zamanı məsələn xeyli asanlaşdırır. Nyuton mexanikası çərçivəsində qarşılıqlı cazibə *uzağa təsir* (cismin hərəkətinin məsafəyə vasitəsiz və ani müddətdə ötürülməsi) deməkdir. Bu o deməkdir ki, yüklü cismin hərəkətindən asılı olmayaraq, fəzanın istənilən nöqtəsində cazibə potensialı verilmiş anda cismin vəziyyətindən (koordinatlarından) asılıdır.

Qravimetrik kəşfiyyatı Yer qravitasiya sahəsinin variasiyasını – zaman və məkana görə dəyişməsinə öyrənməyə əsaslanır. Qravimetrik müşahidə Yer səthində (fiziki səth) aparılır. Kəşfiyyat işləri aparılan sahənin şəraitindən asılı olaraq cihaz gəmidə, təyyarədə, yerin təkində və ya bilavasitə səthində quraşdırıla bilər. Hər bir halda cihazın quraşdırıldığı hündürlük

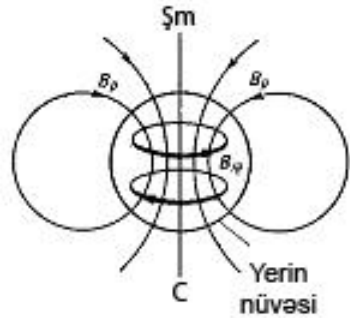
və Yer səthinin dəniz səviyyəsinə nisbətən olan hündürlüyü nəzərə alınır. Bu barədə aşağıdakı paraqraflarda ətraflı şərh olunur.

Qravimetriya, eləcə də maqnitometriya, Yer kürəsinin təbii geofiziki sahəsini – potensial sahəsini öyrənir. Potensial sahə öz-özlüyündə əsas iki təbii təşkiəddici ilə – qravitasiya və maqnit sahəsi ilə xarakterdir. Maqnit sahəsi rotor (burulğanlı), qravitasiya sahəsi isə divergent (qradiyent) sahədir. Maqnit sahəsinin qiyməi məlumdur, ancaq istiqaməti qeyri-məlumdur, yəni skalyar sahədir (rotor). Bütömlükdə Yer kürəsi üçün, şərti

olaraq maqnit sahəsinin qüvvə xətləri cənubdan şimala doğru qəbul olunmuşdur (şək.2).

Qravitasiya sahəsinin isə həm qiyməti, həm də istiqaməti məlumdur (aşağıda bu barədə ətraflı yazılıb). Ağırliq qüvvəsinin istiqaməti verilmiş nöqtədə Yer

səthinə şaquli perpendikulyar istiqamətdədir, həmin nöqtədə şaqula perpendikulyar müstəvi isə horizontal müstəvidir. Qravimaqnit kəşfiyyat işlərində əsas məqsəd, təbii sahənin ədədi qiymətcə dəyişməsinə öyrənmək olduğu üçün, maqnit və

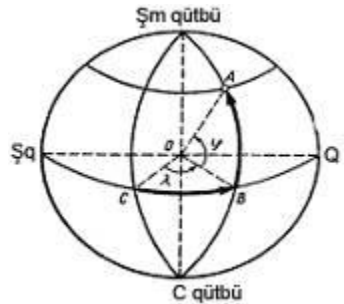


Şəkil 2. Maqnit sahəsinin qüvvə xətləri.

qravitasiya sahələrini öyrənən üsullar bir çox əlamətə görə oxşardılar. Qarşıda qoyulmuş məqsəddən asılı olaraq, müşahidə olunan parametr qiymətinin normal qiymətdən müəyyən qədər kənara çıxması bu üsullarda əsas arqument kimi qəbul olunur və mühitin petrofiziki əlamətləri geoloji interpretasiya olunur.

Ümumiyyətcə, istər qravitasiya, istərsə də maqnit potensialı, müəyyən bir normal qiymətlə xarakterizə olunurlar. Şək.3-də Yer in normal qravi-maqnit shələrinin asılı olduğu parametrlərin – φ coğrafi en və şərq λ uzunluq dairəsi bucaqlarının dəyişməsi təsvir olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi λ şərq uzunluq dairəsi bucağının dəyişməsi Yer in öz oxu ətrafında fırlanması istiqamətindədir və bu bucağın dəyişməsi çox cüzidir.

Onda Yer in normal qravitasiya sahələrinin qiyməti əsasən φ coğrafi en dairəsindən asılıdır. Eyni zamanda bu qiymət, müşahidə nöqtəsinin yerləşdiyi ərazinin geoloji quruluşunda iştirak edən süxur laylarının petrofiziki xassələrindən asılı olaraq dəyişir və ya variasiya edir. Bu dəyişmə və ya variasiya, müşahidə olunan



Şəkil 3. Cazibə qüvvəsinin normal qiymətini xarakterizə edən parametrlər.

yerləşdiyi ərazinin geoloji quruluşunda iştirak edən süxur laylarının petrofiziki xassələrindən asılı olaraq dəyişir və ya variasiya edir. Bu dəyişmə və ya variasiya, müşahidə olunan

parametrin normal qiymətinin kiçik bir faizini təşkil edir. Hər iki üsulda müşahidə olunan kəskin dəyişmə məkanın, cüzi dəyişmə isə zamanın funksiyasıdır. Elə bu əlamətə görə də hər iki üsulda nisbi müşahidə üslubundan istifadə olunur, yəni hər hansı bir nöqtədəki qiymət, digər nöqtəyə nisbətən ölçülür. Hər iki üsulda sahənin mütləq qiymətini ölçmək mümkündür. Bununla yanaşı, qravimetrik və maqnit kəşfiyatı arasında prinsipial fərq mövcuddur.

Qravimetrik kəşfiyatı süxurların sıxlıqları arasındakı fərqi və bu süxurların yatma dərinliyini, maqnit kəşfiyyatı isə bilavsiyə süxurların maqnit nüfuzluğunun dəyişməsinə və bu süxurların yatma dərinliyini öyrənir. Ancaq süxurların yatma dərinliyindən asılı olaraq maqnit sahəsinin dəyişməsi, qravitasiya sahəsinə nisbətən cüzidir. Süxurların sıxlıqları arasındakı fərq maqnit nüfuzluğuna nisbətən çox az dəyişdiyi üçün eyni bir mənbədən alınan qravitasiya effekti maqnit effektinə nisbətən az olur. Ona görə də qravimetrik kəşfiyyatda istifadə olunan cihazların dəqiqliyi maqnit kəşfiyyatında istifadə olunan cihazların dəqiqliyinə nisbətən daha üstün olur (10^{-8} – qravitasiya, 10^{-4} – maqnit).

Maqnit sahəsinin variasiyası zamana görə kəskin dəyişkəndir və mürəkkəb xarakterlidir, qravitasiya sahəsinin

variasiyası isə zamana görə qeyri-kəskin və aramla dəyişərək sadə formalıdır.

Qravimetrik kəşfiyyatda geoloji məsələlərin həllində istifadə olunan düzəlişlər və anomal sahələrin müşahidəsinin dəqiqliyi maqnit kəşfiyyatından çox mürəkkəb və yüksəkdir. Maqnit kəşfiyyatında eyni bir cihazla sahənin normal qiymətini, əsas anomal dəyişməni və sahənin variasiyasını ölçmək olar. Qravitasiya kəşfiyyatında bu məsələ tamamilə başqadır, yəni eyni bir cihazla sahənin həm normal qiymətini, əsas anomal dəyişməni və əsahənin variasiyasını ölçmək mümkün olmur.

İstər qravimetrik, istərsə də maqnitometrik kəşfiyyatından Yer in təbii sərvətlərinin axtarışında, Yer in başqa planetlərlə əlaqəsinin tədqiqində geniş istifadə olunur.

1.1. Ağır lıq qüvvəsi təcilin in təyin olunması haqqında qısa xülasə

Sərbəst düşmə təcili haqqında qanun ilk dəfə olaraq Q.Qaliley (1564-1642) tərəfindən 1590-cı ildə verilmiş və elə həmin ildə cazibə qüvvəsi təcilin in hesablanmasını təcrübəsini aparmış və ilk dəfə g -nin kəmiyyət qiymətini hesablamışdır. Ancaq onun apardığı təcrübə çox sadə idi.

1784-cü ildə ingilis fiziki D.Atvud sünni olaraq sərbəst düşmə təcilini azaldan və bununla da zaman intervalını artıraraq

təcilin qiymətinin ölçülməsi dəqiqliyini artıran qurğu icad etmiş və bu qurğunun köməyi ilə g -nin kəmiyyətə ədədi qiymətini hesablamışdır.

Səbəst düşmə təcilinin mütləq qiymətini təyin etmək üçün D.Atvudun bu qurğusundan ilk dəfə olaraq 1892-ci ildə Kiyev Universitetinin professoru Q.Q.Mets (1861-1930) istifadə edərək g -nin kəmiyyət qiymətini hesablamış və $g = 981,24Qal$ almışdır. Bu hadisədən sonra g -nin kəmiyyət qiymətinin təyin olunması üçün makaradan istifadə etməyə üstünlük verilmişdir. Ancaq buna baxmayaraq D.Atvudun bu qurğusu rus alimi D.İ.Mendeleyevin təklifi ilə A.A.İvanov tərəfindən yenidən təkmilləşərək g -nin kəmiyyət qiymətini hesablamış və $g = 981,48Qal$ almışdır. Bu təcrübə bir daha təsdiq etmişdir ki, g -nin kəmiyyət qiymətini hesablamaq üçün makaradan istifadə etmək D.Atvudun qurğusundan çox dəqiq və sərfəlidir.

g -nin kəmiyyət qiymətinin makaradan istifadə etməklə hesablanması ilk dəfə olaraq Ş.Lakondamin (1701-1774) tərəfindən 1735-ci ildə Haiti adasında həyata keçirilmişdir. Ş.Lakondamin adi $g \approx 4\pi^2 \cdot L$ münasibətindən istifadə etmişdir. Burada L - makaranın uzunluğudur. Ş.Lakondamin

$L = 990,85mm$ götürərək, $g = 977,9Qal$ almışdır. Bu qiymətin çox inhirafı ilə alınmasını Ş.Lakondamin ilk dəfə olaraq coğrafi koordinatla əldə etmək olduğunu izah edərək təklif etmişdir ki, təcrübəni ekvatora yaxın həyata keçirmək lazımdır. Bu məqsədlə həmin təcrübədən istifadə edərək, D.Borda (1739-1799) və Y.Kassini (1748-1845) 1792-ci ildə Parisdə g -nin kəmiyyət qiymətini hesablayaraq $g = 980,867Qal$ qiymətini aldılar. Fransa fiziki J.Bio (1774-1862) bu təcrübəni bir neçə dəfə təkrar etmiş və qurğunu təkmilləşdirmişdir.

1825-1826-cı illərdə Kəniqsberq şəhərində məşhur fizik F.Bessel (1784-1846) makaradan istifadə edərək özünə məxsus differensial təcrübə aparmışdır. Onun qurğusu T_1 və T_2 periodlu və qollarının $l_1 - l_2$ uzunluqlar fərqi məlum olan iki eyni makaradan ibarət idi. Bu zaman g -nin qiyməti

$$g = 4\pi^2 \frac{l_1 - l_2}{T_1^2 - T_2^2}$$

bərabərliyi ilə hesablanırdı.

1818-ci ildə ingilis fiziki X.Keter (1777-1835) periodlu Makara icad etmiş və qurğunun köməyi ilə ingilis geodezisti E.Sabin (1788-1883) 1822-1824-cü illər ərzində Yer kürəsinin bir çox yerlərində – Sakit okeanın bir çox adalarında, Qrenlandiyada, Şpisbergendə və şimali Amerikada g -nin

kəmiyyət qiymətini hesablamışdır. Eyni təcrübələri ingilis geodezistləri Freysin, Dyuper, Holl aparmışlar və həmişə müxtəlif qiymətlər alınmışdır. 1826-1829-cu illər ərzində rus dəniz səyyahı F.P.Litke (1797-1882) Yer kürəsinin doqquz müxtəlif yerlərində g -nin kəmiyyət qiymətini hesablamışdır. Bu təcrübələrdə g -nin müxtəlif qiymətlərinin alınması dünya alimlərində şübhə və maraq yaratdı və bununla da g -nin kəmiyyət qiymətinin hesablanması başladı.

Hal-hazırda g -nin qiymətinin hesablanmasında ən müasir təcrübələrdən istifadə olunur və bu qiymətin nə üçün müxtəlif məntəqələrdə eyni alınmamasının fiziki mənası cazibə təcili potensialının müxtəlifliyi ilə izah olunur. Bu təcrübələrdən sonra 1967-ci ildə Potsdam şəhərində Beynəlxalq Konqress çağrılaraq, g -nin mütləq qiyməti qəbul olundu və ona müşahidə məntəqəsinin koordinatlarından asılı olmayaraq düzəliş verildi. Aşağıdakı cədvəl 1-də keçən əsrimizin 60-cı illərində dünyanın müxtəlif yerlərində g -nin hesablanmış qiymətləri və Potsdam düzəlişi verilir.

Beləliklə, g -nin kəmiyyət qiymətinin ayrı-ayrı illərdə və müxtəlif müəlliflər tərəfindən hesablanmasına baxmayaraq əsasən eyni qiymətlər alınmışdır. Qiymətlər arasında olan

fərqləri Potsdam düzəlişinə görə tamamilə aradan götürmək mümkündür.

XX əsrin 60-cı illərində hesablanmış cazibə qüvvəsi təcilinin mütləq qiyməti və Potsdam sistemi düzəlişi

Cədvəl 1.

№№ mənt.	Məntəqə, icra edən və nəşr ili	g, mQal (ölçülmüş)	Δg, mQal (Potsdama görə təyin)	g, mQal (Potsdama reduksiya olunmuş)	Δg, mQal (Potsdam düzəlişi)
1	Teddinqton, A.Huq, 1967	981181,81 ±0,13	+78,23±0,05	981 260,04 ±0,14	- 13,96±0,14
2	Teddinqton, Dj.Feller, 1969	981181,86 5±0,06	+78,23±0,05	9812 60,095 ±0,08	- 13,90±0,08
3	Sevr, Dj.Feller, 1969	980925,96 5±0,05	+334,13±0,05	981260,095 ±0,10	- 13,90±0,10
4	Potsdam, Şuller, 1969	981260,1± 0,3	0	981260,1 ±0,3	-13,9±0,3
5	Berlin, M.Ditrix, 1970	981266,31 ±0,3	- 5,9613±0,01	981260,35 ±0,5	-13,65±0,5
6	Sevr, A.Sakuma, 1970	980925,93 1±0,03	+334,13±0,09	981260,061 ±0,09	- 13,94±0,09

1.2. Qravi-kəşfiyyatın prinsipləri və meyarı

Qravimetriya (lat. *gravis* – ağır) – Yerin qravitasiya sahəsini xarakterizə edən ağırlıq qüvvəsinin kəmiyyətə ölçmə metodları haqqında elmdir. Qravimetrik metodlardan Yerin daxili qurluşunun öyrənilməsində və fiqurasının təyin olunmasında, müxtəlif geodezik koordinat sistemləri arasında

əlaqənin yaradılmasında, Yerin süni peyklərinin trayektoriyasının hesablanmasında, faydalı qazıntıların kəşfiyyatında və yer qabığının üst qatların tədqiqatında istifadə olunur. Yer qavitasiya sahəsinin dəqiq ölçülməsi Yer qabığının üst qatlarında kütlə paylanmasını müəyyən etməyə və tətbiqi məsələlərin həllinə imkan yaradır.

Qravimtrik kəşfiyyatı – kəşfiyyat geofizikasının bir metodu olub, Yer səthində və onun əhatəsində qravitasiya sahəsini öyrəməyə əsaslanır və qısa olaraq «qravi-ləşfiyyat» işlədilir. Qravi-ləşfiyyat Yer qabığını, xüsusən, üst qatlarını təşkil edən süxurların sıxlığının qeyri-bircinsliyi ilə və yatma dərinlikləri ilə bağlı olan ağırlıq qüvvəsi anomaliyaların geoloji interpretasiyası (yozumu) ilə məşğul olur. Qravi-kəşfiyyat üçün əsas şərt – horizontal və ya şaquli istiqamətdə süxurların sıxlıqlar fərqi, Yer səthində ağırlıq qüvvəsi anomaliyasının yaranması üçün kifayət ölçüyə və yatma dərinliyinə xas olan obyektin mövcudluğudur. Neftli-qazlı strukturların axtarışı və kəşfiyyatında, filiz faydalı qazıntı yataqları axtarışında, gəlmə süxurlarla örtülmüş sahələrin geoloji xəritəsinin tərtibində, tektonik qırılmaların izlənməsində qravi-ləşfiyyatdan geniş tətbiq olunur. Ağırlıq qüvvəsi sahəsinin (Yerin cazibə sahəsi) öyrənilməsi, onun analizi və interpretasiyası yer qabığı təkində

sıxlıqlarına və yatma dərinliklərinə görə qeyri-bircins kütlənin yerləşməsi, uyğun olaraq yer qabığının quruluşu haqqında nəticə çıxarmağa imkan verir. Eİacə də qravi-kəşfiyyatdan yer qabığının dərinlik quruluşunun öyrənilməsində, nəhəng regionların tektonik və petroqrafik rayonlaşdırılmasında, neft və qaz yataqlarının axtarışında və proqnozlaşdırılmasında, digər faydalı qazıntıların: kömür, filiz və qeyri filiz xammalının axtarışında və kəşfiyyatında istifadə olunur.

Qravi-ləşfiyyatda istifadə olunan əsas cihaz **qravimetrdir**. Qravimetr – elastiki sapın deformasiyasının və ya burulma bucağının dəyişməsinə görə ağırlıq qüvvəsi təcilini ölçmək üçün cihazdır. Yerüstü (quru), quyu, dəniz və aeroqravimetrlər (o cümlədən kosmik aparatlarda quraşdırılmış) qravimetrlər növü məlumdur. Ağırlıq qüvvəsi təcili qiymətinin ölçülməsinin əsasən iki üsulu var: mütləq və nisbi. Mütləq qiymətin ölçülməsi üsulunda $g_{müt}$ təcil makaralı qravimetrlə, nisbi qiymətin ölçülməsi üsulunda isə Δg_{nisbi} qiyməti iki məntəqə arasında nisbətən ölçülür, bu məntəqələrin birində $g_{müt}$ qiymətinin məlum olması vacibdir. Ölçmə üsulundan asılı olaraq qravimetrlər statik və dinamik növlərə ayrılırlar. Statik qravimetrlər həssas elementin elastiklik qüvvəsi (və ya elastiklik momenti) ilə ağırlıq qüvvəsinin (və ya ağırlıq qüvvəsi

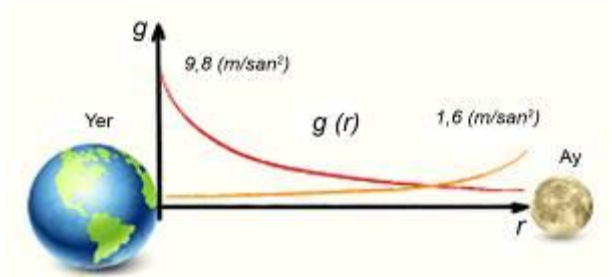
momentinin) tarazlanması prinsipinə əsaslanan qravimetrlərdir. Bu qravimetrlərdən ancaq Δg_{nisbi} nisbi qiymətlərin ölçülməsində istifadə olunur. Təsir prinsipinə görə bu qravimetrlər dinamometrlə və ya yaylı tərəzi ilə analojidirlər, yəni bir ucuna yük bağlanmış yay kimi təsvir oluna bilərlər. Bu yükün çəkisini dəyişməklə, ağırlıq qüvvəsinin variasiyasından asılı olaraq, yayın uzunluğu dəyişir və bu dəyişmə ağırlıq qüvvəsinin ölçü meyarı olur.

Çox vaxt fırlanan sistemlərdən istifadə olunur. Belə sistemlərdə horizontal elastiki sapdan və ya yaydan asılmış makara elastiklik

qüvvəsinin təsiri altında horizontal vəziyyətdə qalmağa çalışır.

Bu cür sistemlər prinsipcə qeyri-

xəttidirlər, yəni makaranın tarazlıq vəziyyətinə yaxınlaşması zamanı sistemin həssaslığı kəskin dəyişir. Fizikada bu cür sistemlər astazir olunmuş sistemlər adlanır. Statik qravimetrlərdən qravi-kəşfiyyatda geniş istifadə olunur.



Şəkil 4. Yerlə Ay arasında cazibə sahəsinin sxematik təsviri

Qravimetrlərin çatışmaz cəhəti – dreyf dəyişmədir, yəni zaman keçdikcə qravimetrin dəqiqliyinin pozulmasıdır. Dreyfə səbəb – yayların elastikliyinə ideal olmaması, zaman keçdikcə yayaların plastiki deformasiyaya uğraması və temperaturdur.

Dinamik qravimetrlərə simli (Δg -nin qiyməti ucuna yük bağlanmış sapın rəqs tezliyinin dəyişməsinə görə təyin olunur), ballistik (Δg -nin qiyməti, ucuna yük bağlanmış həqqasın bir neçə nöqtədən keçərək sərbəstdüşmə təcilinin dəyişməsinə görə təyin olunur) və makaralı (makaranın sərbəst rəqsinin g -dən asılılığından istifadə olunur) qravimetrləri göstərmək olar.

Yerlə Ay arasında cazibə sahəsi şəkl. 4-də sxematik təsvir olunur. $g = g(r)$ funksiyasının (cazibə təcilinin məsafədən asılılığı) qrafikindən r məsafəsi sonsuzluğa yaxınlaşdıqca qravitasiya sahəsinin təcili (gərginliyi) sıfıra yaxınlaşır, yəni $\lim_{r \rightarrow \infty} g(r) = 0$. Ona görə də “Yerin cazibə sahəsini peyk tərk edib” ibarəsi heç vaxt düzgün deyil. Bu $g = g(r)$ funksiyasının aşağıdakı fiziki mahiyyəti ilə izah olunur: kainat cisimlərinin qravitasiya sahələri bir-birini tamamlayır, yəni kainat planetlərinin mərkəzlərini birəşdirən xətt boyunca hərəkət etsək, onda müəyyən bir nöqtədə bu planetlərin cazibə təsiri sıfır olur

(Laqranj nöqtəsi), bu nöqtədən keçdikdən sonra bu və ya digər planetin cazibə qüvvəsi üstünlük təşkil edəcəkdir.

Qravimetrik planalmanın nəticəsi olaraq Buge reduksiyasında ağırlıq qüvvəsinin (sərbəst düşmə təcilinin), aralıq qatın yatma dərinliyi və sıxlığının qeyri bircinsliyi ilə bağlı olan anomaliyası hesablanılır və onların geoloji interpretasiyası aparılır. Bu zaman Yerin ümumi təsiri, müşahidə məntəqəsinin koordinatına görə normal düzəliş verməklə istisna olunur.

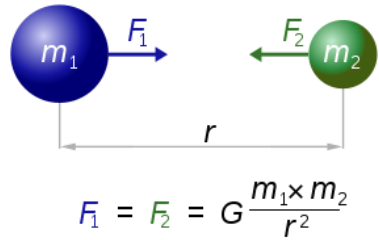
1.2.1. Potensial sahənin prinsipləri. Nyuton cazibə qanunu

Cazibə sahəsinin təbiəti haqqında İsaak Nyuton fikrinin yaranması təsadüfdən yaranmış zərurət olmuşdur.

Alma bağında Ayı seyr etdiyi zaman onun gözləri önündə bir alma budaqdan qoparaq yerə düşmüşdü. Bu dövrdə Nyuton hərəkət qanunu qanunları üstündə işlədiyi üçün, bütün cisimlərin, eləcə də almanın Yerin cazibə qüvvəsinin təsiri altında düşdüyünü bilirdi. Eyni zamanda Nyuton bilirdi ki, Ay sadəcə olaraq «göydən asılmayıb», özünə məxsus orbitlə Yer ətrafında fırlanır. Eyni zamanda ona məlum idi ki, Aya qeyri-adi qüvvə təsir edir və bu qüvvə onu həmişə müəyyən bir orbitdə saxlayaraq, onun Yer ətrafında fırlanmasına səbəb olur.

Burada Nyutonun ağılına ilk dəfə olaraq belə bir fikir gəlir ki, almanın qanaddan qoparaq Yerə düşməsinə və Ayın öz orbitində Yer ətrafında fırlanmasına eyni bir qüvvə təsir edir. Belələliklə, ümumdünya cazibə qanunu öz təməl daşını tapmışdır.

Qravitasiya potensialının əsas mahiyyəti olan cazibə qüvvəsinin təbiəti Nyuton qanununun ilə izah olunur. Bu qanun təsdiq edir ki, bir-birindən vahid məsafədə vahid kütləli iki m_1 və m_2 yüklər arasındakı cazibə



Şəkil 5. Ümumdünya cazibə qanununun sxematik təsviri

qüvvəsi (m_1 kütləsinin m_2 -yə təsiri) onların kütlələri hasilinə ilə düz, aralarındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasibdir, yəni

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \times \vec{r}_1 \quad (1.1)$$

Burada \vec{F} – m_2 kütləsinə təsir olunan cazibə qüvvəsi, \vec{r}_1 – m_1 kütləsindən m_2 – yə istiqamətlənmiş vahid vektor, r – m_1 və m_2 arasındakı məsafə, G – universal qravitasiya sabitidir.

Burada minus işarəsi onu göstərir ki, qüvvə vektoru və cazibə qüvvəsinin istiqaməti bir-birinin əksinədir. SQS sistemində \vec{F} - *dina (dn)* ilə, m_1 və m_2 yükləri kütlələri *qramla*

(qr), r - məsafəsi *santimetrlə* (sm) ölçülür; bu halda G -nin qiyməti $6,67 * 10^{-8} dn \times sm^2 \times qr^{-2}$ olur. Bu o deməkdir ki, aralarındakı məsafə $1 sm$, kütlələri $1 qr$ olan eyni tərkibli iki yük arasında bircins fəzada qarşılıqlı təsir *1dina*-ya bərabərdir. Analoji olaraq, BS sistemində bu qüvvə *1 nyuton*-a bərabər olur. Cazibə sabitinin qiymətindən aydın görünür ki, cazibə qüvvəsi təbiətdə mövcud olan potensial qüvvələrin ən zəifidir. Cisim müəyyən bir hesablama istinad sisteminə nisbətən sükunət halında olduqda, istər kainat (planetlər), istərsə də maddi sistemlər bu qüvvə sıfıra bərabərdir. Bir çox alim və tədqiqatçılar belə bir mülahizə irəli sürürlər ki, G -nin qiyməti sabit qalmır, zaman keçdikcə azalır. Ancaq belə bir mülahizə tamamilə təkzib olunandır, çünki G - nin qiyməti zaman keçdikcə azalsaydı, planetlərindən biri də Yer kürəsi olan Günəş sistemi dağıla bilərdi. Bundan başqa, aşağıdakı ifadədən aydın görünür ki,

$$[G] = \frac{r^2 \cdot \vec{F}}{m_1 \cdot m_2} \cdot \vec{r}_1 = g \cdot \frac{r^2}{m_1} \cdot \vec{r}_1 \quad (1.2)$$

burada $g = \frac{\vec{F}}{m_2}$ Yer tərəfindən cəzb olunan hər hansı bir cismin

təcili, $\frac{r^2}{m_1}$ isə Yer radiusu kvadratının cəzb olunan cismin

kütləsinə olan nisbətdir. Bu iki kəmiyyətin hasili bir-birini həmişə kompensə edir (tamamlayır) və Yerın radiusu kvadratının cəzb olunan cismin kütləsinə olan nisbət həmişə sabit qalır. Bundan başqa, G -nin qiymətinin azalması Yerın, o cümlədən bütün planetlərin, radiusunun artması ilə müşayət olunardı. Bu kainatda mövcud olan uzun müddətli mürəkkəb prosesdir və ən başlıcası böyük “QURAN”-da əhyə olunmuş kainatın genişlənməsi haqqında əbədi bəşər nəzəriyyəsinə ziddir...

1.2.2. Yerın cazibə qüvvəsinin təcili

Nyuton qanununa görə cəzibə qüvvəsinin təcilinə baxaq. (1.1) ifadəsindən görünür ki, m_2 kütləsinə m_1 kütləsinin təsirindən yaranmış təcil, \vec{F} qüvvəsini m_2 -yə bölməklə alınır. Xüsusi olaraq, əgər m_1 - Yerın kütləsi (M_y) olsa, onda Yerın kütləsinin m_2 -yə təsiri nəticəsində m_2 kütləsinin təcili Yer səthində aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m_2} = -G \frac{M_y}{R_y} \times \vec{r}_1 \quad (1.3)$$

Burada R_y - Yerın radiusu, \vec{r} - Yerın mərkəzindən onun radiusu boyunca istiqamətlənmiş vahid vektor, g - cazibə

qüvvəsinin təcildir. Vahidi zaman və təsir məsafəsindən asılı olaraq aşağıdakı kimi alınır:

$$S = \frac{gt^2}{2} \text{ buradan } g = \frac{2S}{t^2} \text{ alınır.}$$

Beynəlxalq sistemdə S – məsafə $[M]$ (metr), zaman $[T]$ (saniyə) göstərildiyindən təcilin vahidi $[g] = \frac{[L]}{[T^2]}$ və ya $\frac{m}{c^2}$ -dir.

SQS sistemində anoloji olaraq $\frac{sm}{c^2}$ -dir, $\frac{m}{c^2} = 10^2 \frac{sm}{c^2}$. Bu nöqtəyi nəzərdən ümudünya cazibə sabiti G -nin Beynəlxalq sistemdə vahidi $[g] = \frac{[L^3]}{[T^2] \times [M]}$, qiyməti isə $6,674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kq \cdot s^2}$ olur.

Başqa sözlə, Beynəlxalq sistemdə cazibə qüvvəsi təcilin vahidi olaraq 1kq kütləyə 1 nyuton qüvvə təsiri altında yaranan təcildir. (1.1) ifadəsinə görə

$$[g] = \frac{[M] \times \frac{[L]}{[T^2]}}{[M]} = \frac{[L]}{[T^2]}$$

Cazibə təcilin bu qiyməti çox böyük qiymətdir. Ona görə də bu qiymətdən 100 dəfə az qiymət götürülür və Qalileyin şərəfinə olaraq Qal adlandırılır. Təcrübədə bundan da kiçik vahidlərdən – $mQal$ və $mkQal$ -dan istifadə olunur:

$$1mQal = 10^{-3} Qal = 10^{-5} \frac{m}{s^2}$$

$$1mkQal = 10^{-3} mQal = 10^{-8} \frac{m}{s^2}$$

Cazibə qüvvəsi təcilini ölçən cihazlar təcilin dəyişməsinə 10^{-8} dəqiqliyinə qədər ölçməlidilər, lakin insan təfəkkürü hələlik belə dəqiq qurğu icad etməmişdir.

Yer səthində ağırlıq qüvvəsi təsiri altında olan bütün cisimlərin cazibə təcilinin orta qiyməti 980 Qal-dır. Bu qiymət Yer in ekvator xəttindən qütblərə doğru $g_e=978$ Qal-dan $g_q=983$ Qal-a qədər dəyişir (fərq 5 Qal). Qütblərdə olan cazibə təcili qiyməti $(g_q = \omega^2 \cdot b_q)$ ilə ekvator da olan cazibə təcili $(g_q = \omega^2 \cdot a_e)$ qiyməti fərqi niri n qütblərdə olan cazibə təcilinə olan nisbət

$$k_1 = \frac{g_q - g_e}{g_q} = \frac{5Qal}{978Qal} \approx \frac{1}{189} \text{-dir.}$$

Yer in qütblərində mərkəzdənqaçma təcilinin qiyməti minimal, ekvator da isə maksimal qiymətə çatır. Mərkəzdənqaçma təcilinin maksimal qiymətinin minimal qiymətinə olan nisbət

$$k_2 = \frac{\omega^2 \times a_e}{g_q} \approx \frac{1}{289} \text{-dir.}$$

Qeyd olunan k_1 və k_2 sabitləri nisbi sabitlərdir. Bu sabitlərin qiymətləri əsasən üç növ dəyişməyə məruz qalırlar: əsri, periodik və qəfləti dəyişmə. Əsri dəyişməyə səbəb Yerin təkamülü, yəni geoloji quruluşunun zaman (geoloji mənada) keçdikcə dəyişməsi, periodik dəyişməyə səbəb Ayın Yer ətrafında və Yerin Günəş ətrafında fırlanmasından yaranmış orbital ekliptika müstəvilərinin dəyişmələri və qəfləti dəyişməyə səbəb isə çox güclü zəlzələlərin baş verməsidir.

1.3. Qravitasiya potensialı və onun əsas xassələri

Qravitasiya sahəsi Yerin potensial sahəsinin əsas təşkiədicişi olaraq dualizm (ikilik) – divergent və konservativ xassələrinə malikdir. Fizikadan məlum olduğu kimi divergentlik qiyməti və istiqaməti ilə xarakterizə olunan fiziki və ya kimyəvi prosesdir. Konservativlik isə o deməkdir ki, qapalı sahədə, müəyyən ölçülü fəzada və ya kainatda hər hansı bir kütlənin mexaniki hərəkəti zamanı görülən iş, hərəkət trayektoriyasının formasından (məsafədən) və bu trayektoriyaya sərf olunan zamandan yox, hərəkət trayektoriyasının başlanğıc və son vəziyyətlərindən (koordinatlarından) asılıdır. Xüsusi halda, əgər hər hansı bir kütlə istənilən məkanda müəyyən hərəkətdən sonra yenə də ilkin vəziyyətinə qayıdarsa, bu halda görülən iş sıfıra

bərabər olur. Müəssir fizikada bu belə ifadə olunur: – qapalı məkanda kinetik və potensial enerjinin cəmi sifra bərabərdir. Ancaq bu o demək deyil ki, qravitasiya potensial sahəsi də qapalı sahədir. Əksinə, qapalı sahə potensial sahənin xüsusi halıdır. Potensial konservativ sahəni yaradan ağırlıq vektorudur və bu vektorun istiqaməti iki kütlənin mərkəzini birləşdirən xətlə üst-üstə düşür. Konservativ sahəni yaradan qüvvəni hesablamaq üçün bu qüvvənin vahid m_2 kütləsinə nisbəti tapmaq kifayətdir, yəni

$$\nabla \bar{U}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{m_2} = \frac{m_2 \times \vec{g}(\vec{r})}{m_2} = \vec{g}(\vec{r}) \quad (1.4)$$

Burada $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$ qradient operatoru (təyinedicisi)

adlanır və göründüyü kimi vektor cazibə qüvvəsinin koordinat oxlarına görə birinci tərtib törəməsindən, yəni koordinat müstəvilərinə proyeksiyasından asılıdır, $\bar{U}(\vec{r})$ – isə potensial sahənin istənilən nöqtəşiqdə kəsilməz törəməsi olan skalyar funksiyadır.

(1.3) ifadəsini sərf olunan məsafənin başlanğıc (sıfır) və son (R) vəziyyətnə görə differensiallasaq

$$\bar{U}(\vec{r}) = \int_{\infty}^R \vec{g} \vec{d}(\vec{r}) = g \int_{\infty}^R \vec{d}(\vec{r}) = \gamma M \int_{\infty}^R \frac{dr}{r^2} = \frac{\gamma M}{R} \quad (1.5)$$

alarıq. Yer in cazibə qüvvəsinə məhz bu əlamət xasdır, ona görə də cazibə və ya qravtasiya potensialı adlanır. Fiziki mənası Yer səthinin hər hansı bir nöqtəsində Yer in təsiri altında görülən iş ifadə edir: Yerə nisbətən sükunət halında görülən iş sıfıra bərabərdir. Lakin (1.5) ifadəsinə görə Yer in potensial sahəsində Yer in təsiri altında görülən iş Yer in kütləsi ilə düz, radiusu ilə tərs mütənasıbdır.

Qravitasiya potensialını başqa cür də hesablamaq olar.

Hər hansı bir nöqtəsində potensial funksiyası təyin olunmuş qüvvə sahəsi konservativ sahə adlanır. Bunu aşağıdakı kimi riyazi ifadə etmək olar:

$$U = \gamma \int_M \frac{dM}{\rho} \quad (1.6)$$

(1.4) ifadəsi ilə (1.5) ifadəsi eynidir. Fərq orasıdır ki, (1.4) ifadəsi Yer in cazibə sahəsi təsiri altında vahid m kütləli cismə, (1.5) ifadəsi isə Yer in bilavasitə cazibə potensialıdır. Qravitasiya potensialı cazibə qüvvəsinin potensialı olduğundan qısa olaraq cazibə işlədir.

Cazibəni daha aydın başa düşmək üçün cazibə qüvvəsinin (x, y, z) dekart koordinat oxlarına proyeksiyalarından istifadə edək. Yer in polyar oxu olaraq z , ona perpendikulyar iki radius – x və y götürək. Dekart

koordinat sisteminin mərkəzini Yerın nüvəsi, Yerın cazibə sahəsində cazibə təsiri altında olan olan nöqtəni (maddi nöqtə) $A(x, y, z)$, Yerın səthində cazibə təsiri edən nöqtəni $\partial M(\xi, \eta, \zeta)$, bu nöqtələr arasındakı məsafəni ρ qəbul edək. Fəzada ixtiyari iki nöqtə arasındakı məsafə düsturu

$$\rho = (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2$$

və fəzada hər hansı istiqamətdə təsir edən qüvvənin, bu halda cazibə qüvvəsinin istiqamətləndirici kosinusları, yəni qüvvə ilə koordinat oxları arasındakı bucaq

$$\cos(F, x) = \frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{x - \xi}{\rho}; \quad \cos(F, y) = \frac{\partial \rho}{\partial y} = \frac{y - \eta}{\rho}; \quad \cos(F, z) = \frac{\partial \rho}{\partial z} = \frac{z - \zeta}{\rho};$$

ifadələri riyaziyyatdan məlumdur. (1.5) ifadəsindən potensialın koordinat oxlarına görə birinci tərtib törəmələrini hesablasaq

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x} &= -\gamma \int_M \frac{dM}{\rho^2} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x} = \gamma \int_M \frac{dM}{\rho^2} \cdot \frac{x - \xi}{\rho} = \frac{F}{m} \cos(F, x) = \frac{F_x}{m}; \\ \frac{\partial U}{\partial y} &= -\gamma \int_M \frac{dM}{\rho^2} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial y} = \gamma \int_M \frac{dM}{\rho^2} \cdot \frac{y - \eta}{\rho} = \frac{F}{m} \cos(F, y) = \frac{F_y}{m}; \\ \frac{\partial U}{\partial z} &= -\gamma \int_M \frac{dM}{\rho^2} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial z} = \gamma \int_M \frac{dM}{\rho^2} \cdot \frac{z - \zeta}{\rho} = \frac{F}{m} \cos(F, z) = \frac{F_z}{m}; \end{aligned} \quad (1.7)$$

alarıq. Potensialın bu xassəsindən belə nəticə çıxır ki, Yerın cazibə qüvvəsinin potensialının koordinat oxlarına görə birinci tərtib törəməsi və qüvvənin koordinat oxlarına görə proyeksiyasının vahid kütləyə nisbətində bərabərdir və ya cazibə

qüvvəsi ilə bu qüvvənin koordinat oxları arasındakı bucağın sosinusu hasilinə bərabərdir (burada $\frac{1}{m}$ əmsalı vahid qəbul edilir). Belə olan halda istənilən istiqamətdə və məsafədə cazibə potensialının birinci tərtib törəməsi aşağıdakı kimi olur:

$$\frac{\partial U}{\partial s} = \frac{F}{m} \cos(F, s) = \vec{F}_s \cdot \vec{S}$$

olar. Burada \vec{S} - vahid vektordur. $\frac{1}{m}$ əmsalını vahid götürsək,

$$\partial U = F \cdot dS \cdot \cos(F, s) \quad (1.8)$$

alınar. (1.8) ifadəsi onu göstərir ki, $A(x, y, z)$ nöqtəsinin $\partial M(\xi, \eta, \zeta)$ nöqtəsi tərəfindən cazibəsi zamanı potensialın dəyişməsi $A(x, y, z)$ nöqtəsinin sərf etdiyi məsafənin formasından, yəni ölçüsündən yox, bu məsafənin başlanğıc və son koordinatlarından asılıdır.

(1.8) ifadəsini başqa yolla da almaq olar.

Yer kürəsi iki fırlanma hərəkəti ilə xarakterikdir: öz oxu və Günəş ətrafında fırlanma. Fəzada Yer öz oxu ətrafında qərbdən şərqə doğru, Günəş ətrafında isə şərqdən qərbə doğru fırlanır. Hər iki halda, fizika qanuna görə mərkəzəqaçma təcili yaranır. Yer in öz oxu ətrafında fırlanması zamanı mərkəzəqaçma təcilin istiqaməti Yer in nüvəsinə doğru, Günəş ətrafında fırlanması zamanı isə mərkəzəqaçma təcilin istiqaməti Günəşə doğru

olur. Bu təcillərin istiqamətindən asılı olmayaraq, Yer səthində götürülmüş hər hansı bir nöqtədə \vec{g} cazibə potensialı Yerlə mərkəzinə doğru istiqamətlənmiş \vec{F} cazibə qüvvəsi ilə bu qüvvəyə perpendikulyar və Yerlə öz oxu ətrafında fırlanma oxuna toxunan istiqamətdə olan \vec{P} mərkəzdənqaçma təcilinin cəminə bərabərdir, yəni

$$\vec{g} = \vec{F} + \vec{P} \quad (1.9)$$

Eyni zamanda, Yerlə Günəş ətrafında fırlanması zamanı Yer səthində götürülmüş hər hansı bir nöqtədə \vec{g}_1 cazibə potensialı Günəşə doğru istiqamətlənmiş \vec{F}_1 cazibə qüvvəsi ilə bu qüvvəyə perpendikulyar və Yerlə Günəş ətrafında fırlanma oxuna toxunan istiqamətdə olan \vec{P}_1 mərkəzdənqaçma təcilinin cəminə bərabərdir, yəni

$$\vec{g}_1 = \vec{F}_1 + \vec{P}_1 \quad (1.10)$$

Ymumi cazibə qüvvəsi \vec{G} bu iki \vec{g} və \vec{g}_1 cazibə qüvvələrinin cəmidir, yəni

$$\vec{G} = \vec{g}_1 + \vec{g} \quad (1.11)$$

Nəzərə alsaq ki, Günəş sistemində Yerlə Günəşin ölçülərinə və aralarındakı məsafəsinə görə Yer kürəsi maddi nöqtədir, (1.11) ifadəsində birinci \vec{g} həddini sıfır qəbul etmək

olar. Bu halda, Yer səthinin hər hansı bir nöqtəsində cazibə qüvvəsinin potensialı (1.9) formulu ilə ifadə oluna bilər. Bu formulanın differensial forması aşağıdakı kimidir.

$$U(x, y, z) = V(x, y, z) + P(x, y) \quad (1.12)$$

$P(x, y)$ təşkil edicisi ancaq x və y oxlarına görə təyin edildiyindən və qiyməti çox cüzi olduğundan, eyni zamanda istiqaməti Yer məkəzinə doğru yox, onun öz oxu ətrafında fırlanma oxuna toxunan istiqamətdə olduğundan nəzərə alınmır. Məhz buna görə də Yer səthində götürülmüş hər hansı bir nöqtədə \vec{G} cazibə potensialı Yer məkəzinə doğru istiqamətlənmiş $V(x, y, z)$ cazibə qüvvəsi ilə mütənasibdir.

Beləliklə, Yer təsiri altında olan hər hansı bir nöqtəyə və ya Yer səthində götürülmüş hər hansı bir nöqtəyə, yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, Yer $V(x, y, z)$ cazibə qüvvəsinin yerdəyişmə proyeksiyasının koordinatlarının dəyişməsi təsir edir. Cazibə potensialının tam differensialı aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz \quad (1.14)$$

burada

$$\frac{\partial V}{\partial x} = F \cdot \cos(F, x); \quad dx = ds \cdot \cos(s, x);$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} = F \cdot \cos(F, y); \quad dy = ds \cdot \cos(s, y);$$

$$\frac{\partial V}{\partial z} = F \cdot \cos(F, z) \quad \text{və} \quad dz = ds \cdot \cos(s, z) \quad \text{nəzərə alsaq,}$$

$$dV = Fds[\cos(F, x) \cdot \cos(s, x) + \cos(F, y) \cdot \cos(s, y) + \cos(F, z) \cdot \cos(s, z)] = \\ = F \cdot ds \cdot \cos(F, s)$$

$$dV = F \cdot ds \cdot \cos(F, s) \quad (1.13)$$

ifadəsini alarıq. Bu isə (1.8) ifadəsidir.

Potensialın bir neçə mühüm xassələrinə nəzər salaq.

1.3.1. Kəsilməzlik və müntəzəmlik

Yada salaq ki, cazibə potensialı cazibə qüvvəsinin cazibə qüvvəsinin koordinat oxlarına və ya istənilən istiqamətə görə birinci tərtib törəmədir. Deməli cazibə potensialı sonsuz fəzada kəsilməzdir və kəsilməz olan ikinci və üçüncü tərtib törəməsi mövcuddur. Sonsuzluqda potensial müntəzəm funksiyadır, yəni onun limiti sonsuzluqda sıfır bərabərdir:

$$\lim_{\rho \rightarrow \infty} V = 0$$

Lakin ρ məsafəsinin sonsuzluğa yaxınlaşması ilə V potensialı sıfır yaxınlaşsa da, bu iki kəmiyyətin hasili aşağıdakı son limit qiymətini alır:

$$\lim_{\rho \rightarrow \infty} \rho \cdot V = \gamma \cdot M \quad (1.15)$$

Bu o deməkdir ki, cazibə potensialının kəmiyyəti qravitasiya sabiti ilə Yerin kütləsinin hasilinə bərabərdir.

Beləliklə, yuxarıda qeyd olunmuş ifadə və formulalardan alınır ki, potensial aşağıdakı əsas xassələrə malikdir:

1) V potensialı və onun birinci tərtib törəmələri – birqiymətli dirlər, kəsilməzdirlər və cəzb edən çəkiddən kənar bütün fəzada cəzb olunan nöqtənin koordinatlarının son funksiyasıdır;

2) V potensialı müntəzəm funksiyadır, yəni qarşılıqlı cazibədə olan cisimlər arasındakı məsafə sonsuzluğu yaxınlaşdıqda potensialın limiti sıfıra bərabərdir:

$$\lim_{\rho \rightarrow \infty} V = 0$$

3) M cəzbedən kütlədən uzaqlaşdıqca $\rho \cdot V$ hasilini aşağıdakı limit qiymətini alır:

$$\lim_{\rho \rightarrow \infty} \rho \cdot V = \gamma \cdot M$$

4) Cəzb edən kütlədən xaricdə hər hansı bir nöqtənin cazibə potensialı aşağıdakı Laplas tənliyini ödəyir:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$

Bu ifadənin fiziki mənası: cazibə təcili koordinat mərkəzinə nisbətən cazibə qüvvəsinin koordinat oxları boyunca ikinci tərtib

törəmələrinin cəmidir. Bu, istənilən koordinat sistemində doğrudur.

Cəzb edən kütlənin daxili hər hansı bir nöqtəsində Puasson tənliyini doğrudur:

$$\Delta V = -4\pi \cdot \gamma \cdot \sigma \quad (1.16)$$

Bu ifadənin fiziki mənası isə Yer səthində və ya təkində cazibə təcili sabitdir, ədədi qiymətə cazibə sabitindən, mühitin sıxlığından bilavasitə asılıdır. Məhz bu asılılığa görə qravimetriyada istənilən geoloji məsələ həll oluna bilər.

1.3.2. Tarazlanmış və ya qeoid səthi

Əgər (1.8) ifadəsində $c_{0}(F, s) = 0$ olarsa, $V = 0$ və ya hər hansı $V = const$ sabiti alınar.

Belə səthlər, yəni potensialın cazibə differensialının sabit olduğu səthlər, qravimetriyada

tarazlanmış səthlər adlanırlar

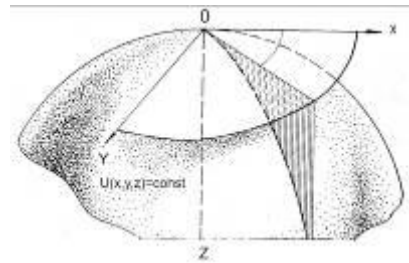
(şək.6.). Fizikadan məlum

olduğu kimi, hər hansı bir

qüvvənin təsir fəzası qüvvə xətləri ilə səciyyələnir və qüvvə

xətlərinin qüvvə istiqaməti ilə hansı bucaq təşkil etməsindən

asılı olaraq, fəzada iş görülür. Qüvvə xətləri qüvvə istiqamətinə

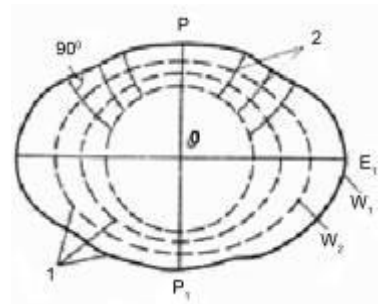


Şəkil 6. Tarazlanmış səthin normal təşkilədici

perpendikulyar olan müstəviyə tarazlanmış müstəvi deyilir. Tarazlanmış müstəvinin fiziki mənası aşağıdakı kimidir.

Tarazlanmış səthlərə təsir edən hər hansı bir qüvvənin tangensial təşkilədiciyi sonsuz-luqdadır, yəni belə səthlər dayanıqlı taraz vəziyyətindədir, yəni tarazlanmış səthlərin qravitasiya potensialı elə bir funksiyadır ki, bu funksiyanın istənilən nöqtəsinə ancaq normal istiqamətdə təsir mövcuddur. Məsələn, adi qabda su və ya okeanın səthi. Belə səthlər **tarazlanmış** səthlərdir və ya

ekvipotensial səthlər adlanır (şək.7). Ancaq yuxarıda



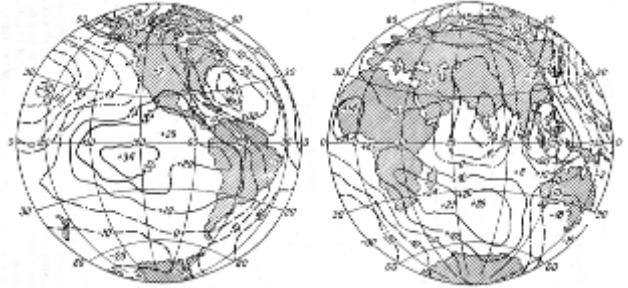
Şəkil 7. Ekvipotensial səthlərin sxematik təsviri

qeyd etdik ki, qravitasiya potensialı (x, y, z) koordinatlarından asılı olan funksiyadır və bu funksiya real təsir sferasından asılı olaraq kəsilməz və müntəzəmdir.

Yerin qravitasiya potensialının tarazlanmış səthi qravimetriyada **geoid** adlanır. Geoid tarazlanmış səthi Yerin başqa planetlərlə, əsasən Günəşlə, qarşılıqlı cazibə sahəsinə görə sabit, yəni dəyişməz qəbul olunur. Əslində isə, geoid səthinin tarazlıq vəziyyəti dəyişə bilər (şək.8). Yerin tarazlıq

vəziyyətinin dəyişməsinə səbəb kainatda planetlərin hərəkət trayektoriyalarının dəyişməsi ola bilər. Bundan başqa Yerin təkində baş verən çox güclü zəlzələ və ya vulkan püskürmələri də Yerin tarazlıq vəziyyətinin dəyişə bilər.

Geoid səthinin ən sadə tənliyi $V = const$ -dir. Fiziki mənası o deməkdir ki, bu səthin potensial sahəsinə cazibə qüvvəsinin təsiri həmişə səthə perpendikulyar



Şəkil 8. Yer kürəsinin geoid xəritəsi

sitiqamətdədir. Geoid nəzəri səthdir və Yerin fiqurasına bu anlayışı ilk dəfə alman fiziki İ.Listinq daxil etmişdir. Fiziki olaraq geoid səthi olaraq elə bir səth götürülür ki, bu səth okeanların potensial səthinə bərabər olmaqla okean səviyyəsində quru sahələrin altına daxil olsun və bu zaman **izostaziya prinsipi** pozulmasın. İzostaziya prinsipi o deməkdir ki, dağlıq sahələrdə potensialın qiyməti mənfi, okeanlarda isə müsbətdir.

1.3.3. Tarazlanmış səthlər arasındakı məsafə

Əgər (1.8) ifadəsində $\cos(F, s)=1$ olsa, $V = F \cdot dS$ olar, yəni

$$dS = \frac{dV}{F} \quad (1.17)$$

alırıq. Bu o deməkdir ki, iki tarazlanmış səth arasında normal boyunca elementar məsafənin dəyişməsi cazibə təsir qüvvəsi ilə tərs mütənəsbdir. Başqa cür də ifadə etmək olar: qravitasiya potensialının elementar artımı, cazibə qüvvəsinin təsiri altında vahid yükün elementar dS dəyişməsində görülən tam işdir. Bu teorem qravimetriyada **Bruns teoremi** adlanır və nəzəri teoremdir, təcrübi olaraq həyata keçirmək mümkün olmayıb. Bu teoremin fiziki mənası aşağıdakı kimidir.

Hər hansı bir V_0 potensial səthdən digər V_K səthinə keçmək üçün müəyyən dV qədər potensial əlavə olunmalıdır, yəni

$$V_K = V_0 + k \cdot dV$$

burada k - Bruns teoreminə görə görülən işdir.

Tarazlanmış səthlərin özünəməxsus əlamətlərindən biri və ən vacibi aşağıdakından ibarətdir: tarazlanmış səthlər heç vaxt bir-birinə paralel və ya perpendikulyar olmur. Bu səthlər arasındakı məsafəni dəyişmək və ya bir səthdən başqa səthə keçmək üçün müəyyən iş görmək lazımdır.

1.3.4. Nyutonian və ya üçölçülü potensial

Fəzada üç ölçülü, ixtiyari formalı A kütləsinin qravitasiya potensialına baxaq. Bu kütlənin hər hansı r məsafədə $P(x, y, z)$ nöqtəsində qravitasiya potensialı və cazibə qüvvəsinin təcilini hesablamaq üçün A kütləsinin elementar $dm(\xi, \eta, \zeta)$ hissəciklərinə bölünərək hər bir hissəciyin effekti hesablanır və A kütləsindən alınan tam effekti hesablamaq üçün alınan nəticə inteqrallanır. (1.5) ifadəsinə görə A kütləsinin $dm(\xi, \eta, \zeta)$ elementar hissəsinin r məsafədə $P(x, y, z)$ yükünə cazibə təcilinin potensialı

$$dU = \gamma \frac{dm}{r} = \frac{\gamma \cdot \sigma \cdot dx dy dz}{x^2 + y^2 + z^2} = \frac{\gamma \cdot \sigma \cdot dx dy dz}{r} \quad (1.18)$$

burada σ - sıxlıq, $dm = \sigma \cdot dx dy dz$ vahid hissəciyin yüküdür. Onda A kütləsinin tam qravitasiya potensialı düzbucaqlı Dekart koordinat sistemində

$$U = \gamma \cdot \sigma \iiint_{xyz} \frac{1}{r} dx dy dz \quad (1.19)$$

alınır. Silindrik koordinat sistemində $dxdydz = r \cdot drd\varphi dz$, sferik koordinat sistemində $dxdydz = r^2 \cdot \sin\theta drd\varphi d\theta$ olduğundan bu sistemlərdə uyğun olaraq aşağıdakı kimi ifadə olunurlar:

$$U = \gamma \cdot \sigma \iiint_{r \varphi z} drd\varphi dz \quad (1.20)$$

$$U = \gamma \cdot \sigma \iiint_{r \varphi \theta} r \cdot \sin\theta drd\varphi d\theta \quad (1.21)$$

Qravitasiya potensialını yaradan cazibə qüvvəsinin Z oxu boyunca təcili isə, yəni istənilən koordinat sistemində şaquli ox boyunca (yaddan çıxarmaq olmaz ki, qravimetriyada Yerın təsir sahəsində onun radiusu boyunca istiqamətlənmiş təcil öyrənilir), uyğun olaraq koordinat sistemlərində aşağıdakı kimi olacaq:

$$g_z = \frac{\partial U}{\partial z} = -\gamma \cdot \sigma \iiint_{xyz} \frac{1}{r^3} dxdydz, \text{ (dekart koor. sistemi) } \quad (1.22)$$

$$g_z = \frac{\partial U}{\partial Z} = -\gamma \cdot \sigma \iiint_{r \varphi z} \frac{Z}{r^2} drd\varphi dz, \text{ (sferik ".....) } \quad (1.23)$$

$$g_z = \frac{\partial U}{\partial z} = -\gamma \cdot \sigma \iiint_{r \varphi \theta} \frac{Z}{r} \cdot \sin\theta drd\varphi d\theta, \text{ (silindrik ... "....) } \quad (1.24)$$

(1.20÷1.22) formulaları ilə hesablanan qravitasiya potensialı qravimetriyada **nyutonian** və ya **üçölçülü potensial** adlanır.

1.3.5. Loqarifmik və ya ikiölçülü potensial

Əgər A kütləsi Y oxu boyunca uzaq məsafəyə təsir edirsə və bu halda (x, y) müstəvisi boyunca təsir eyni qalırsa, onda qravitasiya potensialı nyutoianla yox loqarifmik təyin olunur. Bu halda (1.17) tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$U = \gamma \cdot \sigma \iint_{x,y} dx dy \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dy}{r} \quad (1.25)$$

Y -ə görə olan axırıncı inteqralı təyin olunan üçün $\pm\infty$ -u $\pm L$ -lə əvəz edək (L - burada sonlu kəmiyyətdir). Xüsusi halda L sonsuzluğa yaxınlaşa bilər. Bu inteqralı U_L -lə işarə etsək,

$$U_L = \int_{-L}^L \frac{dy}{r} = \int_{-L}^L \frac{dy}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = \int_{-L}^L \frac{dy}{\sqrt{a^2 + y^2}} \quad (1.26)$$

(burada $a^2 = x^2 + z^2$) alınar. İnteqralı açsaq,

$$U_L = \log \frac{L + \sqrt{L^2 + a^2}}{-L + \sqrt{L^2 + a^2}} \quad (1.27)$$

bərabərliyini alarıq. İkiölçülü sahənin potensialının qiymətini təyin etmək məqsədi ilə xüsusi hal üçün $a^2 = 1$ qəbul edərək (1.25) loqarifmdən çıxsaq. Bu U_L -i təyin etmək üçün vacibdir,

formulu ilə ifadə olunur. Vacib bir məqamı qeyd etmək lazımdır ki, istər nyutonion, istərsə də loqarifmik potensialın hesablanmasında sıxlığın sabit olduğu nəzərdə tutulur.

1.4. Potensial nəzəriyyənin əsas tənlikləri

Divergensiya haqqında olan teorem (Qauss teoremi) təsdiq edir ki, vektor sahəsinin verilmiş həcm üzrə divergensiyasından alınan inteqral sahənin sferik səthi üzrə xarici normal təşkiledicisinin bu həcmi məhdudlayan inteqralına bərabərdir. Qeyd edək ki, divergent funksiya – qiyməti və istiqaməti məlum olan, kəsilməz və müntəzəm vektor funksiyasıdır. Qravitasiya sahəsi, o cümlədən Yerin qravitasiya sahəsi bu əlamətlərə xas olduğundan, Gauss teoreminə görə aşağıdakı bərabərlik doğrudur:

$$\int_V \nabla \cdot \vec{F} dV = \int_S F_n \cdot dS \quad (1.31)$$

Əgər mühitdə cəzb edən yük yoxdursa və ya mühit tarazlıq halındadırsa, onda hər iki inteqral sıfıra bərabərdir. Ancaq (1.31) ifadəsinə görə cazibə qüvvəsi – skalyar potensialın qradtyentidir. Ona görə də

$$\nabla \vec{g} = \nabla \nabla U = \nabla^2 U = 0 \quad (1.32)$$

yəni qravitasiya potensialı xarici mühitdə Laplas tənliyini ödəyir. (1.30) tənliyində ifadə olunmuş bu əlamətə qravimetriyada **laplasian** deyilir və potensialın ümumi halda əsas tənliklərindən biridir. Fiziki mənası – Yerın cazibə sahəsindən kənarında potensialın sıfıra bərabər olması deməkdir, yəni çəkisizlik şəraiti (şəxş 9).

Düzbucaqlı koordinat sistemində Laplas tənliyi aşağıdakı formadadır:

$$\nabla^2 U = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1.33)$$

Silindrik koordinat sistemində

$$\nabla^2 U = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$

Sferik koordinat sistemində isə aşağıdakı kimidir:

$$\nabla^2 U = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} \right) = 0$$

Digər tərəfdən, əgər verilmiş həcmdə müəyyən m yükü cazibə təsiri altındadırsa və bu yük sferik səthin mərkəzi hesab olunarsa, onda (1.29) ifadəsində sağ inteqral

$$\int_S F_n \cdot dS = -\frac{\gamma \cdot m}{r^2} \cdot 4\pi \cdot r^2 = -4\pi \cdot \gamma \cdot m \quad (1.34)$$

qiymətini alar. Bu nəticə m yükünün səthinin hər hansı formada olmasından asılı olmayaraq doğrudur, yəni götürülmüş həcmdə bir m yox, M sayda səth olarsa, onda

$$\int_V \nabla \cdot \vec{F} dV = \int_S F_n \cdot dS = -4\pi \cdot \gamma \cdot M \quad (1.35)$$

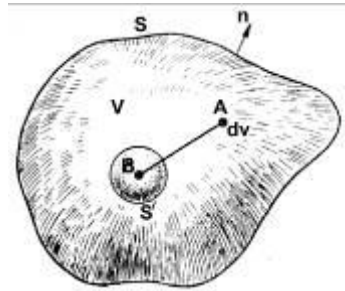
qiymətini alar. Əgər götürülmüş həcmi yox, onun vahid sıxlığa bərabər olan hissəsini götürsək və bu halda inteqralı atsaq,

$$\nabla \cdot \vec{F} = -4\pi \cdot \gamma \cdot \sigma \quad (1.36)$$

qiymətini alarıq. Burada σ - götürülmüş vahid mühitin sıxlığıdır. (1.3) ifadəsinə görə

$$\nabla^2 U = -4\pi \cdot \gamma \cdot \sigma \quad (1.37)$$

alınır, yəni Yerın cazibə təsiri olan mühiddə Yerın təsiri altında olan hər bir nöqtə Puasson tənliyini ödəyir. Buna qravimetriyada **puassonian** deyilir. Fiziki mənası – Yerın cazibə sahəsində olan hər hansı bir cismin potensialı qravitasiya sabiti ilə cismin sıxlığı hasilı ilə düz mütənasibdir



Şəkil 10. Yer səthində cazibə təsiri altında olan nöqtə potensialı

(şəkil.10). (1.30) və (1.34) tənlikləri potensial nəzəriyyəsinin əsas tənlikləridir.

1.5. Cazibə qüvvəsi reduksiyası (düzəlişlər). Normal düzəliş

Yer səthi qravimetriyada şərti olaraq sferoid səth kimi qəbul edilir. Bu səth dünya okean səviyyəsinə yaxın götürülür. Əgər fikri olaraq, bütün dağlıq sahələri okean səviyyəsinə qədər götürürb, okean və dənizləri isə dağ süxurları ilə doldursaq, belə səthə malik olan Yer səthi sferoid adlanır. Yer sferoidi ekvipotensial səthdir, yəni cazibə qüvvəsi bu səthin hər bir nöqtəsində bu səthə perpendikulyardır. 1930-cu ildə sferoid səthi üçün geodezik və geofiziki məsələlərin həllində Beynəlxalq ittifaq vahid formula qəbul edib:

$$g = g_0(1 + \alpha \cdot \sin^2 \varphi + \beta \cdot \sin^2 2\varphi) \quad (1.38)$$

Burada $g_0 = 978,049 \text{ Qal}$ qiymətinə bərabər ekvator da cazibə qüvvəsinin qiyməti, φ - coğrafi en dairəsi, $\alpha = 0,0052884$ və $\beta = -0,0000059$ - sabitlərdir. Bu sabitlər müəyyən dövrdən dövrə dəqiqləşdirilsə də qravimetriyada standart qəbul edilir. Bu ifadə ilə hesablanan düzəliş qravimetriyada **normal** düzəliş adlandırılır. Fiziki mənası - ekvator dan qütblərə doğru cazibə qüvvəsinin qiyməti dəyişir.

Qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat işləri öyrənilən ərazidə müşahidə qöqtələrində qravimetrin göstərişinə görə aparılır. Müşahidə qiymətlərinə müşahidə aparılan nöqtənin coğrafi en

dairəsi Ö dəniz səviyyəsinə nisbətən yüksəkliyi və planalma işləri aparılan ərazinin relyefinə görə elə düzəlişlər vermək lazımdır ki, müşahidə qiymətlərini hər hansı bir səthə görə, məsələn sferoid və ya geoid səthinə görə, reduksiya etmək mümkün olsun. Yüksək dəqiqlikli monitoring tədqiqatlarında Ayın Yer tərəfindən cazibəsindən yaranan axımlılığa və izostazisiyasına görə də düzəlişlər verilir.

(1.38) ifadəsi ilə hesablanmış düzəlişlər qravimetriyada bəzən **en dairəsinə** görə düzəliş də adlanır. Yuxarıda qeyd olunmuşdur ki, Yerin öz oxu ətrafında fırlanması nəticəsində yaranan mərkəzəqaçma təcili ekvatorunda maksimal, qütblərdə isə sıfıra bərabər olur (Yerin Günəş ətrafında hərəkəti nəticəsində mərkəzənaçma təcili nəzərə alınmamaq şərti ilə). Bu mərkəzəqaçma təcilin istiqaməti qravitasiya təcilinin istiqamətinin əksinədir. Eyni zamanda, qütblərdə Yerin radiusunun ekvatora nisbətən qısa olduğundan ($r_{ekv.} = 6378164m$, $r_{qutb.} = 6356799m$) qütblərdə cazibə qüvvəsinin qiyməti ekvatora nisbətən çoxdur (qütblərdən ekvatora g – nin dəyişməsi $5200mQal$). Başqa sözlə, Yerin qütblərdə sıxılmaya görə artmış cazibə qüvvəsi ekvatordakı mərkəzdənqaçma təcili hesabına azalan cazibə qüvvəsini stimullaşdırır, yəni kompensə edir. Ancaq buna baxmayaraq, en dairəsinə görə düzəliş

qravimetriyada nəzərə alınır. Bu düzəlişi hesablamaq və fiziki mənasını başa düşmək üçün (1.35) ifadəsini S məsafəsinə görə differensiallayaq. Burada S məsafəsi müşahidə nöqtəsinin şimal-cənub istiqamətdə yerdəyişmədir, yəni ekvator dan qütblərə doğru.

$$\frac{dg_L}{dS} = \frac{1}{R_{en}} \cdot \frac{dg_L}{d\varphi} \approx \frac{1}{R_{ekv}} \cdot \frac{dg_L}{d\varphi} = 0,812 \sin^2 \varphi \frac{mQal}{km},$$

Burada dS - müşahidə nöqtələri arasındakı məsafənin meridia na proyeksiyasıdır; R_{en} - en dairəsində; R_{ekv} - ekvator da Yer in radiusudur. Bu bərabərlikdə differensialı artımla əvəz etsək,

$$\Delta g = 0,812 \cdot \Delta S \sin^2 \varphi mQal \quad (1.39)$$

alırıq. Göründüyü kimi bu düzəliş müşahidə aparılan məntəqə ilə ekvator da Yer in radiusunun fərqi ndən də asılıdır. Ancaq əsas arqument coğrafi en dairəsinin dəyişməsidir və sinus funksiyası ilə ifadə olunur, onun qiyməti qütblərdə sıfıra, ekvator da maksimuma ($0,812mQal$), $\varphi = 45^\circ$ olduqda isə orta qiymətə ($0,406mQal$) bərabər olur.

Normal və ya en dairəsinə görə düzəliş Yer kürəsinin istənilən nöqtəsi üçün uyğun olaraq Kassinis və Helmert

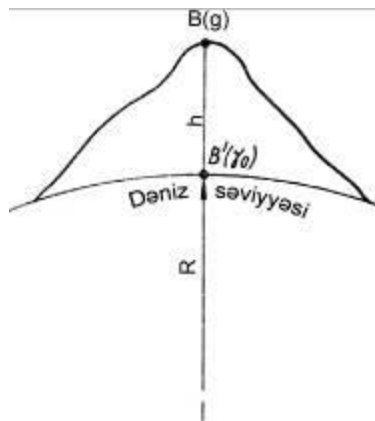
$$g = [978049(1 + 0,0052884 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi)] - 14mQal$$

$$g = [978030(1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi)] - 14mQal$$

düsturlarından istifadə etməklə xüsusi cədvəl tərtib olunmuşdur.

1.5.1. Hündürlüyə görə və ya «hava» düzəlişi

(1.1) formuluna görə cazibə qüvvəsi məsafənin kvadratına tərs mütənasib olaraq dəyişdiyindən qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat, eləcə də tədqiqat işləri zamanı müşahidə olunmuş qiymətlərə, müşahidə aparılan nöqtənin yüksəkliyi ilə dəniz səviyyəsinin hündürlüklər fərqinə görə düzəliş vermək zəruridir (ş.k. 11). Ona görə ki, axtarış-kəşfiyyat və ya tədqiqat işləri aparılmış sahədə bütün qiymətlər eyni bir müstəvi səthinə nisbətən aparılır. Müşahidə aparılan səthlə gətirilmiş səth arındakı yüksəkliklər fərqinə görə verilmiş düzəliş **hündürlüyə görə** düzəliş və ya «**hava**» düzəlişi adlanır. Çünki bu düzəliş müşahidə nöqtədəri arasındakı yüksəkliklər fərqini nəzərə alarkən bu məsafəni boş fəza (hava) kimi qəbul edir və bu fəzada olan hər hansı bir materiyayı nəzərə alınmır. İlk dəfə Fay təklif etdiyi üçün çox vaxt **Fay düzəlişi** də adlanır.



Şəkil 11. Hündürlük və ya hava düzəlişinin fiziki mənası

Bu düzəliş (1.3) ifadəsini Yerin radiusuna görə differensiallamaqla alınır.

$$\frac{dg_H}{dR_{en}} = -\frac{2\gamma M_{yer}}{R_{en}^3} \approx -\frac{2q}{R_{ekv}} \approx -0,3086 \frac{mQal}{m}$$

Burada $q = \frac{\gamma M_{yer}}{R_{en}^2}$ sabitdir. Bu bərabərlikdə differensialı artımla əvəz etsək,

$$\Delta g_H = -0,3086 \cdot \Delta HmQal \quad (1.40)$$

alınır. Hündürlüyə görə düzəlişdə «minus» işarəsi on görə qoyulur ki, əgər müşahidə məntəqəsi gətirilmə səthindən yüksəkdədirsə, bu düzəliş müşahidə olunmuş qiymətlərlə toplanılır, əgər əksinədirsə, yəni müşahidə məntəqəsi gətirilmə səthindən aşağıdadırsa, bu düzəliş müşahidə qiymətlərindən çıxılır. Başqa sözlə, «minus» işarəsi müşahidə məntəqəsi ilə gətirilmə səthi arasındakı yüksəkliklər fərqi kompensə edir.

1.5.2. Buge düzəlişi

Buge düzəlişi müşahidə məntəqəsi ilə gətirilmə səthin hündürlükləri arasındakı fərqi və bu fəzanı dolduran materiyayı nəzərə alır. Eyni ilə (1.3) ifadəsini Yerin radiusuna görə differensiallasaq:

$$\frac{dg_B}{dR_{en}} = \frac{dg_B}{R_{ekv}} = 2\pi \cdot \gamma \cdot \Delta\sigma \frac{mQal}{m}$$

Bu bərabərlikdə differensialı artımla əvəz etsək,

$$\Delta g_B = 0,0419 \cdot \Delta\sigma \cdot \Delta H mQal \quad (1.41)$$

alarıq. Burada $\Delta\sigma$ öyrənilən fəzada sıxlıqlar fərqidir.

Tamamilə haqlı olaraq belə bir sual meydana çıxır: (1.3) ifadəsini hər iki halda Yerın radiusuna görə differensiallayaraq tamamilə müxtəlif işarəli və qiymətli nəticələr aldıq. Yaddan çıxarmaq olmaz ki, birinci halda (1.3) funksiyasına vektorial, ikinci halda isə skalyar funksiya kimi qəbul olunurdu. Bu axtarılan arqumentdən asılıdır.

Buge düzəlişi hündürlüyə görə düzəlişdən fərqli olaraq, əgər müşahidə nöqtəsi gətirilmə səthindən yüksəkdədirsə, bu düzəliş müşahidə qiymətlərindən çıxılır, əksinə olduqda toplanır. Buge düzəlişi ilə hündürlüyə görə düzəlişin işarələri bir-birinin əksinədir. Düzəlişlərin bu xassəsinə görə qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat işlərində düzəlişin heç birindən ayrılıqda istifadə olunmur, yəni bu düzəlişlərdən birgə istifadə olunur və aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\begin{aligned} \Delta g_B &= \frac{dg_B}{dR_{en}} + \frac{dg_B}{R_{ekv}} = 0,0419 \cdot \Delta\sigma \cdot \Delta H - 0,3086 \cdot \Delta H = \\ &= (0,0419 \cdot \Delta\sigma - 0,3086) \cdot \Delta H, mQal \end{aligned} \quad (1.42)$$

Göründüyü kimi Buge düzəlişi iki arqumentli funksiyadır. Öyrənilən süxur laylarının sıxlıqlar fərqindən və müşahidə nöqtəsi ilə gətirilmə səthin hündürlükləri fərqindən. Bu düzəlişin verilməsində belə fərz olunur ki, layların sıxlıqları arasındakı fərq sabitdir və layın ölçüləri sonsuzluqdadır. Həqiqətdə isə heç vaxt belə olmur, həm sıxlıqlar fərqi, həm də layın ölçüləri dəyişkəndir. Eyni zamanda, müşahidə nöqtələri arasındakı hündürlüklər fərqi də dəyişkəndir. Sıxlıqlar fəqinə görə dəqiq düzəliş vermək üçün öyrənilən sahəningeologiyası haqqında, o cümlədən süxurların petrofiziki xüsusiyyətləri haqqında məlumat dəqiq olmalıdır. Eləcə də layların tektonikası haqqında məlumət dəqiq olmalıdır.

1.5.3. Prey düzəlişi

Qravimetrin tarazlığa gətirilməsində ortaya çıxma biləcək xətalara aradan qaldırmaq üçün Prey düzəlişindən istifadə olunur. **Prey düzəlişi**, bir qravimetrdən yox, bir neçə qravimetrdən istifadə etməklə nəzərə alınır. Bu qravimetrlər elə yerləşdirilir ki, onların ölçü yükü bağlanmış lingləri bir-birinin əksinə olsun.

Qravimetriyada ilk dəfə macar alimi Prey təklif etdiyi üçün Prey düzəlişi adlanır. Bu düzəlişin məqsədi, Yer səthinin hər

hansı fiziki nöqtəsində müşahidə olunmuş ağırlıq qüvvəsi təcilinin qiymətini geoid səthinə gətirməkdir. Yerin təkində və ya su hövzələrinin dibində (dəniz, okean, göl) qravimetrik tədqiqat işləri apararkən bu reduksiyanın həyata keçirilməsi vacibdir. Prey düzəlişini zesablamaq üçün (1.37) ifadəsində verilmiş hava düzəlişindən müşahidə nöqtəsi ilə dəniz səviyyəsi arasında olan aralıq qat təsirinin iki qat qiymətini çıxmaq lazımdır:

$$\begin{aligned} \Delta g_p &= (0,3086 \cdot \Delta H - 2 \cdot 0,0419 \cdot \Delta \sigma \cdot \Delta H) mQal = \\ &= (0,3086 - 0,0838 \cdot \Delta \sigma) \cdot \Delta H mQal \end{aligned} \quad (1.43)$$

Aralıq qat effektinin iki qat götürülməsi aşağıdakı kimi izah olunur: müşahidə nöqtəsi Yerin təkində, yəni müəyyən bir dərinliyində yerləşdikdə, üstə yerləşən aralıq qatın cazibə təcili iki qat çox olur, su hövzəsinin dibində yerləşdikdə isə aralıq qatın cazibə təcili iki qat azalır. Uyğun olaraq su hövzəsi dibində ΔH müsbət, Yerin müəyyən dərinliyində isə mənfi götürülür. Ona görə də hesabi mənada su hövzəsi dibində bu qiymət, yəni aralıq qatın iki qat effekti, hündürlüyə görə düzəlişdən çıxılır, Yerin müəyyən dərinliyində isə əksinə, aralıq qatın iki qat effekti hündürlüyə görə düzəlişə əlavə olunur.

1.5.4. Etveş düzəlişi

Qravimetr quraşdırılan nəqliyyat vasitəsinin hərəkət sürətinə və istiqamətinə görə verilən düzəliş **Etveş düzəlişi** adlanır. Bu düzəlişin fiziki mənası aşağıdakı kimidir.

Yuxarıda qeyd etmişdik ki, Yer kürəsi iki fırlanma hərəkətinin təsiri altındadır: Günəş ətrafında – qərbdən şərqə doğru, və öz oxu ətrafında – qərbdən şərqə doğru. Bu qüvvələrdən başqa Yerin cazibə qüvvəsi təcilin mütəlak potensial qiyməti ekvator dan qütblərə doğru artır. Bu amillər qravimetrin göstərişinə təsir göstərir və onların təsirinə görə Etveş düzəlişi verilir.

Buradan belə çıxır ki, əgər dəniz qşravimetrik planalmada qravimetr quraşdırılmış nəqliyyat vasitəsi müəyən bir bucaq altında qərbdən şərqə doğru hərəkət edirsə, onda nəqliyyatın sürəti Yerin öz oxu ətrafında fırlanma sürətinə əlavə olunur və bu halda mərkəzəqaçma təcilinini qiyməti artır, qravimetrin göstəricisi isə azalır. Əgər hərəkətdə olan nəqliyyat şərqdən qərbə doğru hərəkət edirsə, nəqliyyatın sürəti əks işarə ilə Yerin öz oxu ətrafında fırlanma sürətinə əlavə olunur və bu halda mərkəzəqaçma təcilin qiyməti azalır, qravimetrin göstərişi artır. Bu əlamətə görə Etveş düzəlişinə bəzən mərkəzəqaçma təcilinə görə düzəliş də deyilir.

Etveş düzəlişi

$$dg_E = 7,503 \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha + 0,004154 \cdot V^2 \quad (1.45)$$

brabərliyi ilə hesablanır. Burada V - hərəkət edən nəqliyyatın dyünlə verilmiş sürəti, φ - müşahidə götürülmüş nöqtənin en dairəsi, α - nəqliyyatın hərəkət istiqamətinin azimutudur. Etveş düzəlişinin vahidi $mQal$ -dır. İrimiqyaslı işlərdə Bərabərliyin sağ tərəfindəki ikinci hədd nəzər alınmır və birinci həddə olan en dairəsi bucağının kosinusu da çox cüzi dəyişdiyindən Etveş düzəlişi

$$dg_E = 7,503 \cdot V \cdot \sin \alpha \quad (1.44)$$

formulu ilə hesablanır.

Beləliklə, Etveş düzəlişi əsasən hərəkət sürətindən və istiqamətindən asılı olan ik arqumentli fueksiyadır. Qeyd etmək lazımdır ki, Etveş düzəlişi təkcə dəniz akvatoriyasında aparılan qravimetriya işlərində nəzərə alınmır. Aeroqravimetriya işlərində də bu düzəlişin rolu az olmur. Məsələn, saatda 200 mil sürəti ilə uçan təyyarə ilə aparılan qravimetriya işlərində Etveş düzəlişinin qiyməti $1000mQal$ -dır.

1.5.5. Topoqrafiya düzəlişi

Bu düzəliş axtarış-kəşfiyyat və tədqiqat işləri aparılan ərazidə miqyasdan asılı olaraq relyef yüksəkliklərinə görə verilir və əsasən **relyef** düzəlişi adlanır. Dağlar və dərələr qravimetrə eyni təsir edir, lakin biri qravimetrin göstəricilərinə müsbət təsir edirsə, digəri mənfi təsir edir. Qravimetriyada quru ərazilərdə axtarış-kəşfiyyat işləri aparılan zaman bu düzəliş mütləq nəzərə alınır: dağlar qravimetrin göstəricisini azaldır (qravimetrin ölçü yükünü yuxarı cəzb etdiyi üçün), dərələr də qravimetrin göstəricisini azaldır (qravimetrin ölçü yükünü aşağı çəkən labüd qüvvənin olmaması üçün). Ona görə də relyef düzəlişi həmişə müşahidə qiymətinə əlavə olunur (toplanır) və ya həmişə müsbətdir.

Topoqrafiya düzəlişini hesablamaq üçün bir neçə üsul mövcuddur. Bu üsulların hamısı topogeodeziya xəritələrinə əsaslanır. Bütün üsullarda eyni prinsip gözlənilir: - iş aparılmış sahə sektorlara bölünür, hər bir sektorda relyefin yüksəkliyinin orta qiyməti hesablanır və sektorlarda alınmış relyefinin orta qiymətləri müşahidə nöqtəsindəki relyef yüksəkliyi ilə müqayisə edilir.

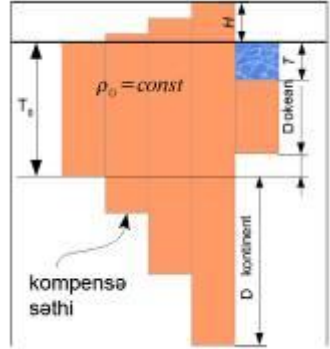
Relyef düzəlişini hesablamaq üçün (1.3) ifadəsini Yer radiusuna və müşahidə nöqtəsi ilə sektorlarda alınan yüksəkliklərin müqayisəsinə görə differensiallasaq, aşağıdakı ifadəni alarıq;

$$\Delta g_T = \gamma \cdot \Delta \sigma \cdot \theta \left[(r_0 - r_1) + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_0^2 + z^2} \right] \quad (1.46)$$

burada θ - sektor bucağı, $z = |h_s - h_{or}|$, h_s - müşahidə nöqtəsinin, h_{or} - sektordə relyefin orta yüksəkliyi, r_0 , r_1 - sektorun daxili və xarici radiusudur.

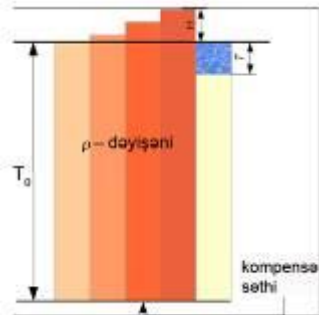
1.5.6. İzostaziya düzəlişi

İzostaziya nəzəriyyəsinin mahiyyəti aşağıdakından ibarətdir: hesab olunur ki, bloklar şaquli istiqamətdə aşağıda yerləşmiş bloklara təzyiq edərək, yatma dərinliyi yerin relyefinin formasından asılı olan bərabər təzyiq səthi yaradırlar. İzostaziya nəzəriyyəsinin



Şəkil 15. Eri modeli

iki modeli məlumdur. Eri modelinə görə (şək.15) blokların sıxlıqları dəyişməzdir, lakin yer qabığının qalınlığı dəyişərək «dağların kökü»nü və okeanların «antikökü»nü yaradırlar. Pratt modelinə görə (şək.16) kompensasiya dərinliyi dəyişməzdir, tarazlıq isə blokların sıxlığının lateral dəyişməsi hesabına baş verir.



Şəkil 16. Pratt modeli

Əgər Yer in sıxlığı izotrop (bütün istiqamətlərdə eyni) və ya lateral (hər hansı bir istiqamətdə) dəyişkən olsaydı, onda yuxarıda qeyd olunan düzəlişlər qravimetrik axtarış-kəşfiyyat və tədqiqat işlərində nəzərə alındıqdan sonra qravimetrin göstəricisi bütün müşahidə nöqtələrində eyni olardı. Ancaq bu belə olmur. Ona görə ki, nəinki sıxlıq lateral dəyişmir, süxur laylarının qalınlıqları və yatma dərinlikləri də dəyişkəndir. Ümumən, Yer səthində aparılan qravimetrik müşahidələr görə tərtib olunmuş xəritələri müqayisə edərkən belə məlum olub ki, dünya okean səviyyəsinə görə ortalaşdırılmış Buge funksiyası ilə reduksiyalanmış anomaliyaları sifra bərabərdir, yəni okeanların ərazisində bu anomaliyalar müsbət, dağlıq ərazilərdə isə bu anomaliyalar mənfi qiymətlərlə xarakterizə olunurlar.

Bu böyük miqyaslı effektlər Yer qabığı sıxlığının qeyri-bircins olması ilə izah olunur və onu göstərir ki, okeanların altında yer qabığı dağların altındakına nisbətən daha böyük sıxlığa malikdir. Bu böyük miqyaslı sistematik dəyişmənin təbiətini izah etmək üçün 100 ildən çox əvvəl iki hipotez irəli sürülmüşdü: birini Q.V.Eri, digərini isə ingilis arxiyepiskopu C.Ş.Pratt. Hindistanda ingilis ordusu geodezik planalma apararkən aşkar olunmuşdur ki, Himalay dağlarının cənub ərazilərində astronomik və geodezik koordinatlar arasında çox

fərq alınır. Bu fərq olmamalıdır, çünki dağlar və onlara bitişik düzənlik eyni sıxlığa malikdirlər. Bu hadisədən sonra Q.V.Eri öz hipotezini irəli sürmüşdür ki, böyük sıxlığa malik qabığın altında nisbətən az sıxlıqlı süxur layı mövcuddur və böyük sıxlıqlı qat az sıxlıqlı qatın üstündə «üzür». Bu hipotezə təsviri şəkl.15-də verilib. Burada T - Yer qabığının, h - kontinent (quru) sahələrdə çökmə qatın, h' - kontinentlərin altında, h'' - okeanların altında d isə okeanların dibində çökmə qatın orta qalınlığıdır. Başqa sözlə, Eri hipotezinə görə kontinent və okeanların altında sıxlıq eynidir, yuxarıda qeyd olunan qalınlıqlar isə dəyişkəndir: Dəniz səviyyəli düzənlik sahələrə nisbətən dağların altında qalınlıq çoxdur, okean sahələrdə isə azdır. Dağların «kökü» daha dərinidir. Bu elmi mülahizə Böyük QURAN-da aşağıdakı kimi əhyə olunub:

Bundan dörd il sonra C.Ş.Pratt həmin hesablamalar əsasında hipotez irəli sürmüşdür ki, hər iki halda böyük sıxlıqlı qat az sıxlıqlı qatın üstündə «üzür», lakin kontinental sahələrdə relyefdən asılı olaraq sıxlıq dəyişir, yəni azalır (şəkl. 16). İndiyə qədər hansı hipotezin daha düzgün olduğu mübahisəlidir.

1889-cu ildə geoloq S.E.Datton izostazisiya düzəlişini təklif edib və Eri-Pratt düzəlişi adlandırılıb. Bu düzəliş böyük miqyaslı işlərdə okean və quru ərazilərin təmas zonalarında Yer

qabığının sıxlıqlar fəriqinə görə verilir. Axtarış-kəşfiyyat və monitoring tədqiqat işlərində nəzərə alınmır.

1.5.7. Yer səthinin qabarma-çəkilməsinə görə düzəliş

Bu düzəliş Yerin Günəş və Ayın Yer tərəfindən cazibəsi nəticəsində Yer səthində baş vermiş qabarma və ya çəkilmələrə görə verilir. Bu düzəlişin mütləq

cəm qiyməti $\approx 0,24mQal$ -dır.

Yüksək dəqiqlikli kəşfiyyat və monitoring tədqiqat işlərində bu

düzəlişin nəzərə alınması çox labüd olsa da heç vaxt nəzərə alınmır. Ona görə ki, düzəlişin dəqiq nəzərə alınması üçün

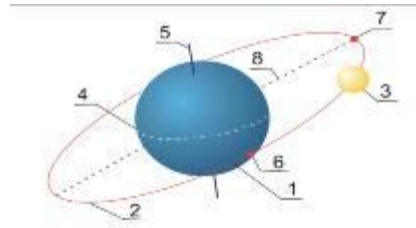
məhz ölçü götürülən anda Ayın Yerə nisbətən və Yerin Günəşə

nisbətən fəza vəziyyətləri və

astronomik parametrləri çox dəqiq məlum olmalıdır. Bu

isə düzəlişin hesablanması üçün çox vaxt tələb edir.

Ayın Yer tərəfindən, Yer isə Günəş tərəfindən



Şəkil 17. Ay və Yer orbital elementləri. 1-Yer; 2-Ayın orbiti; 3-Ay; 4-Yerin ekvator xətti; 5-Yerin fırlanma oxu; 6-perigey nöqtəsi; 7-apogey nöqtəsi; 8-apsid oxu.



Şəkil 18. Ay, Günəş və Yer qarşılıqlı təsirində əsas astronomik elementlər

cazibə təsiri kifayət dərəcədə nəzərə çarpandır. Bu qarşılıqlı cazibə nəticəsində planetlərin bir-birinə qarşı olan səthləri cazibə qüvvəsi təsirindən deformasiyaya məruz qalır. Ay və Günəşin səthlərinin deformasiyaya uğraması, əlbəttə nəzəridir, çünki onların səthlərinin hansı dərəcədə deformasiyaya uğramasını hesablamaq çətindir, lakin onların Yerlə qarşılıqlı cazibəsindən Yer səthinin axımlılığı nəticəsində qravitasiya sahəsi aşağıdakı qiymətlərlə xarakterizə olunurlar:

$$\delta_{AY(\max)} \approx 0,16452mQal; \delta_{GUNESH(\max)} \approx 0,07576mQal .$$

Burada $\delta_{AY(\max)}$ və $\delta_{GUNESH(\max)}$ uyğun olaraq Ay və Günəşin Yerlə cazibəsi nəticəsində Yer səthində yaranan qravitasiya axımlıq effektidir və qeyd olunduğu kimi cəm qiymət $\approx 0,24mQal$. Bu qiymət 1.37 ifadəsi ilə müqayisə olunduqda $\approx 0,78m$ alınır, yəni Ay və Günəşin Yerlə cazibəsi nəticəsində Yer səthində $\approx 0,78m$ qabarma və ya çəkilmə alınır.

Ayın Yer ətrafında fırlanma periodu (siderik period) dəqiqliyi ilə Ayın öz oxu ətrafında vırlanma perioduna bərabərdir, ona görə də Ay həmişə bir tərəfi ilə Yerə dönmüş olur. Bu halın fiziki səbəbi axımlıq qüvvələridir. Ay və Günəşin cazibəsi nəticəsində quru və dəniz ərazilərində Yer

kürəsi səthinin periodik rəqsi **qabarma-çəkilmə** adlanır və qravitasiya effekti aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$\delta_{AY(\max)} = 1,2 \frac{\gamma \cdot M_{AY} \cdot R_{YER}}{Z_{zenit}^3} (3 \cos^2 \beta_{zenit} - 1) + 1,8 \frac{\gamma \cdot M_{AY} \cdot R_{YER}^2}{Z_{zenit}^4} (5 \cos^3 \beta_{zenit} - 3 \cos \beta_{zenit}) + 0,457 \frac{\gamma \cdot M_{AY} \cdot R_{YER}}{Z_{zenit}^3}$$

Burada $\delta_{AY(\max)}$ - Ayın Yerlə təsirdən cazibə effekti, γ - qravitasiya sabiti ($6,674 \times 10^{-11} \text{m}^3/\text{kq} \cdot \text{s}^2$); M_{AY} - Ayın kütləsi ($7,35 \times 10^{22} \text{kq}$); R_{YER} - Yer radiusu (6378160m); Z_{zenit} - geosentrik zenit məsafəsi; β_{zenit} - geosentrik zenit bucağı.

Bu ifadə çox mürəkkəb astronomik riyazi çevrilmələrdən alınmış son asılılıqdır və həmişə dəyişən arqumentli və bu dəyişmədə heç bir qanunauyğunluq və ya periodiklik olmayan iki arqumentdən ibarətdir: geosentrik zenit məsafəsindən və zenit bucağından. Ona görə də qabarma-çəkilmə hadisələri adi fiziki proses olmasına baxmayaraq, bu hadisənin səbəb olduğu qravitasiya effektini hesablamaq təcrübədə çətinidir. Hər dəfə konkret kəmiyyətə uyğun olaraq effekti hesablamaq lazımdır. Çətinlik orasındadır ki, Ayın Yer ətrafında fırlanması müddətinin (orta hesabla 27,4 gün) və Ay fazaları periodunun təkrarlanmasının (orta hesabla 29,5 gün), batmış və bədirlənmiş Ay və orbitin hansı nöqtəsində (perigey və apogey) onun

yerləşməsinin, nəhayət Ayın Yerə maksimal yaxınlaşması və ya uzaqlaşması qabarma-çəkilmədən irəli gələn qravitasiya effektinin dəqiq hesablanmasına ciddi mane olur. Məhz bu səbəblərdən axtarış və kəşfiyyat işlərində qabarma və çəkilmə düzəlişi nəzərə alınmır.

Yer səthinin hər hansı bir nöqtəsində Ay və ya Günəş tərəfindən gazibə qüvvəsinin potensialı ümumi formada aşağıda verilmiş Lejandr polinomu ilə ifadə olunur:

$$U = \frac{\gamma \cdot M}{r} \sum \left(\frac{\rho}{r} \right)^n \cdot P_n(\cos Z) \quad (1.48)$$

Burada ρ - Yer radius-vektoru, Z - müşahidə nöqtəsindən qabarma-çəkilmə yaradan cismə (Ay və Günəş) qədər olan zenit məsafəsi, r - Yer və qabarma-çəkilmə yaradan cisimlərin mərkəzləri arasındakı məsafə, M - qabarma-çəkilmə yaradan cismin kütləsi, P_n - n dərəcəli Lejandr polinomudur. Qabarma-çəkilmə əsasən Lejandr polinomundan asılıdır. Lokal koordinat sistemə keçərək, mürəkkəb astronomik çevrilmələrdən sonra yerin ekvatorunda Lejandr polinomu aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\cos \alpha = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cosh \quad (1.47)$$

Burada δ - qabarma-çəkilmə yaradan cismin əyilmə bucağı, α - qabarma-çəkilmə yaradan cismin üfiqi bucağı, $h = \alpha - s$ -

qabarma-çəkilmə yaradan cismin hər bir saatdan bir dönmə bucağı, S -saatla ifadə olunan zamandır və $s = S + \lambda$ bərabərliyi ilə hesablanır, S - Qrinviç meridianında ulduza görə zaman, λ - Yer səthində müşahidə nöqtəsinin şərq uzunluq bucağı, φ - Yer səthində müşahidə nöqtəsinin coğrafi en dairəsidir. Bu bərabərliyin sol tərəfini r -ə vurub bölərək və $\frac{1}{r}$ arqumentinə görə üçüncü dərəcədən differensiallasaq, istənilən S zaman anında koordinatları (φ, λ) olan nöqtədə qabarma-çəkilmə nəticəsində yaranan potensial, aşağıdakı formula ilə hesablanı bilər:

$$U_A = D \left(\frac{C}{r} \right)^3 \left[\cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \delta \cdot \cos 2h + \sin 2\varphi \cdot \sin 2\delta \cdot \cosh + \right. \\ \left. + 3 \left(\sin^2 \varphi - \frac{1}{3} \right) \cdot \left(\sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \right] \quad (1.49)$$

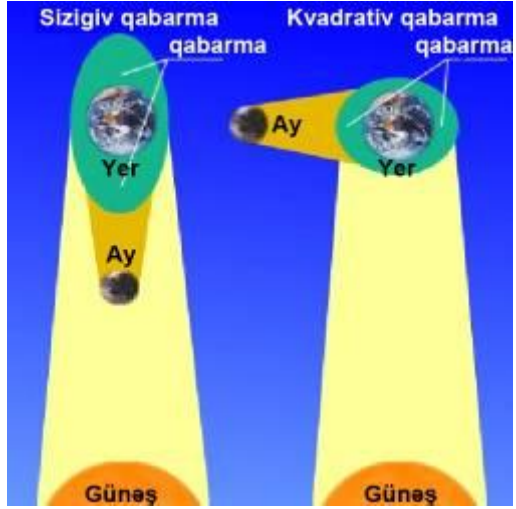
burada C - Yer və qabarma-çəkilmə yaradan cisimlərin mərkəzləri arasındakı orta məsafə, D - sabitdir. Bu sabit Ay üçün $D_{Ay} = 2.6206$, Günəş üçün isə $D_{Gyn.} = D_{Ay} \cdot 0.46051$ -dir. Bu sabiti ilk dəfə təcrübi yolla alan alimin şərəfinə olaraq **Dudson sabiti** adlanır və ölçü vahidi (m^2/san^2) qəbul olunub. Fiziki mənası bir saniyə kvadratında Ay və ya Günəş bir kvadrat metr fırlanarsa, onun Dudson ədədi, uyğun olaraq, yuxarıdakılarına bərabərdir. (1.49) formulasının köməyi ilə dünyada nəhəng

şəhərlər üçün qabarma-çəkilmə yaradan potensial konkret coğrafi koordinat üçün hesablanıb və nəzarət altındadır. Bu kəmiyyətin dəyişməsinə nəzarət etməkdə məqsəd baş verə biləcək kataklizmlərin və güclü zəlzələlərin əvvəlcədən öyrənilməsidir. Həqiqət naminə, hələlik bu kəmiyyətin dəyişməsi heç bir kataklizm və güclü zəlzələ haqqında heç bir məlumat verməyib.

Şəkil 19-da Ayın öz orbitində hərəkəti zamanı Günəş və Yerə nisbətən kainatda yerləşməsindən asılı olaraq sizigiv və kvadratur qabarma təsvir olunub. Günəş, Yer və Ay bir xətt boyunca düzləndikdə (orbitlərin absid oxları üst-üstə düşdükdə və ya paralel olduqda) Günəş və Ayın Yerlə cazibəsi bir istiqamətdə olur və mütləq qiyməti orta qiymətdən xeyli çox olur (şəkildə soldan). Bu halda qabarma **sizigiv** adlanır. Sizigiv qabarma batmış və bədirlənmiş Ay fazalarında baş verir.

Ay və Günəşin Yerlə cazibəsi bir-birinə perpendikulyar olduqda (orbitlərin absid oxları perpendikulyar olduqda) bir-birinin cazibəsini zəiflədir və bu halda qabarmanın mütləq qiyməti orta qiymətdən xeyli aşağı olur. Bu halda qabarma **kvadratur** adlanır (şəkildə sağdan). Kvadratur qabarma Ay fazasının birinci və dördüncü rübündə baş verir. Yerlə, eləcə də Ayın, geologiyasının təkamülündə sizigiv qabarmanın rolu daha

böyükdür. Ancaq atmosferin (ekologiyanın) dəyişməsinə kvadratur qabarma daha güclü təsir edir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu mülahizələr nəzəri xarakterlidir, hələlik təcrübədə təsdiq olunmayıb.



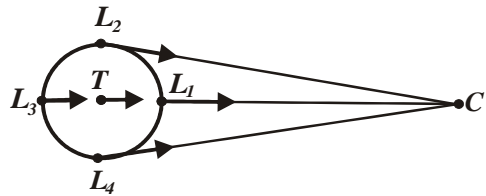
Şəkil 19. Sizigiv və kvadrativ qabarmanın təsviri.

1.6. Yer in cazibə sahəsi və kainat cisimləri.

Ayin hərəkətinə təsir edən qüvvə

Ay üçün Yer mərkəzi cisimdir, lakin onun Yer ətrafında orbital hərəkətinə əsas təsir edici qüvvə isə Güneş tərəfindən cazibə qüvvəsidir. Başqa planetlər də Ayın hərəkətinə təsir edir, ancaq onların təsiri Güneşin təsirindən dəfələrlə kiçikdir. Güneş tərəfindən Aya təsir edən cazibə qüvvəsinin təcili

$$\psi = G \frac{M}{r_1^2}$$



Şəkil 20. Ayın hərəkətinə təsir edən qüvvələrin təsviri

formulu ilə ifadə olunur. Burada M - Günəşin kütləsi, r_1 - Günəşdən Aya qədər olan məsafədir. Yer tərəfindən Aya təsir edən cazibə qüvvəsinin təcili

$$g = G \frac{m}{r^2}$$

formulu ilə ifadə olunur. Burada m - Yerin kütləsi, r - Yerdən Aya qədər olan məsafədir. ψ -nin qiymətini g -nin qiymətinə bölsək,

$$\frac{\psi}{g} = \frac{M}{m} \left(\frac{r}{r_1} \right)^2$$

bərabərliyini alarıq. Belə ki, $\frac{M}{m} = 333000$, $\frac{r}{r_1} = \frac{1}{390}$ olduğundan

Ayın Günəşlə cazibəsi, Yerlə cazibəsindən iki dəfədən də çoxdur. Ancaq Ayın hərəkətinə Günəşin cazibə qüvvəsi yox, Günəşin Yer və Ayla cazibə qüvvəsinin fərqi təsir edir. Bir halda ki, Günəşin Yerlə cazibəsindən Yerin cazibə təcili

$$\psi' = G \frac{m}{a^2},$$

hansı ki, burada a Yerdən Günəşə qədər olan məsafədir, onda uyğun olaraq Ay hərəkətinə olan təsirdən yaranmış $\Delta\psi$ təcil ψ və ψ' təcillərinin fərfinə bərabərdir.

Ay L_1 nöqtəsindən (şək. 20) keçdikdə, yəni Ayla Günəşin arasında olduqda, $\Delta\psi$ təcili, uyğun olaraq təsir qüvvəsi, ən böyük qiymət alır. Bu halda

$$\Delta\psi = \frac{G \cdot M}{(a-r)^2} - \frac{G \cdot M}{a^2} = G \cdot M \frac{2a-r^2}{(a-r)^2 \cdot a^2} \text{ alınır. Yerdən Aya}$$

qədər məsafə (r), Yerdən Günəşə qədər məsafədən (a) çox kiçikdir, onda $a-r$ fərqi a məsafəsindən az fərqlənir və bu halda məxrəcdə olan mütərizəni a^2 ilə əvəz etmək olar, surətdəki r^2 -ni isə nəzərə almamaq olar. Onda yuxarıdakı bərabərlik aşağıdakı kimi qəbul oluna bilər:

$$\Delta\psi \approx G \frac{2 \cdot r \cdot M}{a^3}$$

Ay L_3 nöqtəsindən (şəkil 12) keçdikdə, yəni Yer Ay və Günəşin arasında olduqda, Günəşin Ayla cazibə $\Delta\psi'$ təcili, uyğun olaraq təsir qüvvəsi, demək olar ki, L_1 vəziyyətində olduğu kimidir. Bu halda

$$\Delta\psi' = \frac{G \cdot M}{a^2} - \frac{G \cdot M}{(a+r)^2} \approx G \frac{2 \cdot r \cdot M}{a^3} \text{ alınır.}$$

Beləliklə, Ayın hərəkətinə təsir edən qüvvə təsir məsafəsinin (Ay və Günəş arasındakı məsafə) kvadratı ilə yox, kubu ilə tərs mütənəsbdir və aşağıdakı ifadədən hesablanan qiymətə,

$$\frac{\psi'}{g} = 2 \frac{M}{m} \left(\frac{r}{a} \right)^3$$

yəni təqribən Yerlə Ay arasındakı cazibə qüvvəsinin $\frac{1}{90}$ -nə bərabərdir. L_1 vəziyyətində Günəşin təsir qüvvəsi Ayı Yerdən „itələyir“ (şəkildə oxla göstərilib), L_3 vəziyyətində isə Yeri Aydan „itələyir“. L_2 və L_4 vəziyyətlərində isə Ayı və Yeri bir-birinə sanki „yaxınlaşdırır“, çünki bu vəziyyətlərdə Günəşin Aya və Yerə cazibə qüvvəsi qiymətcə eynidir, lakin təsir qüvvəsi bir-birinə əks olan bucaq altındadır.

1.7. Anomaliyalar

Buge anomaliyası. Qravimetryada axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat işlərində qarşıda qoyulmuş məqsəddən asılı olaraq bir sıra anomaliyalardan istifadə olunur. Anomaliya hansı düzəlişə görə hesablanmasından asılıdır. Başqa sözlə, qravitasiya sahəsini öyrənərkən sahəni normal və anormal təşkeildicilərə ayırmaqla işi asanlaşdırmaq olur. Ağırqlıq qüvvəsi cazibə sahəsinin şaquli ox boyunca təsirdir. Hər hansı müşahidə nöqtəsində cazibə qüvvəsi təcilinin müşahidə qiymətinin, nöqtənin kordinatlarından asılı olaraq nəzəri hesablanmış normal qiymətindən fərqlənməsinə **anomaliya**

deyilir. Qarşıda qoyulmuş geoloji məsələdən asılı olaraq, qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat işlərində əsas istifadə olunan Buge anomaliyasıdır. Bu anomaliya yuxarıda qeyd olunan bir sıra düzəlişləri özündə cəmləşdirir və aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$g_B = g_m \pm dg_L + dg_H - dg_B + dg_T \quad (1.50)$$

burada g_m - müşahidə olunmuş qiymət, dg_L - en dairəsi, dg_H - hündürlük, dg_T - topoqrafiyaya, dg_B - Buge düzəlişləridir.

Qiymətləri məlum olanları nəzərə alsaq,

$$g_B = g_m \pm dg_L + 0,3086 \cdot H - 0,0419 (H \pm T) \cdot \Delta\sigma \quad (1.51)$$

və ya

$$g_B = g_m \pm dg_L + 0,3086 \cdot H - (0,0419 \cdot H - T) \cdot \Delta\sigma \quad (1.52)$$

(1.43) ifadəsi sıxlıq bütün istiqamətdə eyni olduqda doğrudur.

Bu halda

$$dg_T = T \cdot \Delta\sigma$$

olur. Bu isə heç vaxt mümkün olmur.

Bu ifadələrlə Buge anomaliyası hesablandıqdan sonra cazibə qüvvəsinin şaqul oxu boyunca istiqamətlənmiş təcilin anomaliyası hesablanır. Bu anomaliya (1.41) Buge funksiyası ilə reduksiyanmış (düzəlişlər nəzərə alınmış) müşahidə

qiymətinin koordinatlarından asılı olaraq hesablanmış normal qiymətdən fərqlənməsidir:

$$\partial g_B = g_B - g_N \quad (1.53)$$

burada g_N - Yerin hər hansı bir nöqtəsində cazibə qüvvəsi təcilinin normal qiymətidir.

Əgər (1.41) ifadəsində dg_B və dg_T hədləri nəzərə alınmazsa, hesablanmış anomaliya hava anomaliyası adlanır. Qeyd etmək vacibdir ki, (1.41) ifadəsində olan dg_B və dg_H düzəlişləri qravimetrin yurlaşdığı nöqtənin koordinatlarından asılı olaraq dəyişir.

§2. QRAVİMETRİYADA İSTİFADƏ OLUNAN CİHAZ VƏ AVADANLIQLAR

Qravimetriyada qarşıya qoyulmuş məsələdən asılı olaraq, anomaliyanın öyrənilməsi üçün aparılan işin miqyasına uyğun müəyyən dəqiqlik şəraitində hər hansı bir istinad nöqtəsindəki qiymətə nəzərən nisbi dəyişmə hesablanır. Bu nisbi dəyişməni aşkar etmək üçün istənilən cihazdan istifadə etmək düzgün olmazdı. Qravimetriyada anomaliyanın iki: - mütləq və nisbi qiymətindən istifadə olunur. **Mütləq** qiymət bilavasitə müşahidə nöqtəsində cazibə qüvvəsi təcilinin qiyməti, **nisbi** qiymət isə müşahidə nöqtəsində hər hansı bir istinad (dafaq)

məntəqəsinə nisbətən cazibə qüvvəsi təcilinin qiymətidir. Buradan da görünür ki, eyni bir cihazla müşahidə nöqtəsində həm mütləq, həm də nisbi anomaliyanı ölçmək mümkün olmur.

Mütləq anomaliya müşahidə nöqtəsində makaranın rəqs perioduna və ya kütləsi məlum hər hansı bir yükün hər hansı bir məsafədən (hündürlükdən) düşmə zamanına görə təyin edilir.

Nisbi anomaliya müxtəlif vaxtlarda üç növ cihazdan istifadə etməklə ölçülür: - fırlanan yüklər, makara və qravimetr. Bunlardan ancaq qravimetrlərdən geniş istifadə olunur, digərləri isə ancaq tətbiqi geofizikada tarix kimi diqqəti cəlb edir. Bu səbəbdən də fırlanan yüklər və Makara növlü cihazlar qısaca olaraq, qravimetrlər isə geniş şərh olunur.

2.1. Cazibə qüvvəsi təcilinin mütləq ölçülməsi

Düşən cisim. Cazibə qüvvəsi (g) təcilinin ölçülməsi ilk dəfə olaraq, cismin sərbəst düşməsindən alınan təcil olmasına baxmayaraq, kiçik zaman intervalının qeydə alınması çətin olması ucbatından, dəqiqlik uzun illər çox aşağı idi. Axırını son on illiklərdə hesablama texnikasının əldə etdiyi nailiyyətlərə görə istənilən zaman intervalının dəyişməsi yüksək dəqiqliklə müşahidə olunduğundan bu üsula yenidən qayıdılıb.

Cazibə qüvvəsi təcilini sərbəst düşən cismin düşmə zamanını qeyd etməklə Nyutonun hərəkət tənliyinin köməyi ilə hesablamaq olar. Əgər cisim, naməlum ilkin sürətlə t_1 və t_2 zamanında uyğun olaraq S_1 və S_2 məsafəsi qət edirsə, onda Nyutonun hərəkət qanununa görə cazibə təcilinin mütləq qiyməti

$$g = \frac{2(S_2 \cdot t_1 - S_1 \cdot t_2)}{t_1 \cdot t_2 (t_2 - t_1)} \quad (2.1)$$

ifadəsi ilə hesablanır. Bu bərabərlikdən istifadə etməklə, g -nin mütləq qiymətini $1mQal$ dəqiqliklə hesablamaq üçün $1-2m$ məsafədən düşmə zamanını 10^{-8} , məsafəni isə $1mKm$ dəqiqliklə ölçmək lazımdır.

Makara. Yaxın keçmişə qədər cazibə qüvvəsinin təcili 1818-ci ildə Keyterin işləyib hazırladığı makaradan istifadə etməklə həyata keçirilirdi. Bu cür Makara Podstamda, Vaşinqtonda və Peddingtonda mövcuddur. Podstamda alınmış g -nin $981,274Qal$ qiyməti nominal kimi istifadə olunurdu. Sonralar məlum olmuşdur ki, bu qiymət $14mQal$ artıbdır.

Cazibə təcili rəqslərin maksimal sayının zamana görə qeyd olunmasına görə aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot I}{T^2 \cdot m \cdot h} \quad (2.2)$$

burada I - inersiya momenti, T - rəqs periodu, m - makaranın yükü, h - fırlanma mərkəzindən makaranın mərkəzinə qədər məsafədir. Fırlanan makarada $\frac{I}{m \cdot h}$ hasilini l uzunluqlu riyazi Makara ilə əvəz olunur. Bu parametrlərin ölçülməsinin dəqiqliyi yuxarıdakı kimidir.

2.2. Cazibə qüvvəsi təcilinin nisbi ölçülməsi. Qravimetrlər

Hər hansı iki müşahidə məntəqəsi arasında cazibə təcili bu iki məntəqələrin birinin digərinə nisbətən qiymətdir. Nisbi müşahidədə qiymət məntəqələr arasındakı məsafənin uzunluğundan yox, bu məsafəyə sərf olunan zamandan asılıdır. Qravimetriyada nisbi müşahidə üsulunda əsasən bir və ya bir neçə istinad nöqtəsi əsas götürülür və bütün müşahidələr bu istinad nöqtəsinə nəzərən nisbi ölçülür. Cazibə qüvvəsi təcilinin nisbi ölçülməsi bir neçə növ cihazlarla həyata keçirilir.

Portativ makaralı cihazlar. Bu cihazlardan geodeziya və geoloji məsələlərin həllində istifadə olunurdu. Hələ 1750-ci ildə Buge makaranın rəqs periodunun müxtəlif yerlərdə: Cənubi Amerikada, Laplandiyada və Parisdə dəyişdiyini qeyd etmişdi. Bunun izahını aşağıdakı kimi vermək olar.

Əcər (1.48) ifadəsini perioda görə differensiallasaq,

$$\frac{dg}{dT} = \frac{-8\pi^2}{T^3} \cdot \frac{I}{m \cdot h} = \frac{-2g}{T}$$

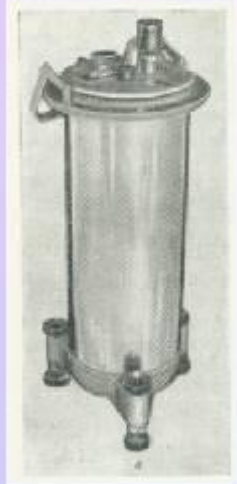
alınar. Buradan cazibə qüvvəsinin artımı

$$dg = -2g \cdot \frac{dT}{T} = -2g \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1} \quad (2.3)$$

alınar. Bu bərabərlikdən belə bir nəticə çıxır ki, əcər hər hansı iki müxtəlif məntəqədə rəqqasın periodu *1mks* dəqiqliyində ölçülərsə, yəni iki müxtəlif məntəqələrdə periodun fərqi, onda bu fərqə uyğun olan cazibə qüvvəsinin artımı *1mQal* olacaq. Bunu adi kvarslı və seziumlu qol saatlarının köməyi ilə də həyata keçirmək olar.

Fırlanan tərəzilər. 1791-ci ildə Kavendiş qravitasiya abitini təyin etmək üçün fırlanan tərəzidən istifadə etmişdir. Ancaq Kavendişin istifadə etdiyi fırlanan tərəzinin qolları müxtəlif uzunluqlu olmuşdur. 1980-cı ildə macar alimi R.F. Etveş cazibə qüvvəsinin qradiyentini ölçməyə qadir fırlanan tərəzi işləyib hazırlamışdır. Etveşin fırlanan tərəzində qolların müxtəlif olması ilə bərabər, yüklər bir-birindən müxtəlif şaquli səviyyədə yerləşdirilmişdir. Bu

Yerüstü qravimetr



Şəkil 21. Qravimetrin ümumi görünüşü.

cihazın müxtəlif modifikasiyaları 1915-1950-ci illər ərəfəsində qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat işlərində istifadə olunurdu. Keçən əsrin 50-ci illərindən başlayaraq bir-birinin ardınca bir-birindən etibarlı və dəqiq qravimetrlər icad olunmuşdur.

Hal-hazırda fırlanan tərəzi prinsipi ilə işləyən cihazlardan istifadə olunmur. Cazibə qüvvəsi təcilinin ölçülməsində Ən geniş yayılmış cihazlar qravimetrlərdir.

Qravimetr (latın dilində gravis - ağır və metr - ölçmə) cazibə qüvvəsi təcilini nisbi ölçmək üçün cihazdır. Qravimetrlərin əksəriyyəti yaylı və fırlanan dəqiq tərəzilərdir. Qravimetrləri adi tərəzilərdən fərqləndirici əlamət odur ki, tərəzi sükunətdə olan yükə tətbiq olunan ağırlıq qüvvəsini, qravimetr isə sükunətdə olan yükə yerin təsiri nəticəsində cazibə qüvvəsi təcilini ölçür. Bu cür qravimetrlərin köməyi ilə yayların deformasiyasının dəyişməsinə və ya böyük olmayan yükün ağırlıq qüvvəsini kompensə edən xüsusi elastiki sapın deformasiya əlamətinə görə cazibə qüvvəsi təcilinin dəyişməsi ölçülür. Elastiki sapın deformasiyasına səbə digər ucuna platindən xüsusi yükün, Yer in cazibəsi nəticəsində şaquli rəqsidir. Axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat işlərində qravimetrlərlə planalma, cazibə qüvvəsi təcilinin mütləq

qiyməti məlum olan məntəqədən başlanılır. Qravimetrlərin quraşdırılmasında əsas çətinlik çöl şəraitində kiçik elastiki deformasiyanın dəqiq ölçülməsini təmin etməkdən ibarətdir. Qeyd olunma əlamətinə görə optik, fotoelektrik, həcm, induksion və s. Qravimetrlərdən istifadə olunur. Bundan başqa, aşağı ucuna yük bağlanmış xüsusi simin rəqs tezliyinin dəyişməsinə və ya girokopik cihazların presessiya sürətinin ölçülməsinə əsaslanan qravimetrlər də mövcuddur. Qravimetrlərin dəqiqliyi $1mQal$ -dan onlarca az olur. Dayaz su hövzələrinin dibində, su altı və su səthində, təyyarələrdə ölçmə işləri aparmaq üçün xüsusi qravimetrlərdən istifadə olunur. Hərəkətdə olan nəqliyyat vasitələrində (avtomobil, təyyarə, gəmi) quraşdırılmış qravimetrlər, onların göstəricilərinə əyilmə, silkəlmə, hərəkət istiqaməti və s. kimi faktorların təsirinə kompensə edən xüsusi avadanlıqlarla təmin olunurlar. Ağırlyq qüvvəsi variasiyasına Ay-Günəş faktorlarının təsirinə fasiləsiz qeyd edən uzun müddətli ölçmə aparən qravimetrlər mövcuddur.

Statistik qravimetrlər. Bu cihazların işlənilib hazırlanması və onlardan istifadə olunması keçən əsrimizin 30-cu illərinə təsadüf edir. Onlar astazir olunmamış qravimetrlərin ikin variantları idilər və zaman keçdikcə az bir vaxtda daha dəqiq

qravimetrlerle istehsalatdan çıxarıldılar. Onların əsas işləmə Prinsipi aşağıdakı şəkildə verilir: yükün təsiri altında yayın yerdəyişməsi çox olmadığı üçün ona fizikadan məlum Huk qanununu tətbiq etmək mümkündür, yəni cazibə qüvvəsi yayın uzanmasına mütənasibdir. Bu halda Huk qanununa uyğun olaraq,

$$F = M \cdot \partial g \text{ və } F = k \cdot \partial S \quad (2.4)$$

bərabərlikləri doğrudur. Bu iki bərabərlikdən

$$\partial g = \frac{k \cdot \partial S}{M} \quad (2.5)$$

alınır. Burada k yayın elastiklik əmsalıdır və $\frac{din}{sm}$ -lə ölçülür.

∂g -ni $0,1mQal$ dəqiqliyi ilə ölçmək üçün yayın uzanmasını 10^{-7} dəqiqliyinə qədər ölçmək lazımdır, çünki

$$\frac{\partial g}{g} = \frac{\partial S}{S}$$

olur. Mexaniki olaraq $\frac{k}{M}$ kəmiyyətini kiçiltmək üçün ağır yük və elastiklik əmsalı aşağı olan yay götürmək olar, ancaq yayın bu cür dəqiqliyi çox məhduddur. Belə sistemin rəqs periodu aşağıdakı asılıqla ifadə olunur:

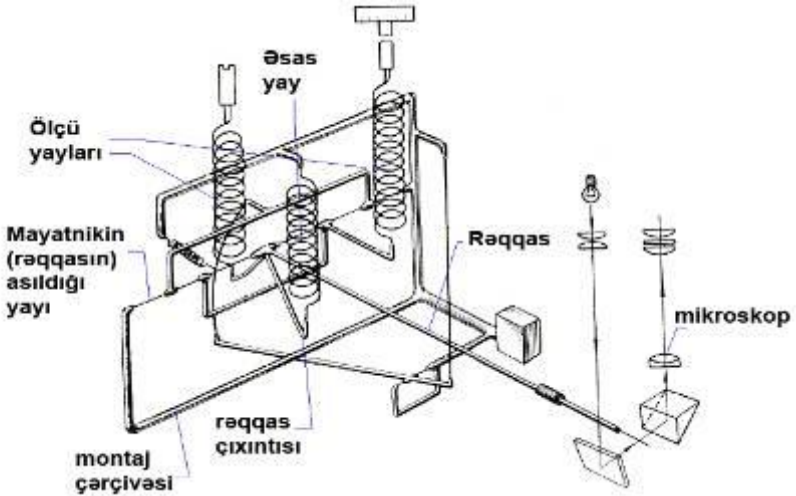
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} \quad (2.6)$$

Bu halda (1.51) və (1.52) formulalarını nəzərə alsaq,

$$\partial g = \frac{4\pi^2 \cdot \partial S}{T^2} \quad (2.7)$$

alınar. Beləliklə, cihazın yüksək dəqiqliyini əldə etmək üçün rəqs periodu çox olmalıdır və ∂g -nin ölçülməsi üçün çox vaxt tələb olunacaq. 1932–1938-ci illərdə statistik qravimetrələr bir neçə formada icad olunub. Aşağıda onların əsaslarından ikisinin izahı verilib.

Qalf qravimetri. Bu cihazda yükün dönmə bucağı ölçülür. Yük lent şəkilli metal yaydan asılır. Bu yay spiral



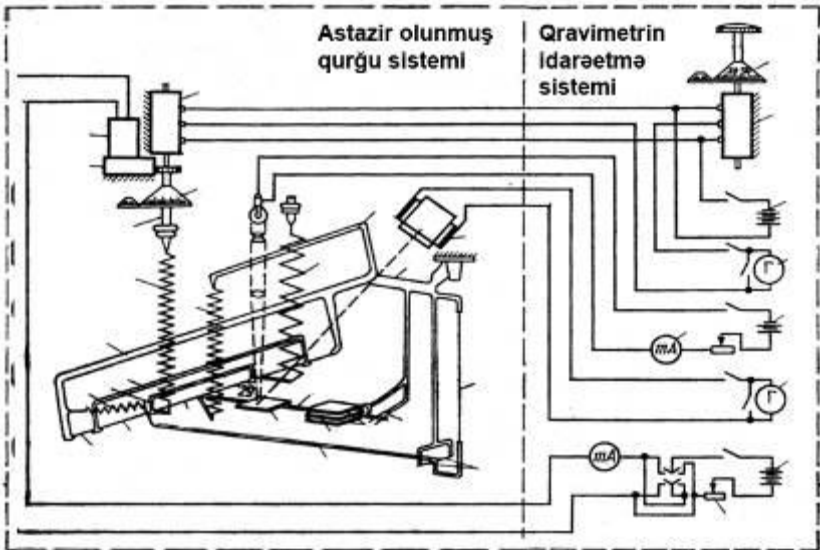
Şəkil 22. Astazir olunmuş qravimetrin ölçü sistemi (bütünlüklə kvardan ibarətdir).

formalı olduğu üçün onun uzanmasından alınan effekt,

burulmasından alınan effektdən çox azdır. Bu effekti qeyd etmək üçün yayın ucuna dairəvi disk və əksedirici güzgü bağlanır. Yayın burulması həmin disk güzgüyə görə qeyd olunur, yəni dönmə bucağına uyğun olaraq qravimetrin göstəricisi bərpa olunur.

Qalf qravimetrindən keçən əsrin 50-ci illərinə qədər Qravimetrin çəkisi əvvəlcə $40kq$, sonralar isə $10kq$ -a qədər endirilmişdir. Dəqiqliyi $0,1mQal$ -dır.

Boliden qravimetri. 1938-ci ildə İsveç alimi Boliden tərəfindən icad edilən bu qravimetrdə elektrik mənbəyindən və bu mənbənin yaratdığı elektromaqnit sahəsinin kompesasiyasından istifadə olunur. Bu qravimetrin prinsipial



Şəkil 23. Dib qravimetrinin ölçü sistemi.

işləmə sxemi aşağıdakı kimidir.

Qravimetrin əsas elementi olan yük makara şəkillidir və yaylar vasitəi ilə korpusdan asılmış vəziyyətdədir. Yükün aşağı və yuxarı diskləri konsentrik olaraq vibratorlu daimi elektrik mənbəyi arasında yerləşdirilir. Yer in cazibə qüvvəsinin təsirindən yük hərəkət etdikdə kondensatorun tutumu dəyişir və bu dəyişmə cazibə qüvvəsinin təcili kimi qeyd olunur. Qravimetrin dəqiqliyi $0,1mQal$ -dır. Yuxarıda qeyd olunan işləmə prinsipinə uyğun olaraq dünyanın bir çox alimləri tərəfindən müxtəlif qravimetrlər icad edilib: Tissen, La Kosta-Romberq, Skaniya, Frost, Maqnoliya, Şimali Amerika, Uorden və s. qravimetrləri. Bu qravimetrlərdən başqa keçmiş Sovetlər dövləti tərəfindən də bir çox qravimetrlər icad olunub. Məsələn, QNU-KV, QNU-KS, QAQ-2 və s..

Qravimetrlərin dəqiqliyinin artırılması üçün əsas ölçü mexanizmi adətən xüsusi sferada yerləşdirilir. Bu sferalardan ən əlverişlisi vakuum şəraitidir. Belə bir vakuum sferasının olması, qravimetrlərin əsas ölçü mexanizmlərinin hazırlandığı detalların temperatura və təzyiqlə həssaslığından irəli gəlir. Hal-hazırda istifadə olunan qravimetrlərin əsas ölçü mexanizmini vakuum şəraitində yerləşdirilməsi ciddi bir problem yaratmır. Məhz buna görə də və bir çox başqa amillərə görə yüksək dəqiqlikli qravimetrlər icad olunub və qravimetriyanın faydalı qazıntı yataqlarının axtarışında rolunu artırıb. Keçmiş Sovetlər dövlətində icad olunmuş qravimetrlərdən bir neçəsinin kvars

sisteminin prinsipial sxemi şək. 22 və 23-də verilib. Kvars sistemli qravimetrin bütün elementləri kvarsdan olduğu üçün **kvars sistemli** qravimetrlər adlanır. QNU-KV bu qravimetrin markasıdır və qravimetrlərin markaları rus dilində tətbiq etmə qabiliyyətinə görə verilib. Məsələn şək.22-də quru ərazilərdə mükəmməl planalma işlərində istifadə olunan aşağı diapazonlu və yüksək dəqiqlikli kvars QNU-KS qravimetrinin sxemi verilib. Bu qravimetrlərdən mükəmməl qravii-kəşfiyyat planalma işlərində istifadə olunur və onların imkan dairəsi ilə əlaqədardır, belə ki, dörd saat davamiyyətli planalmalarda müşahidələrin xətası $0,03mQal$, dəqiqlik dərəcəsi $0,006mQal$ təşkil edir. Əsasən bu iki texniki parametrlər və qravimetrin (növündən asılı olmayaraq) «sıfır-sürüşməsi» müddəti bütün qravimetrlərin tətbiq sahlərini bilavasitə təyin edirlər. Eyni zamanda, qravimetrlərin əsas və həssas elementi olan, kvarslı yaylar vastəsi ilə xüsusi metaldan hazırlanmış «ölçü sapına» bərkidilmiş əsas yay, bir ucuna platindən xüsusi yük bağlanmış lingin cazibə təcili təsirindən kondensatorun lövhələri arasında şaquli rəqsi hərəkəti xüsusi ölçü şkalasında qravimetrin diapazonuna uyğun qeyd olunur. Bu əlamətə görə qravimetrlər şaquli seysmik dalğaları qeyd edən Qolitsın seysmoqrafına bənzəyir. Əslində isə astazirli kvars sistemləri qravimetrlərə xas

olan və adi insan təfəkkürü ilə qavranılmayan çox mürəkkəb mexaniki qurğudur.

Astazirli kvarts sistemli qravimetrlərin ən etibarlısı və dəqiq ölçmə qabiliyyətli keçmiş Sovetlər dövlətində icad olunmuş qravimetrlərdir. Bu qravimetrlərdən digərinin analoji sxemi şəkl.22-də verilib. Bu qravimetr digərlərindən ölçmə mexanizminin daha da mürəkkəbliyi fərqlənir. Bu mürəkkəblik isə yüksək dəqiqlik və geniş ölçmə diapazonu ilə əlaqədardır.

Ölçmə diapazonu qiymətindən asılı olaraq, qravimetrlərin astazir sistemi istiliyə uyğunlaşdırılmış metaldan da hazırlanır.

Bu növ qravimetrlər 1500mQal -dan aşağı olmayan diapazonla işləmək qabiliyyətinə malikdir və bu qravimetrlərdən Yer kürəsinin qravitasiya dayaq şəbəkəsini tərtib etməkdə, o cümlədən bir regiondan digər regiona ağırlıq qüvvəsinin mütləq qiymətini ötürməkdə istifadə olunur. Belə qravimetrlərin prinsiplial sxemi şəkl. 22-də verilib. Qısaca olaraq qeyd etmək lazımdır ki, astazirli qravimetrlərdə olduğu kimi burada da ucuna xüsusi 4 yükü bağlanmış 2 lingi elastiki yaylar vasitəsi ilə tarazlıq vəziyyətinə gətirilir, yəni dayanıqlı olmayan tarazlıq sistemidir. Ancaq ling və yük, eləcə də elastiki yaylar, xüsusi metaldan hazırlanıb, lakin kvarts qravimetrlərindən fərqli olaraq qravimetrin ölçü sistemi iki pilləli elektrik termostatında

yerləşdirilmişdir. Məhz elə buna görə də termostatik metallik qravimetri adlanır.

Şək.23-də dib qravimetrinin prinsipial sxemi verilib. Öründüyü kimi sxem əsas iki blokdən ibarətdir: QNU-KS qravimetrinin eyni olan kvarts sistemi və ölçmə bloku. Qravimetrin ölçmə bloku gəmidə və ya helihopperdə quraşdırılır, qravimetr özü isə dəniz dibinə buraxılır. Dəniz üstü qravimetrik müşahidələrdə isə qravimetr gəminin üstündə yerləşdirilir və bu növ qravimetrlərin prinsipial sxemi şək.6-da verilib. Sxemdən göründüyü kimi burada da iki blok iştirak edir, lakin dib qravimetrlərindən fərqli olaraq hər iki blok gəmidə yerləşdirilir və gəmi hərəkət etdikcə fasiləsiz qeydiyyat aparılır.

Canlı aləmin beşiyi olan planetimizin çox hissəsi su ilə örtülüb və insan su örtüyünün daxili aləmini öyrənməkdən çox, onun altında nələr baş verdiyini də tədqiq edir. Bu tədqiqatlar arasında qravimetriyanın köməyi ilə bir sıra nailiyyətlər əldə olunmuşdur, əlbəttə, icad olunmuş qravimetrlərin köməyi ilə. Bu növ qravimetrlər ilk növbədə geniş diapazona, dinamik ölçü qabiliyyətinə və digər qravimetrlərə nisbətən astazir sistemi dayanıqlı tarazlığa malikdirlər. Dayanıqlı tarazlıq xüsusi metaldan hazırlanmış qeyri-yayvari simlərin köməyi ilə yaradılır və axımlıdır. Axımlılıq, yəni qravimetrin göstərişinin

sıçrayışla yox, hamarvari dəyişməsi, ölçü sisteminin xüsusi maye fəzasında yerləşdirilməsi ilə nail olunur. Bu maye dempfer və öz özünə xas olan xüsusi yükü müqabilində tarazlaşdırıcı rolunu oynayır (şək.7).

Aeroqravimetrler bu əlamətlərdən başqa, alınmış müşahidə qiymətlərinin emalı ilə digər qravimetrlərdən fərqlənirlər. Qravimetrik müşahidələrin aparılmasında əsas əlamətlərdən biri, ağırlıq qüvvəsinin mütləq qiyməti məlum nöqtədən başlayıb, qeyri naməlum nöqtədə müşahidə apararaq, yenə həmin məlum nöqtəyə qayıtmaqdır. Ancaq, təyyarə ilə hər hansı nöqtədən keçdikdən sonra, həmin nöqtəyə qayıtması asan alınmır. Bu problem aşağıdakı empirik formulanın köməyi ilə həll olunur:

$$\Delta g = C \cdot \Delta f + C \frac{(\Delta f)^2}{2f_0} \quad (2.8)$$

burada $\Delta f = f - f_0$ çıxış və gəlinmiş nöqtələrdə qravimetrin göstərişləri fərqi, C -qravimetrin sabitidir. (7.6) tənliyinin sağındakı ikinci ifadə dempferləyici və tarazlaşdırıcı rolunun oynasa da, ədədi qiymətcə çox kiçikdir və ölçmələrin emalında nəzərə alınmır, yəni hər bir müşahidə nöqtəsində qravimetrin nöqtələr arasındakı göstərişlər fərqi, qravimetrin sabitinə vurulmaqla $mQal$ -la nəticə alınır və planalma prosesindən sonra

qarşıda qoyulmuş geoloji-geofiziki məsələdən asılı olaraq interpretasiya aparılır.

2.3. Qravimetrin sabitinin təyini

Qravimetrin göstəricisini kəmiyyətcə araşdırmaq üçün onun ölçü şkalasının bir bölgüsünün qiymətini mütləq təyin etmək lazımdır. Bu əməliyyatı qravimetrin sabitinin təyin olunması adlandırmaq olar. Qravimetrin ölçü şkalasının bir bölgüsünün $mQal$ -la qiyməti isə **qravimetrin sabiti** adlanır. Qravimetrin sabitinin fiziki mənası cihazın ölçmə qabiliyyətidir. Qravimetrin sabiti qravimetriyada əsasən iki üsulla təyin edilir: poliçon və əyilmə üsulları. Poliçon üsulunda qravimetrin sabiti cazibə qüvvəsi təcilinin qiyməti dəqiq məlum olan iki məntəqəyə görə, əyilmə üsulunda isə xüsusi hazırlanmış, horizontallığı tam təmin olunan platforma üzərində həyata keçirilir. Bəzən qravimetrin sabitini təyin etmək üçün əlavə yüklənmə üsulundan da istifadə edilir.

Poliçon üsulunda, yəni cazibə qüvvəsi təcilinin qiymətləri məlum olduğu iki məntəqəyə görə C qravimetrin sabitinin təyin etmək üçün bu iki məntəqə arasındakı Δg təcil fərqi, bu məntəqələrdə qravimetrin göstəriciləri Δn fərqiə bölmək lazımdır:

$$C = \frac{\Delta g}{\Delta n} = \frac{g_1 - g_0}{n_1 - n_0}$$

Bu üsulla bütün qravimetrlerin sabitini təyin etmək mümkündür. Ancaq bu üsulla qravimetrin sabitini təyin edərkən məntəqələr elə seçilməlidir ki, onlar arasındakı cazibə təcilinin Δg fərqi, qravimetrin sabitinin təyində nisbi artımdan çox olmasın. Məsələn, əgər $\Delta g = 50mQal$ olarsa, onda qravimetrin sabitini 0,2 % dəqiqliyi ilə təyin etmək üçün təyin olunmanın nisbi artımı 0,1mQal olmalıdır. Sabitin təyin olunmasında bütün hesablamalarda bir məntəqədə alınan nisbi artımın orta kvadratik xətası

$$\Sigma = \pm \sqrt{\frac{[\partial^2]}{N(N-1)}}$$

formulu ilə hesablanır. Ümumi təyin olunmada nisbi artım isə

$$\Sigma' = \pm \frac{1}{\Delta n} \sqrt{\frac{[\partial^2]}{N(N-1)}}$$

formulu ilə hesablanır. Burada Δn - müşahidələrin orta hesabi qiyməti, $[\partial^2]$ - müşahidələrin orta kvadratik xətası, N - müşahidələrin sayıdır.

Əyilmə üsuluna görə qravimetrin sabitinin təyində cazibə qüvvəsi təcilinin qravimetrin əyilməsindən kosinusoidal

asılılığından istifadə olunur. Qravimetrin hər hansı β bucağı qədər əyilməsindən cazibə qüvvəsi təcilinin dəyişməsi

$$\Delta g = -g(1 - \cos \beta) = -\frac{g}{2} \left(\beta^2 - \frac{\beta^4}{12} + \dots \right) \quad (2.9)$$

bərabərliyi ilə təyin olunur. Bu ifadədəki motərizənin arasında «minus» işarəsidən sonra olan hədlər çox kiçik olduğundan onları nəzərə almasaq və β bucağına görə differensiallasaq,

$$\frac{dg}{d\beta} = -g \cdot \sin \beta \approx g \cdot \beta \quad (2.10)$$

alınar. Bu təqribi bərabərlikdə differensialı artımla əvəz etsək

$$\Delta g = \frac{g \cdot \beta^2}{2} \quad (2.11)$$

qəbul etmək olar. Əyilmə üsulunda iki əyilmə nöqtəsinə görə qravimetrin sabiti

$$C = \frac{\Delta g}{n_2 - n_1} = \frac{g \cdot \beta^2}{2(n_2 - n_1)} \quad (2.12)$$

bərabərliyi ilə hesablanır. Burada n_2 və n_1 - iki əyilmə nöqtəsində qravimetrin göstəricisi, g - həmin nöqtədə cazibə təcilinin mütləq qiymətidir.

Ş3. QRAVİMETRİK MÜŞAHİDƏ METODLARI

Qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat işləri zamanı nöqtələrin sıxlığı $20km$ -dən $6m$ -ə qədər dəyişir. Planalmanın sıxlığı əvvəlcədən təqribi məlum olan və ya təsəvvür olunan geoloji obyektin ölçüləri, yatma parametrləri və fiziki əlamətləri ilə bağlıdır.

Neft-qaz axtarışında orta qiymətlə $1,6km^2$ -na 1-2 müşahidə nöqtəsi düşür. Amma bu, neft-qaz yataqlarının ölçülərindən daha çox asılıdır. Neft-qazlı strukturların ölçüsü adətən böyük olur və bu cür obyektlərdən qravitasiya effekti müşahidələrdən yayına bilmir. Qravimetriyının köməyi ilə neft-qaz axtarışında müşahidə məntəqələri arasındakı məsafə bərabər götürüldükdə effekt daha diqqət tələfiq olur. Qravimetriyada müşahidə sistemi „ilgəh“ prinsipi ilə yaradılır. Bu prinsipin əsas mahiyyəti ondan ibarətdir ki, müşahidələr cazibə qüvvəsi təcilinin mütləq qiyməti məlum olan məntəqədən başlanır, naməlum nöqtəyə davam etdirilir və müşahidələr yenidən məlum nöqtədə başa çatdırılır. Bütün qravimetrik müşahidələr, istər dayaq şəbəkəsində, istərsə də sıravı şəbəkədə, eləcə də istər regional işlərdə, istəsə də mükəmməl işlərdə bu prinsip mütləq

gözlənilir, çünki qravimetriyada hər hansı bir nöqtədə cazibə qüvvəsi təcilin qiyəti nisbi hesablanır.

Filiz yataqlarının qravimetrik müşahidələrlə axtarışında nöqtələr arasındakı məsafə öyrənilən sahədə eyni götürülmür. Əvvəlcə tədqiqat sahəsində müəyyən eyni məsafəli nöqtələrdə müşahidə aparılır və ilkin xəritə tərtib olunur. Bu xəritədə qeyd olunmuş müsbət anomaliyaların ölçülərindən və bu anomaliyaları yarada biləcək fiziki mühitin yatma dərinliyindən asılı olaraq daha kiçik məsafəli nöqtələrdə müşahidələr aparılır. Bu cür planalmada müşahidə nöqtələri arasındakı məsafə 20–30m, hətta bəzən daha az götürülür. Heç bir planalma işləri aparılmayan və ya geoloji quruluş haqqında təqribi təsəvvür olunan rayonlarda bu işlər bir neçə mərhələdə aparılır.

Müasir qravimetrik planalmada müşahidələrin aparılmasında heç bir problem meydana çıxmır, belə ki, Yer səthində insan ayağının dəymədiyi sahə yoxdur və „**qravimetr**“ adlanan cihaz digər geofiziki cihaz və avadanlıqlara nisbətən çox yüngül və istismar şərtləri çox asandır və eyni zamanda qravimetrik işlərə çəkilən cərlər daha sərfəlidir. Bununla bərabər qravimetrik planalmada digər problemlər mövcuddur. İlk növbədə bu problemlərdən biri qravimetrin özünün və ölçmə yükünün tarazlıq vəziyyətinə gətirilməsindən ibarətdir.

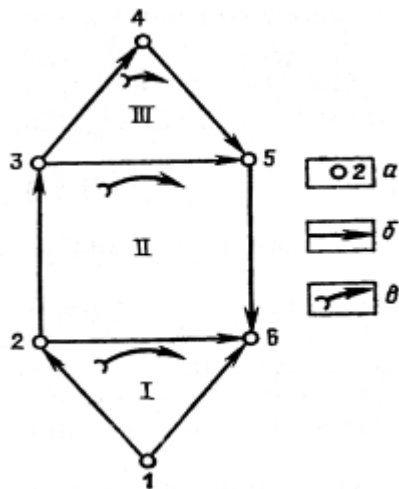
Yuxarıda qeyd etmişdik ki, cazibə qüvvəsi təcilini ən dəqiq ölçən qravimetrilər astazirli qravimetrilərdir. „Astazir“ sözü „qeyri-stabil tarazlıq“ mənasını daşıyır. Bu o deməkdir ki, hər hansı bir xarici təsir qravimetrin tarazlığını poza bilər. Bu təsirlər, planalma zamanı qravimetri əldə, avtomobildə, gəmidə, təyyarədə və s. apararkən silkələnmə ola bilər. Bütün bu amillərdən başqa, qravimetrilə müşahidə zamanı ölçü götürməzdən əvvəl qravimetrin ölçü yükünü mütləq horizontal taraz vəziyyətinə gətirmək lazımdır. Qravimetrin bu vəziyyətinə, yəni ölçü yükünün taraz vəziyyətdə olmasına **qravimetrin taraz halı** deyilir və bu halda qravimetrin göstərişi onun „sıfır“ nöqtəsinin qiymətidir. Ancaq qravimetrin „sıfır“ qiyməti sabit qalmır, müşahidə nöqtəsinə görə dəyişir, yəni hər bir nöqtədə qravimetrin „sıfır“ qiymətini qeyd etdikdən sonra ölçü götürmək lazımdır. Qravimetriyada planalmanın problem idə buradan, yəni qravimetrin taraz halına gətirilməsindən başlanır. Bu problemi aradan götürmək üçün bir neçə üsullar mövcuddur. Bunlardan ən sadəsi və ən dəqiqi qravimetrin „sıfır sürüşməsi“-ni təyin etməkdir. Qravimetrin „sıfır sürüşməsi“ müşahidə nöqtələrində „sıfır“ göstəricisinin fərqidir. Məhz buna görə də qravimetrilə müşahidə zamanı onun „sıfır sürüşməsi“-ni mütləq təyin etmək və materialların emalında nəzərə almaq lazımdır.

3.1. Dayaq şəbəkəsi

Qravimetrik kəşfiyyat işlərində əsas amillərdən biri dayaq şəbəkəsinin yaradılması işləridir (şək. 24). Dayaq şəbəkəsi 1971-ci il Potsdam sisteminə, sırayı nöqtələr şəbəkəsi isə dayaq nöqtələrinə bağlanılır. Dayaq şəbəkəsi planalma qiymətlərinin ümumdövlətlər sisteminə və reyslərdə (gedişlərdə) qravimetrin «sıfır-sürüşməsi»nin nəzərə alınmasına xidmət edir. Dayaq şəbəkəsi I, II və III kateqoriyalarından ibarətdir və bu kateqoriyalar qarşıda qoyulmuş

geoloji-geofiziki məsələlərdən asılıdır. Qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat işlərində yaradılmış dayaq şəbəkəsi dövlət qravimetrik şəbəkəyə bağlanılır. Bundan başqa, müəyyən müddətdən sonra eyni bir ərazidə aparılmış planalma işlərində yaradılmış dayaq şəbəkəsi arasında da mütləq bağlanma

aparılır. Əgər bu proses aparılmayıbsa, planalma işləri qəbul olunmur. I kateqoriyalı dayaq şəbəkəsi dövlətlərarası, II



Şəkil 24. Dayaq şəbəkəsinin düzləndirilməsi sxemi. a – dayaq şəbəkəsi nöqtələri və nömrələri; b – ağırlıq qüvvəsi qiymətlərinin artma istiqamətləri; b – poliqonların düzləndirmə istiqaməti; I,III – poliqonlar.

kateqoriyalı vilayətlərarası, III kateqoriyalı dayaq şəbəkələri isə sahələrarası statusuna malikdir. Dayaq şəbəkəsində ölçmələrin dəqiqliyi sırası şəbəkəyə nisbətən 1,5-2 dəfə yüksək olmalıdır.

Dayaq şəbəkəsinə reyslərin 1–2–1...–n–1 sxemi üzrə işlənməsi üsul çox geniş yayılmışdır, yəni müşahidələr hansı dayaq məntəqəsindən başlanırsa, orada da başa çatmalıdır. Bu cür reyslərdə müşahidə məntəqələrinin sayı istifadə olunan qravimetrin «sıfır-sürüşməsi» müddətindən aslıdır. Dayaq şəbəkəsində müşahidələr mərkəzi müşahidə, iki pilləli, poliqon və ilgəh-düyün nöqtəli sistemi ilə işlənir.

Mərkəzi müşahidə sistemi digər müşahidə sistemlərindən bütün dayaq məntəqələrinin relyef şəraitindən asılı olaraq əvvəlcədən müəyyənləşdirilmiş mərkəzi dayaq məntəqəsinə bağlanması ilə fərqlənir. Mərkəzi dayaq məntəqəsi isə planalma işlərindən əvvəl və planalma işləri başa çatdıqdan sonra təkrarən dövlət kateqoriyalı dayaq məntəqəsinə bağlanılır.

İki pilləli müşahidə sistemi karkas və tamamlayıcı dayaq məntəqələrindən ibarətdir. Bu sistemdən istənilən dayaq məntəqəsinə mərkəz kimi qəbul etdikdə və yüksək dəqiqlikli planalma işlərində istifadə olunur. Tamamlayıcı dayaq məntəqələri mütləq bir neçə karkas dayaq məntəqəsinə bağlanılır.

Poliqonal müşahidə sistemində dayaq şəbəkəsi çox bucaqlı poliqlonları (minimum üç bucaq) və onların tərəflərini özündə cəmləşdirir. Deyaq şəbəkəsinin hər bir müşahidə məntəqəsi 1–2–1 sxemi üzrə bir-birindən asılı olmayan reyslərlə işlənilir, yəni ağırlıq qüvvəsinin mütləq qiyməti məlum olmayan məntəqə, ağırlıq qüvvəsinin mütləq qiyməti məlum olan məntəqəyə bu sxemlə bağlanılır. Bu müşahidə sistemində poliqlonlar tərəfinin az olması müşahidələrin dəqiqliyinə və müşahidə şəbəkəsinin düzlənməsinə xidmət edir. Müşahidə məntəqələrinin sıxlığı qarşıda qoyulmuş geoloji məsələdən asılı olaraq miqyasdan və istifadə olunan qravimetrin «sıfır» sürüşməsinin zaman intervalından asılıdır. Məsələn, əgər qravimetrin «sıfır» sürüşməsi üç saat müddətində $0,3mQal$ dəyişirsə, dayaq müşahidə məntəqələri elə seçilməlidir ki, üç saat müddətində 1–2–1 sxemi işlənilsin. Müşahidə məntəqələrində müşahidələrin sayı isə istifadə olunan qravimetrin dəqiqliyindən, yəni bir müşahidənin orta kvadratik xətasından asılıdır.

İlgəh-düyün nöqtəli müşahidə sistemi iki pilləli müşahidə sisteminin müxtəlif formalarıdır. Belə ki, ilgəh nöqtələri – hər hansı dayaq məntəqəsinə istinad olunmuş bir və ya bir neçə sırayı reyslərin kəsişmə nöqtələridir. Müşahidə sistemi istifadə

olunan qravimetrlerin «sıfır» sürüşməsi zamanını təmin etməlidir, yəni ilgəh-düyük nöqtələri elə seçilməlidir ki, sıfır sürüşmə zamanı ərzində bütün məntəqələrdə qapalı müşahidə aprıla bilsin. Reyslərin kəsişmə nöqtələrinin sayı planalmanın dəqiqliyindən asılıdır. İlgəh nöqtələri müəyyən şəbəkə formasında olmalıdır və bu şəbəkə mütləq düzləndirilir və ilgəh nöqtələri dayaq məntəqəsi kimi istifadə olunaraq müşahidə qiymətləri yenidən emal olunur.

3.2. Sıravı şəbəkə

Sıravı şəbəkə – əsas müşahidə nöqtələridir, yəni qravimetrik planalmada alınmış nəticələr məhz bu şəbəkəyə görə tərtib olunur. Əlbəttə, hər hansı bir reduksiyada tərtib olunmuş xəritələrdə izoxətlər keçirilərkən dayaq şəbəkəsi məntəqələrinin də anomol qiymətləri nəzərə alınır. Planalma ərazisinin relyefindən asılı olaraq, sıravı şəbəkənin forması düzbucaqlı formasında olmasına üstünlük verilir. Bu, tərtib olunmuş xəritənin interpretasiyası üçün transformasiyanın əlverişli olmasından irəli gəlir. Öyrənilən sahənin düzbucaqlı formada olması vacib deyil. Əsas şərt qarşıda qoyulmuş geoloji məsələnin hərtərəfli həll olunmasıdır. Sıravı şəbəkənin müşahidə nöqtələri profillər boyunca aparılırsa, profillər

arasındakı məsafə ilə müşahidə nöqtələri arasındakı məsafənin nisbəti iqyasdan asılı olmayaraq 5:1-ə olan nisbətdən çox olmamalıdır. Sıravı şəbəkənin sıxlığı planalmanın məqsədindən və geoloji şəraitdən asılıdır. Ancaq, gözlənilən və ya aşkar olunan anomaliya, miqyasdan asılı olmayaraq, mütləq minimum üç sıravı nöqtə ilə müşahidə olunmalıdır və bu nöqtələr birgirindən asılı olmayan reyslərlə işlənilməlidir. Bu əlamət də sıravı şəbəkənin sıxlığına təsir edir. Sıravı şəbəkədə anomaliya o zaman etibarlı hesab olunur ki, bu anomaliyanın amplitudu planalmanın dəqiqliyindən minimum üç dəfə çox olsun.

Sıravı şəbəkənin bir sıra müşahidə üsulları mövcuddur: birqatlı müşahidə üsulu, əks gedişdə təkrar müşahidə üsulu, düz gedişdə təkrar müşahidə üsulu və «sıfır» sürüşmənin paylanması üsulu.

Birqatlı müşahidə üsulu ən geniş yayılmış müşahidə formasıdır və ona görə birqatlı müşahidə adlanır ki, bir nöqtədə minimum iki dəfə eyni vaxda müşahidə aparılır. Bu, iki və ya daha çox qravimetrdən istifadə etməklə və ya eyni bir qravimetrə bir neçə dəfə müşahidə aparmaqla həyata keçirilir.

Sıfır sürüşmənin qiyməti reysin hər bir düyün nöqtəsinə və mütləq istinad oluqmuş dayaq məntəqələrinə görə verilir. Əgər bir neçə reys müddətində sıfır bölgünün dəyişməsi stabil

qalarsa, onda sıfır sürüşmənin qiyməti sırası reysin kənar nöqtələrinə (başlangıç və son nöqtə) görə də vnrilə bilər. Bu üsulda bəzən, sıfır sürüşmənin xətti olmasını yoxlamaq üçün, hər hansı dayaq məntəqəsi sırası nöqtə kimi işlənir. Hər bir reysin sıfır bölgüsünün dəyişmə qrafiki tərtib olunur. Bu qrafikin tərtib olunmasında məqsəd, alınmış nəticənin hansı müşahidə nöqtəsində uyğun olmamasını yoxlamaqdır. Əgər, alınmış nəticə sıfır bölgünün dəyişmə qrafikindən kənara çıxarsa, onda həmin nöqtədə müşahidə asılı olmayan digər reysdə yenidən aparılır. Sıfır bölgünün dəyişmə qrafiki miqyasdan asılı olmayaraq, planalmada iştirak etmiş iki qravimetrin nəticələri arasında fərqə görə (*mQal* -a uyğun olaraq) tərtib olunur. Qravimetrlər arasında kəskin fərq alınan nöqtə yenidən işlənir.

Əks gedişdə təkrar müşahidə üsulu birqatlı müşahidədən fərqli olaraq istehsalat işlərində çox az tətbiq olunur. Çünki sırası reys mütləq əks gedişlə təkrar olunmalıdır. Bu isə planalmanın istehsalını aşağı salmaqla yanaşı, qravimetrin sıfır bölgüsünün kobud dəyişməsinə gətirir.

Düz gedişdə təkrar müşahidə üsulu yuxarıda şərh olunmuş üsulların vəhdətidir. Birqatlı müşahidə aparılır və 1–2–3–1, 1–4–5–1, 1–6–7–1 və s. ilgəhlərlə işlənir, yəni reysin bir

neçə nöqtəsi təkrarlanır. Bu üsul da istehsalat işlərində çox az tətbiq olunur.

«Sıfır» sürüşmənin paylanması üsulu yuxarıda şərh olunmuş hər üç üsuldən onunla fərqlənir ki, alınmış müşahidələr arasında fərq tapılır və planalmaya nəzarət olunur. Nəzarət sıfır bölgünün dəyişmə qrafiki və ya nəzəri olaraq ilə həyata keçirilir.

Bütün üsullarda qravimetrin sıfır bölgüsünün dəyişməsinin xətti olması nəzərdə tutulur. Bu dəyişmə qeyri-xətti olduqda, bəzən **artımların ayrılqda müşahidəsi** üsulu tətbiq olunur. Bu üsulun digərlərindən fərqi orasındadır ki, hər bir sıravı nöqtə 1–2–1 sxemi ilə, yəni dayaq məntəqəsi kimi işlənir.

3.3. Qravimetrlə dənizdə müşahidə

Qravimetriyada axtarış-kəşfiyyat işlərinin böyük bir həcmi dəniz akvatoriyasında aparılır. Müşahidə bilavasitə dəniz sularının altında və ya üstündə aparılır. Dəniz planalması bir çox problemlər ortaya çıxır: müşahidə nöqtələrinin koordinatlarının təyini, dənizin dalğalanması nəticəsində qravimetrin tarazlıq vəziyyətinə gətirilməsi, hərəkətdə olan gəminin sürəti və s. Bu problemlərdən birincisi, yəni müşahidə

nöqtəsinin koordinatlarının təyini son illərdə xüsusi sputniklərin xeyli asanlaşmış və dəqiqləşdirilmişdir.

Qravimetrik planalma bir neçə mərhələdə həyata keçirilir. Birinci mərhələ və ya hazırlıq pilləsində riyazi emal üçün vacib olan, istifadə olunan avadanlığın texniki parametrləri yoxlanılır. Əyilmə üsulu ilə qravimetrlər etalonlaşdırılır, yəni ölçü şkalasının bir bölgüsünün *mQal* -la qiyməti təyin olunur, qeydiyyat qurğuları tənzimləndirilir. Xüsusi metodik üslublarla qravimetrlərin dinamik əlamətlərini xarakterizə edən bütün ölçü parametrləri sınaqdan keçirilir.

İkinci mərhələ – dayaq şəbəkəsində aparılan müşahidələrdir. Bu müşahidələr lövbər atmış gəminin üstündə – meta (inersiya) mərkəzində reysə çıxmazdan əvvəl aparılır. Dayaq şəbəkəsində müşahidələrin məqsədi, sırası müşahidə sistemində istifadə olunan ağırlıq qüvvəsi mütləq qiymətlərinin mümkün qədər dəqiq təyin olunması, eləcə də gəmidə quraşdırılmış qravimetrlərin ölçmə qabiliyyətinin dəqiqliyini müəyyənləşdirməkdir.

Üçüncü mərhələ – dənizdə aparılan planalma işləridir. Qarşıda qoyulmuş geoloji məsələdən asılı olaraq dənizdə planalma işləri digər okeanoloji tədqiqatlarla kompleks olaraq əvvəlcədən müəyyənləşdirilmiş poliqonlarda həyata keçirilir.

Dəniz qravimetrik planalmanın əsas dəqiqlik əlamətlərindən biri radionaviqasiya üsulu ilə müşahidə nöqtələrinin koordinatlarının təyin olunmasıdır.

Dənizdə qravimetrik planalma işləri, avadanlıqdan istifadə etmədən asılı olaraq **dib** və **üst** qravimetrik üsullara ayrılır.

Dib qravimetrik planalmada, qravimetr dənizin dibinə buraxılır və xüsusi qurğularla tam şaquli vəziyyət verildikdən sonra və «blik» sıfır vəziyyətinə, yəni tam horizontal hala gətirilərək gəmidə quraşdırılmış ekrandan qravimetrin göstəricisi qeyd olunur. Bu zaman, təbii olaraq, istifadə olunan gəmi müşahidə nöqtəsində dayanır. Şübhə yoxdur ki, müəyyən sürətlə hərəkət edən gəmi inersiya nəticəsində istənilən nöqtədə lazım olan anda dayanmır. Bu proses aradan götürmək üçün mütləq və minimum iki motorlu gəmidən istifadə olunur. Müşahidə nöqtəsində motorlar əks koherent işləyir, nəticədə müəyyən zaman anında gəmi sanki «donur» və müşahidə aparılır. Dib planalmada müşahidə dənizin şelf zonalarında helihopper (vertolyot) vasitəsi ilə həyata keçirilir. Müşahidə nöqtəsində helihopper «hava yastığı» yaratdıqdan sonra qravimetr dənizin dibinə buraxılır və ölçü götürülür.

Üst qravimetrik planalmada istifadə olunan avadanlıq gəminin üstündə quraşdırılır və müşahidə zamanı gəmi

əvvəlcədən müəyyənləşdirilmiş düz xətti profillər boyuca mümkün olan qədər dəyişməz sürətlə hərəkət edir. Sürətin dəyişməz olması Etveş düzəlişinin dəqiq olması üçün zəruridir. Bu zaman dinamik qravimetrlərdən istifadə olunur, yəni qravimetrin göstərişi xüsusi qurğu ilə fasiləsiz qeyd olunur. Bu xüsusi qurğunun qeydiyyat sürəti gəminin sürətinə uyğunlaşdırılır, əks halda planalmanın lazım olan miqyası inhiraf oluna bilər. Müşahidə nöqtəsindən keçdikdə radionaviqatorun, yəni operatorun göstərişi ilə müşahidə nöqtəsi qeyd olunur. Materialların emalı prosesində xüsusi paletka (çərçivə) vasitəsi ilə qravimetrin ölçü şkalasının qiymətinə görə *mQal*-a çevrilir. Üst qravimetrik planalmada reysə çıxmazdan əvvəl, sahilə əvvəlcədən müəyyən olunmuş dayaq nöqtəsində, lövbər atmış gəmidə minimum 2-3 saat, xüsusi motordan idarə etməklə fasiləsiz qeydiyyat aparılır, sonra reysə çıxılır. Dənizin planalma sahəsinə çatdıqdan sonra gəmi dpyandırılır və yenə minimum 2-3 saat qeydiyyat aparılır. İstifadə olunan avadanlığın işləmə qabiliyyəti tam yoxlandıqdan sonra, əvvəlcədən müəyyən olunmuş profillər üzrə və dəyişməz sürətlə müşahidələr aparılır. Sahədə planalma işləri başa çatdıqdan sonra gəmi sahilə qayıdır, reysdən qabaq aparılan işlər təkrar olunur. Bu proses qravimetrin sıfır qiymətinin dəyişməsini

müəyyən etmək üçün həyata keçirilir. Düzxətli profillər mütləq bir-birini kəsməlidirlər və hər bir kəsişmə nöqtəsi də operator vasitəsilə qeyd olunur və bu nöqtələrdəki qiymətlər müşahidələrin dəqiqliyinin hesablanmasında istifadə olunur. Üst qraimetric planalmada, imkan daxilində, sahə elə seçilir ki, bu sahə dib planalma sahəsini müəyyən qədər təkrarlasın. Planalma işləri başa çatdıqdan və ilkin anomaliyalar xərtəsi tərtib olunduqdan sonra, xəritələr müqayisə olunur və interpolyasiya dəqiqliyi hesablanır. İnterpolyasiya dəqiqliyi planalma dəqiqliyindən yüksək olmalıdır.

Dördüncü mərhələ – dayaq nöqtələrində son müşahidələrdir. Bu müşahidələrlə planalmanın dəqiqliyi bir daha yoxlanılır. Dəniz qravimetrik planalma işlərində reyslərin müddəti bəzən 2-3 ay çəkir. Belə olan hallarda dördüncü mərhələnin aparılması tərtib olunmuş son anomaliyalar xərtəsinin dəqiqliyinin miqyasa uyğun olmasında əsas rol oynayır.

Nəhayət beşinci mərhələ – laboratoriya şəraitində istifadə olunmuş avadanlığın texniki parametrləri bir daha yoxlanılır və kameral işlər həyata keçirilir: son variantda lazımi xəritə tərtib olunur, transformasiya aparılır, kəsilişlər tərtib olunur və son hesabat tərtib olunur.

Qarşıda qoyulmuş geoloji məsələdən və planalma işləri aparılan sahənin coğrafi yerləşməsindən asılı olaraq dəniz qravimetrk planalma işləri təyyarələr vasitəsilə də aparılır və aeroqraviplanalma adlanır. Planalmanın metodu üst planalma işlərinin eynidir. Yeganə fərq xüsusi simli qravimetrlərdən istifadə olunmadır. Bu qravimetrin ölçü sistemi xüsusi dempferləyici mayədə yerləşdirilir.

3.4. Müşahidələrin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi

Planalmanın keyfiyyətə qiymətləndirilməsinin əsas əlaməti, aşağıdakı ifadə ilə hesablanan, müşahidələrin orta kvadratik xətasıdır, yəni

$$\varepsilon_g = \pm \sqrt{\varepsilon_{day}^2 + \varepsilon_{sir}^2} \quad (3.1)$$

Burada ε_{day} , ε_{sir} - dayaq və sırası şəbəkənin düzləndirilməsindən sonra müşahidələrin orta kvadratik xətasıdır. Əgər müşahidələr düzləndirilmirsə, dayaq şəbəkəsinin orta kvadratik xətası təxmini formulalarla hesablanır.

Mərkəzi müşahidə sistemi zamanı orta kvadratik xəta

$$\varepsilon_{day} = \pm \frac{\mu}{\sqrt{N_{ort}}} \quad (3.2)$$

formulu ilə hesablanır. Burada μ – hər hansı bir məntəqədə müşahidələrin orta kvadratik xətası, $N_{ort} = \frac{N}{n}$ – hər hansı bir məntəqədə müşahidələrin orta sayı, N – dayaq şəbəkəsində müşahidələrin ümumi sayı, n – mərkəzi dayaq məntəqəsi nəzərə alınmamaqla dayaq məntəqələrinin sayıdır. μ -nin qiyməti aşağıdakı formulla hesablanır:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{N - n}} \quad (3.3)$$

İki pilləli müşahidə sistemi zamanı orta kvadratik xəta aşağıdakı formula qiymətləndirilir:

$$\varepsilon_{day} = \pm \sqrt{\varepsilon_k^2 + \frac{n_t}{n_k + n_t} \cdot \varepsilon_t^2} \quad (3.4)$$

burada n_k, n_3 – karkas və tamamlayıcı dayaq məntəqələrinin sayı, $\varepsilon_k, \varepsilon_t$ – (3.6) formulası ilə hesablanan karkas və tamamlayıcı dayaq məntəqələrində ağırlıq qiymətlərinin hesablanmasında orta kvadratik xətalardır.

Poliqonal müşahidə sistemi zamanı orta kvadratik xəta aşağıdakı formula qiymətləndirilir:

$$\varepsilon_{day} = \pm \mu \cdot \sqrt{M} \quad (3.6)$$

burada ədədi artım qiymətri ilə ifadə olunmuş dayaq məntəqələri arasındakı orta artım qiymətidir. μ -nin qiyməti

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{N - S}} \quad (3.7)$$

formulu ilə hesablanır. Burada S – dayaq şəbəkəsi poliqonlarının tərəfləri sayıdır.

3.5. Anomaliya dəqiqliyinin hesablanması

Qravimetriyada planalmanın dəqiqliyi əsas əlamətlərdən biridir. Dəqiqlik aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$\varepsilon_a^2 = \pm \sqrt{\varepsilon_m^2 + \varepsilon_{day}^2 + \varepsilon_B^2 + \varepsilon_L^2 + \varepsilon_T^2} \quad (3.8)$$

burada ε_m – müşahidə olunmuş qiymətlərdə, ε_{day} – dayaq şəbəkəsində, ε_B – Buge anomaliyalarının hesablanmasında, ε_L – normal qiymətlərin hesablanmasında və ε_T – topoqrafiya işlərində alınan xətalardır. Göründüyü kimi qravimetriyada planalmanın dəqiqliyi iş prosesində bir-birindən asılı olmayan beş əsas parametrdən asılıdır. Buradn aydındır ki, qravimetrik planalma nə dərəcədə kamillik tələb edir.

Sahəvi planalmanın nəticələri izoanomallarla (eyni qiymətli anomaliya xətləri) ifadə olunmuş, qarşıda qoyulmuş

Qravi-kəşfiyyat işlərində tərtib olunan xəritələrin miqyası
və izoxətlərin uyğun keçirilməsi

Cədvəl 2.

Miqyas	İzoxətlərin addımı, mQal	Buge anomaliyalarının hesablanmasıda yol verilən xəta, mQal	Müşahidə qiymətlərinin hesablanmasıda yol verilən xəta, mQal	Tam interpolyasiya, mQal
Düzənlik ərazilərdə				
1:500 000	5	±1,5	±0,5	±2,0
1:200 000	2	±0,8	±0,4	±1,0
1:100 000	1	±0,4	±0,3	±0,5
1:50 000	0,50	±0,20	±0,15	±0,35
	0,25	±0,10	±0,07	±0,20
1:25 000	0,25	±0,10	±0,06	±0,20
	0,20	±0,08	±0,06	±0,15
1:10 000	0,20	±0,08	±0,06	±0,15
	0,10	±0,04	±0,03	±0,07
1:5 000	0,10	±0,04	±0,030	±0,07
	0,05	±0,02	±0,015	±0,03
Dağlıq ərazilərdə				
1:500 000	5	±2,0	±0,5	±3,0
1:200 000	2	±1,0	±0,40	±1,50
1:100 000	1	±0,50	±0,25	±0,70
1:50 000	1	±0,50	±0,25	±0,70
	0,50	±0,25	±0,12	±0,35
1:25 000	0,50	±0,25	±0,12	±0,35
	0,25	±0,12	±0,06	±0,20
1:10 000	0,20	±0,10	±0,06	±0,15
1:5 000	0,10	±0,05	±0,03	±0,07

məsələnin xarakterindən asılı olaraq, müxtəlif reduksiya xəritələrlə və profillər boyunca planalmalarda isə qrafiklərlə təqvim olunur. Xəritələrə müəyyən diskret məsafələri ilə

müşahidə məntəqələrinin nömrələri və hər bir nöqtədə anomaliya qiymətləri qeyd olunur. Dayaq və sırayı nöqtələrin müşahidə qiymətlərinə görə xəritələr interpolyasiya olunmaqla poliqon üsulu ilə tərtib olunur, yəni minimum üç nöqtə arasında izoxətlər miqyasa uyğun keçirilir. Aşağıdakı cədvəldə axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat qravimetriya işlərində tərtib olunan xəritələrin miqyası və izoxətlərin uyğun keçirilməsi verilir.

3.5.1. Çöl müşahidələrinə görə sıxlığın hesablanması

Qeyd etdik ki, süxur və mineralların sıxlığını bilavasitə təyin etmək mümkün olmur. Yuxarıdakı cədvəllərdə verilənlər isə ümumən götürülmüş qiymətlərdir. Bundan başqa süxur və minerallar çox nadir hallarda bəsit halda olurlar. Onlar qarışıq halda olduğundan qravimetrə hansı süxurun sıxlığının təsiri yox, ümumi kütlənin təsiri öyrənilir. Bu təsir, yəni iş aparılan ərazinin mühitin real sıxlığı qravimetrik müşahidələrə görə təyin edilir.

Sıxlığın yeraltı müşahidələrə görə təyini. Əgər qravimetrik müşahidələr Yerin müəyyən dərinliyində (quyularda, şaxtalarda) aparılırsa, bu müşahidələrin qiymətlərinə görə qravimetriyada çox səmərəli olan sıxlıqların təyin olunmasını həyata keçirmək olar. Müşahidələr bir-birinin

altında olan (yer səthi və quyunun hər hansı bir dərinliyində) nöqtələrdə aparılırsa, onda bu iki müşahidənin fərqi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\hat{\partial}g = (0,3086 \cdot h - 0,0838 \cdot \sigma \cdot h) + g_T$$

Burada h - şaquli məsafə (müşahidə nöqtələri arasındakı məsafə), g_T - topoqrafiyaya görə düzəlişdir. Bu ifadədən sıxlığı aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$\sigma = \frac{0,3086 \cdot h - (\hat{\partial}g - g_T)}{0,0838 \cdot h} \quad (3.9)$$

g_T - düzəlişi σ - dan asılı olduğundan (1.45) bərabərliyi ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə həll oluna bilər. Ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə təyin olunan sıxlıq ən real sıxlıqdır, ancaq tətbiq olunması çox vaxt aparır. Bundan başqa, müəyyən bir istiqamətdə sıxlığın qiyməti, bu istiqamətə ortoqonal istiqamətdə tamamilə başqa qiymət alır. Bu axtarış-kəşfiyyat və ya elmi-tədqiqat işləri aparılan ərazidə süxurların sıxlığının izometrik dəyişməsi ilə izah oluna bilər.

Nettltton üsulu ilə sıxlığın təyini. Bu üsulla sıxlıq haqqında kafi məlumat əldə etmək olar. Lakin bu üsul relyefi mürəkkəb formada olan ərazilərdə daha effektivlidir. Tədqiqat sahəsindən diaqonal xarakterli profil keçirilir və Buge anomaliyalarının qiyməti sıxlığın bir neçə qiymətlərində

hesablanılır (əlbəttə, tədqiqat sahəsinin geologiyasına uyğun gələn). Profil boyunca alınmış Buge anomaliyaları əyrisinin forması relyefin formasını əks etdirdikdə istifadə olunan sıxlıq real sıxlıq kimi qəbul olunur.

Parasonis üsulu ilə sıxlığın təyini. Bu üsul Nettltonun qrafiki üsulunun riyazi formasıdır. Əgər (1.44) bərabərliyində hədlərin yerini dəyişsək,

$$\begin{aligned} (g_m - g_R \pm dg_L + 0,3086 \cdot h) - \partial g_B &= (0,0419 \cdot h - T) \cdot \sigma \\ \sigma &= \frac{(g_m - g_R \pm dg_L + 0,3086 \cdot h) - \partial g_B}{0,0419 \cdot h - T} \end{aligned} \quad (3.10)$$

alınar. Bir halda ki, süxurların orta sıxlığından istifadə olunur, onda Buge anomaliyasının orta qiyməti sıfır qəbul edilir. Bu halda (3.10) bərabərliyi $y = m \cdot x - b$ düz xətt tənliyinə çevrilir. Əgər düzbucaqlı koordinat sistemində y oxunda $(g_m - g_R \pm dg_L + 0,3086 \cdot h)$ -nin qiymətlərini, x oxunda $(0,0419 \cdot h - T)$ -nin qiymətlərindən dəyişən funksiya kimi (istənilən miqyasda) qeyd edib, alınmış nöqtələrdən düz xətt keçirsək, bu düz xəttin x oxuna nisbətən əyilməsi σ -nın qiyməti olacaq. Aydındır ki, bu nöqtələr düz xətt üstündə Yerin bircins olduğu halda daha səlis yığılacaqdır. Ancaq Yer bircins olmadığından nöqtələr çox az hallarda düz xətt üstündə yığılır.

Belə olmayan hallarda ən kiçik kvadratlar üsulundan istifadə etmək lazımdır.

Sıxlığın bu üsulla hesablanması regional tədqiqat işlərində yaramır. Kiçik ölçülü sahələrdə yüksək miqyaslı yüksək dəqiqlikli qravii-kəşfiyyat işləri apardıqda bu üsulla sıxlığın öyrənilməsi vacibdir.

3.5.2. Qravimetrik metodla sıxlığın təyin olunmasına şaquli qradiyentin təsiri

Qravimetriyada ağırlıq qüvvəsinin anomal şaquli qradiyenti – Yerin mərkəzinə doğru cazibə qüvvəsi hər bir metrə müəyyən qiymətlə təsir edir, yəni normal təcil yaranır.

Bu qiymət $0,3086 \frac{mQal}{m}$ -dir. Yuxarıda qeyd olunmuşdur ki,

qravimetrik məlumatlara görə sıxlığın hesablanmasında $0,3086 \frac{mQal}{m}$ kəmiyyətinə bərabər olan ağırlıq qüvvəsi şaquli

qradiyentinin V_{ZZ} normal qiymətindən istifadə olunur.

Həqiqətdə isə şaquli qradiyent planalma sahəsində heç vaxt sabit qiymət almır, həm regional, həm də lokal işlərdə V_{ZZ} -in

anomal qiymətləri müşahidə olunur. V_{ZZ} -in lokal anomaliyaları

üst qatların təsiri ilə əlaqədardır və bu təsir g_B əyrisinin inhirafına səbəb olur, bu halda verilmiş Buge düzəlişi dəqiq

olmaz. V_{zz} -in regional anomaliyalari isə qradientin gətirilmə səthinin inhirafına səbəb olur və hesablanmış Buge düzəlişi müəyyən δ xətası ilə hesablanana bilər, yəni hər iki halda V_{zz} müəyyən ΔV_{zz} qiymətini alır. Bu prosesi nəzərə almaq üçün yerüstü və ya quyu qravimetrik müşahidələrin emalında istifadə olunan Buge düzəlişində $k = 0,3086 - 0,0419 \cdot \delta_H$ sabitinə ΔV_{zz} xətasını əlavə etmək vacibdir, yəni

$$k = 0,3086 - 0,0419 \cdot \delta_H = 0,3086 + \Delta V_{zz} - 0,0419 \cdot \delta \quad (3.11)$$

Buradan ΔV_{zz} -i hesablamaq mümkündür, yəni

$$\delta = \delta_H + \frac{\Delta V_{zz}}{0,0419}$$

$$\Delta V_{zz} = 0,0419(\delta - \delta_H) \quad (3.12)$$

burada ΔV_{zz} - şaquli qradientin normal qiymətdən fərqi, δ_H və δ - uyğun olaraq V_{zz} -in hesablanmasında istifadə olunan normal və real sıxlıqlardır. ΔV_{zz} -in hesablanması aktiv tektonik rayonlarda xüsusən vacibdir.

§4. QRAVITASIYA SAHƏSİNİN TRANSFORMASIYASI

Cazibə qüvvəsi təcilinin izoxətlərlə ifadə olunmuş xəritəsi maqnit sahəinin tam vektorunun və ya şaquli təşkiledicisinin xəritəsinə çox oxşayır. Ancaq qravitasiya sahəinin xəritəsi maqnit sahəinin xəritəsinə nisbətən „hamar“ və ya „axımlı“dır. Bu, qravitasiya sahəsinə təsir edən əsas arqumentlərdən biri olan süxurların sıxlıqlar fərqiinin dəyişməsinin, süxurların maqnit nüfuzluğunun dəyişməsinə nisbətən az olması ilə izah olunur. Qravitasiya xəritəsinin sadə və axımlı olması onun geoloji interpretasiyasını çətinləşdirir, belə ki, bir çox geoloji obyektlər qravitasiya sahəsində əsasən daha böyük və dərinədə yatan strukturlar əks olunurlar. Analoji olaraq nəhəng strukturların təsiri kiçik ölçülü strukturların qravitasiya effektini azaldır. Ancaq qravitasiya sahəinin təfəsilati analizi sahədə əks olunmuş bütün obyektləri geoloji interpretasiya etməyə imkan verir. Qravimetriyada müşahidə işlərinin maya dəyəri interpretasiya işləri ilə birlikdə, digər geofiziki və geoloji işlərə nisbətən çox ucuzdur. Bununla bəhəm, qravimetrik materialların interpretasiyasından alınan məlumatlar, öyrənilən ərazinin geologiyası haqqında digər geofiziki və geoloji işlərə nisbətən daha zəngindir. Bu həqiqətən belədir. Ancaq çox-çox əfsuslar olsun ki, geofizikanın seysmik metodundan az və ya

çox xəbəri olan da olmayan da geofizikanın digər metodlarını, xüsusən qravimetriyanı, tanımaq belə istəməirlər. Bu, ilk növbədə, metodun qavranılmamasından, başa düşülməməsindən, idrakın qəbul etməməsindən irəli gəlir. Digər tərəfdən, haqq-ədalət naminə qeyd etsək, neft-qaz tələlərinin öyrəniməsində seysmik metodu heç bir geofiziki metod əvəz edə bilməz. Bundan başqa, bütün dünyada seysmik metoda çəkilən xərclər, digər geofiziki metodlara çəkilən xərclərdən müqayisə olunmaz dərəcədə çoxdur. Buradan da aydındır, hər hansı bir problemin həllinə sərf olunmuş maliyyə miqdarını nə olur olsun çıxarmaq lazımdır. Bu səbəblərdən dünya geofizikləri arasında xoşagəlməz „seymoşovinizm dalğası“ tüğyan edir. Etiraf etmək lazımdır ki, bu cür „dalğalar“ digər geofiziki əsas metodların (qravimetriya, maqnitometriya, elektrometriya) inkişaf olmasına ciddi maneçilik yaradır.

Qravimetrik materialların geoloji interpretasiyasını daha dəqiq həyata keçirilməsi üçün əsasən Buge və ya Fay reduksiyalarında qravimetrik xəritə son variantda tərtib edildikdən sonra istifadə olunur. Bu, ilk növbədə qarşıya qoyulmuş geoloji məsələdən asılıdır. Qravimetrik materialların geoloji interpretasiyasında birinci və vacib məsələ qravimetrik xəritənin transformasiyasıdır. Transformasiya – bir formadan

başqa bir formaya **çevrilmə** mənasında işlədilir. Qravimetriyada çevrilmə xəritənin əsasən iki formada: **regional fon** və **lokal anomaliya** formasında ifadə olunması başa düşülür.

4.1. Regional fon, lokal və qalıq anomaliyalar

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, qravimetrik xəritədə əks olunmuş anomaliyalar dərinlikdə yerləşən nəhəng strukturlarla əlaqədardırlar. Qravimetrik məlumatların bu əlaməti regional fon adlanır. Regional fonu qravimetrik xəritədən ayırmaq çox ciddi problemdir. Problemin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, öyrənilən ərazinin geoloji və tektonik əlamətlərindən asılı olaraq, qravimetrik xəritədə regional fon özünəməxsus formada əks olunur. Regional fonu qravimetrik xəritədən ayırmaq üçün transformasiyada istifadə olunan parametrlər, bu fonu yaradan geoloji obyektlərin yatım elementlərinə, yəni yatma dərinliyinə, sıxlığına və hündəsi ölçülərinə uyğun olmalıdır. Parametrlər düzgün verilmədikdə ayrılmış regional fon, lokal və qalıq anomaliyaların geoloji interpretasiyası tamamilə yanlış nəticələrə gətirib çıxara bilər. Başqa bir tərəfdən, hətta ola bilsin əsas əlamətlərin biri olan, regional fonun ayrılmasında planalma işlərinin miqyası da müəyyən rol oynayır. Ola bilsin ki, bir miqyasda ayrılmış fon, digər miqyasda lokal və ya qalıq

anomaliya kimi qəbul olunsun. Bu əlamət lokal və ya qalıq anomaliyalar üçün də doğrudur, yəni müəyyən bir miqyasda olan lokal və ya qalıq anomaliya digər miqyas üçün regional fon ola bilər. Bundan başqa, axtarış-kəşfiyyat işlərində öyrənilən obyektlər də rol oynayır, yəni neft-qaz yataqlarının axtarışında tədqiq olunan lokal və ya qalıq anomaliya filiz yataqları üçün regional fon ola bilər. Ona görə də regional fon, lokal və ya qalıq anomaliya dedikdə tədqiqat işləri aparılan əraziyə xas olan geoloji və tektonik əlamətlər əsas rol oynayır. Bu faktordan asılı olaraq transformasiyanın aparılması da düzgün seçilməlidir.

Qravimetriyada potensial sahənin transformasiyasının bir neçə metodu övcüddür. Onlardan bir neçəsinin mahiyyəti aşağıda verilir.

4.2. Ortalaşdırma və qrafiki metod

Transformasiyanın ən sadə üsulu „ütülənmə“ prinsipinə əsaslanır. Bu, ilk növbədə cazibə sahəsinin axımlılığından irəli gəlir. Yuxarıda qeyd olunmuşdur ki, cazibə potensialının bir səviyyədən digər səviyyəyə kəskin keçirmək olmaz və bu asan problem deyil. Ortalaşdırma və qrafiki metodun əsas mahiyyəti bu əlamətdən irəli gəlir və transformasiya metodları arasında ən geniş yayılan metoddur. Planalmanın profil və sahəvi

aparılmasından asılı olaraq ortalaşdırma metodu profillər boyunca və sahəvi aparılır. Qeyd etmək lazımdır ki, ilk dəfə rus alimi V.R. Qriffin tərəfindən bu metod riyazi yolla təklif olunduğu üçün **Qriffin ortalaşdırma** metodu da adlanır.

Regional fon anomaliyaları ortalaşdırma nəticəsində alınan qravieffekdir. Qalıq və ya lokal anomaliyalar isə müşahidə məntəqələrində qravimetrlə müşahidə olunan qiymətlərlə ortalaşmış qiymətlər arasındakı fərqlərdir. Potensial sahələrin bu metodla transformasiyasının mahiyyəti aşağıdakı kimidir.

Profillər boyunca aparılan işlərin nəticələrinə görə verilmiş miqyasda Δg_B anomaliyaları əyrisi tərtib olunduqdan sonra diskret addımı seçilir. **Diskret addımı** qrafikin tərtib olunduğu miqyasdan asılı olmayaraq, əsasən $1sm$ götürülür. Miqyasdan asılı olaraq, $1sm$ -in sabiti olur, məsələn $1sm$ -də $5mQal$. Diskret addımı seçildəndən sonra planalmanın miqyası və qarşıda qoyulmuş geoloji məsələdən asılı olaraq transformasiya parametri seçilir. Transformasiya parametrinin seçilməsi üçün tədqiqat işləri aparılan sahənin geologiyası haqqında aprior məlumatlar əsas götürülür. Transformasiya parametri ilə öyrənilən dərinlik haqqında aşağıdakı empirik formula məlumdur:

$$R \approx (0,5 \div 0,7) \cdot H = k \cdot H$$

Burada k - transformasiya parametri, H - öyrənilən dərinlikdir. Transformasiya parametri qəbul edildikdən sonra profil boyunca hər bir müşahidə nöqtəsindəki Δg anomal qiymətdən transformasiya parametrinə uyğun qiymətlərin orta ədədi qiyməti çıxılır. Transformasiya parametrinə uyğun qiymət dedikdə müşahidə nöqtəsindən R diskret addımı qədər sağda və solda Δg_B qrafikindən interpolasiya olunmuş qiymətlər başa düşülür. Orta ədədi qiymət

$$\Delta g_{ort.qiym.} = \frac{\Delta g(+R) + \Delta g(-R)}{2}$$

ifadəsi ilə hesablanır. Burada $\Delta g(+R)$ - müşahidə nöqtəsindən sağda, $\Delta g(-R)$ - isə müşahidə nöqtəsindən solda Δg_B qrafikindən interpolasiya olunmuş qiymətlərdir.

$$\Delta g_{lok} = \Delta g_m - \Delta g_{ort.qiym.}$$

İfadəsindən lokal anomaliyalar hesablanır.

Sahəvi planalma işlərində isə xüsusi paletkadan (çərçivədən) istifadə edilir. Qarşıya qoyulmuş geoloji məsələyə uyğun olaraq transformasiyada istifadə olunan paletkalar müxtəlif formalı olurlar: dairəvi, kvadratik, düzbucaqlı, ellipsoid və s. Əgər bircinsli mühit üçün, yəni izotrop, transformasiya həyata keçirilirsə, paletka kvadratik və ya kvadratik götürülür, əksinə əgər qeyri-bircins götürülürsə, yəni

anizotrop, onda paletka düzbugaqlı və ya ellipsvari götürülür. Axtarış-kəşfiyyat və elmi-tədqiqat işlərində ən çox istifadə olunan paletka dairəvi fomalıdır. Paletkanın radiusu transformasiyanın parametri rolunu oynayır və onun seçilməsi eynilə profil boyunca olduğu kimidir. Profil boyunca ortalaşdırma anomaliyaların intensivliyi və amplitudları məlum olduqda aparılır. Profil boyunca transformasiyada məqsəd lokal və regional anomaliyaların geoloji təşkiledicilərinin ölçülərini dəqiq öyrənməkdir. Sahə boyunca transformasiya lokal və regional fon anomaliyalarının müşahidə olunmuş qravitasiya sahəsində görünməz olduğu halda aparılır. Məsələn, müşahidə olunmuş sahə çox mürəkkəb formalı (xoatik, kəskin qradiyentli və s.), eyni zamanda, müşahidə olunan sahə sadə formalı olduqda belə onun onun lokal təşkilediciləri görünməz olur. Hər iki halda sahə boyunca transformasiya apararkən istifadə olunan paletkanın mərkəzi müşahidə nöqtəsində yerləşdirilir. Paletkanın düyün nöqtələrinə düşən Δg_B interpolyasiya qiymətləri qeyd olunur və onların orta ədədi qiyməti hesablanır. Yuxarıda göstərilən formulalarla lokal və regional fon anomaliyaları hesablanır.

Paletkanın düyün nöqtələrindəki qiymətlər transformasiya parametrindən asılıdır, yəni paletkanın formasından asılı olaraq düyün nöqtələrinin sayı da dəyişir.

Sahəvi transformasiya ilk dəfə olaraq V.P.Griffin (Griffin W.R., 1949) və L.A.Andreyev tərəfindən təklif olunub. Ona görə də bu üsula qravimetriyada **Andreyev-Qriffin** üsulu da deyilir. Bu üsulun fiziki və riyazi mənası ondan ibarətdir ki, müşahidə olunmuş Δg_B qiymətlərindən regional fon və lokal anomaliyaları ayırmaq üçün müşahidə olunmuş Δg_B anomaliyaların ikinci tərtib törəməsi hesablanır. Bu transformasiya üsulunda regional fon müşahidə nöqtəsi ətrafında orta qiymətdir, yəni

$$g(R) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(R, \theta) d\theta \quad (3.13)$$

Burada R - paletkanın parametri, θ - düyün nöqtəsinə doğru R parametrnin azimutudur. Bu formulada iştirak edən inteqralı, paletkanın parametrlərinə uyğun düyün nöqtələrində Δg_B interpolyasiya qiymətlərinin cəmi kimi qəbul etsək,

$$\bar{g}(R) = \frac{g(R, \theta_1) + g(R, \theta_2) + \dots + g(R, \theta_n)}{n} \quad (3.14)$$

alınar. Təcrübədə $g(R, \theta)$ qiymətləri qravimetrik xəritədə interpoliyasiya üsulu ilə paletkanın düyn nöqtələrindən götürülür.

Bu üsulla alınmış fon anomaliyasına görə lokal anomaliya hesablanır və beləliklə hər iki anomaliya müşahidə olunmuş Δg_B anomaliyasının ikinci tərtib törəməsi hesab olunur. Alınan nəticələrin daha inamlı olmaı üçün paletkanın ölçülərinin düzgün seçilməsi vacib problemdir. Paletkanın parametri kiçik olduqda regional fon müşahidə qiymətlərinə yaxın alınır, əksinə parametr böyük olduqda regional fon daha uzaqdakı obyektlərin təsirini özündə cəmləşdirəcək və hesablanmış fon və lokal anomaliyaların inhiraf səviyəsini qaldıraçaq və geoloji obyekt haqqında yanlış təsəvvür yaranacaq.

4.3. Qalıq və üçüncü tərtib törəmə anomaliyaları

Hər hansı bir analitik funksiyanın $[f^n(x)]$ yüksək tərtibli törəməsi özündən əvvəlki tərtibdən olan $[f^{n-1}(x)]$ törəmənin nəzərə almadığı effektləri daha qabarıq büruzə vermək, üzə çıxarmaqdır. Bu mənada, cazibə qüvvəsi təcilinin yüksək tərtibli törəmələrinin hesablanması böyük əhəmiyyəti var. Cazibə qüvvəsi təcilinin yüksək tərtibli törəməsinin hesablanması fiziki mənası – müşahidə nöqtəsi yaxınlığında yerləşmiş

obyektlərdən alınan qravitasiya effektləri daha qabarıq bürüzə verməklə yanaşı, uzaqda yerləşmiş obyektlərin qravitasiya effektini azaltmaqdır. Başqa sözlə, regional fon və lokal anomaliyaların intensivliyini daha da gücləndirir. Ancaq bu güclənmə müəyyən hədd daxilindədir, yəni müəyyən hesablamadan sonra əks proses baş verir, bu zaman geoloji interpretasiyaya xüsusi fikir verilməlidir.

Beləliklə, belə bir nəticə alınır ki, müxtəlif tərtiblərdən alınan regional fon və ya lokal anomaliyaların arasında fərq olmalıdır. Qravimetriyada bu fərqə **qalıq anomaliya** deyilir. Qalıq anomaliyaların ən sadə forması transformasiyada istifadə olunmuş paletkanın radiusları arasında olan fərqə görə hesablanmış anomaliyalardır. Bu anlayışı ilk dəfə olaraq bir-birindən asılı olmayaraq Saksov və Niqard təklif etdiyinə görə qravimetriyada Saksov-Niqardın qalıq anomaliyaları adlanır və aşağıdakı empirik formula ilə hesablanır:

$$\Delta g_{q.a.} = \frac{\bar{g}(R_1) - \bar{g}(R_2)}{R_2 - R_1} \quad (3.15)$$

burada $\bar{g}(R_1)$ və $\bar{g}(R_2)$ radiuslarında alınan lokal anomaliya, R_1 və R_2 isə planalmanın miqyasına uyğun olan ədədi qiymətlərdir.

Yuxarıda qeyd olunmuşdur ki, cazibə təcilinin yüksək tərtibli törəməsi sətyanı amillərin təsirini daha da gücləndirir. Belə olan halda qalıq anomaliya ilə yüksək tərtibli törəmə arasında fərq olmalıdır. Həqiqətən, yüksək tərtibli törəmənin fiziki mənası törəmə hesablanan nöqtədə müşahidə olunmuş Δg_B əyrisinin əyilmə ölçüsüdür, yəni şaquli törəməsidir. Əyilmə qiymətinin dəyişməsi isə qalıq anomaliyalarla bilavasitə əlaqədardır. Bu mənada qalıq anomaliyaların fiziki mənası müşahidə nöqtəsində Δg_B əyrisinin toxunan və ya horizontal törəməsidir. Təbii olaraq, yüksək tərtibli şaquli və horizontal törəmə arasında fərq olmalıdır. Belə bir mülahizənin üstündə ilk dəfə nəzəri olaraq, Elkins (Elkins T.A., 1955) işləmişdir və bu nəzəriyyənin əsas mahiyyəti aşağıdakı kimidir.

Məlum olduğu kimi $g(x, y, z)$ funksiyası hər hansı bir oblastda harmonikdir, yəni bu funksiyanın verilmiş oblastda kəsilməz yüksək tərtibli törəməsi var və Laplas tənliyini ödəyir. $z=0$ olduqda, yəni qravimetrik xəritənin tərtib olunduğu müstəvi, aşağıdakı funksiya doğrudur,

$$\bar{g}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(r \cdot \cos \theta, r \cdot \sin \theta, 0) d\theta \quad (3.16)$$

çünki bu funksiya $z=0$ olmaqla z radiuslu sferik fəzanın hər hansı müşahidə nöqtəsində və müşahidə nöqtəsi sferanın

mərkəzində olmaq şərti ilə $g(x, y, z)$ cazibə təcilinini orta qiymətidir. Bu funksiya $z=0$ ətrafında yığılan və harmonik olan aşağıdakı sıraya ayırmaq olar:

$$\bar{g}(r) = a_0 + a_2 \cdot r^2 + a_4 \cdot r^4 + \dots + a_n \cdot r^n \quad (3.17)$$

Göründüyü kimi bu ifadədə r -in tək qüvvətləri nəzərə alınmayıb. Ona görə ki, (1.62) ifadəsində $\sin^m \theta$, $\cos^n \theta$ hədlərini r^{m+n} həddinə vurmaq lazım gələrdi. Belə olduqda isə $0 \div 2\pi$ intervalında inteqrallandıqda $m+n$ cüt ədəd olduğundan inteqral sıfır qiymətini alar.

Laplas tənliyini aşağıdakı kimi yazıb

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right)$$

(x, y) müstəvisində polyar koordinat sisteminə keçib

$$x = r \cdot \cos \theta, y = r \cdot \sin \theta$$

və Laplas tənliyinin hər iki tərəfini θ -ya görə $0 \div 2\pi$ intervalında inteqrallasaq

$$\int_0^{2\pi} \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} d\theta = -\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \right) \int_0^{2\pi} g \cdot d\theta - \frac{1}{r^2} \int_0^{2\pi} \frac{\partial^2 g}{\partial \theta^2} d\theta \quad (3.18)$$

alarıq. Bu bərabərliyin sağ tərəfinin ikinci həddi inteqrallandıqdan sonra $\left(\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial g}{\partial \theta} \right) \Big|_0^{2\pi}$ ifadəsini alır və sıfıra çevrilir.

(1.64) bərabərliyini $z=0$ olmaqla hər iki tərəfini 2π -yə bölsək

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial^2 g(r \cdot \cos \theta, r \cdot \sin \theta, z)}{\partial z^2} \right)_{z=0} d\theta = - \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \right) \cdot \bar{g}(r) \quad (3.19)$$

alınar. $r \rightarrow 0$ yaxınlaşmaqla $\bar{g}(r)$ -in (1.62) ifadəsindəki qiymətini nəzərə alsaq,

$$\left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{\partial^2 g(r \cdot \cos \theta, r \cdot \sin \theta, z)}{\partial z^2} \right\} \right)_{r=0, z=0} d\theta = 4a^2 \quad (3.20)$$

alınar. Əgər (3.20) bərabərliyini $z=0$ olmaqla z^2 -na görə differensiallasaq

$$\frac{\partial \bar{g}}{\partial (r^2)} = a^2$$

alarıq. Bu o deməkdir ki, $r = z = 0$ oduğu halda cazibə potensialı təcilinin dəyişməsinin yüksək tərtibli törəməsini qrafiki yolla da hesablamaq olar. Əgər hər hansı bir nöqtə üçün bir neçə radiusda $\bar{g}(r)$ -i hesablasaq və z^2 -dan asılı olaraq düzbucaqlı koordinat sistemində qeyd etsək, nəticəvi əyrinin koordinat mərkəzinə görə əyilməsi a^2 -na bərabər olacaqdır. Bu kəmiyyəti -4 -ə vursaq $\frac{\partial \bar{g}}{\partial z^2}$ -ni alarıq. Digər nöqtə üçün $r=0$ koordinat mərkəzi olmaqla $z=0$ müstəvisini diskret addımı qədər sürüşdürürük.

Yüksək tərtibli törəmənin qrafiki yolla hesablanması üçün çox vaxt tələb olunur və dəqiq olmur, eyni zamanda çox

sadədir. Yüksək tərtibli törəmə daha dəqiq bir neçə müxtəlif radiuslu analitik çevrədən istifadə etməklə hesablanır. Hər çevrədə alınan effekt ölçü sabitinə vurulur. Bu üsul bir-birindən asılı olmayaraq bir neçə alim tərəfindən irəli sürülmüşdür və nəzəri olaraq aşağıdakı kimi ifadə olunur.

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{k}{S^2} (k_0 \cdot g_0 + k_1 \cdot \bar{g}_1 + k_2 \cdot \bar{g}_2 + \dots + k_n \cdot \bar{g}_{n+1}) \quad (3.21)$$

burada g_0 - müşahidə nöqtəsində cazibə potensialının təcili (çevrənin mərkəzində), \bar{g}_1, \bar{g}_2 - ardıcıl olaraq məntəqələrdə cazibə potensialı təcilinin orta qiyməti, k_0, k_1 - ölçü sabitləri $\left(\sum_0^n k_i = 0\right)$, k - ədədi vurğu, S - müşahidə nöqtələri arasındakı məsafə və ya diskret addımıdır və bu parametr miqyasa uyğun olaraq km -lə ifadə olunur.

Çevrənin radiusu müşahidə şəbəkəsinin ölçülərindən asılıdır. Məsələn, əgər planalma kvadratik şəbəkə üzrə S addımı ilə aparılıbsa, onda çevrənin uyğun radiusları $S, \sqrt{2S}, \sqrt{5S}$ və s. olar. Bu sahədə ən sadə və dəqiq formula R.G. Henderson və J. Zeyts (Henderson R.G. Ziets J., 1949) tərəfindən irəli sürülüb və aşağıdakı kimidir:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 2(3g_0 - 4\bar{g}_1 + \bar{g}_2) \quad (3.22)$$

Yuxarıda qeyd etmişdik ki, k - ədədi vurğudur. Bu ədədi vurğu regional dəyişkəndir, yəni öyrənilən ərazinin geologiyası ilə əlaqədardır. Əsasən, süxurların stratigrafiyası ilə izah olunur. Azərbaycan ərazisi üçün bu vurğu vahid qəbul olunub və aşağıdakı formulaya görə mərhum professor T.S. Əmiraslanov tərəfindən yüksək tərtibli törəmənin hesablanması üçün xüsusi proqramlar toplusu tərtib edilib (**Allah rəhmət eləsin**).

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{1}{S^2} (0,69 \cdot g_0 + 0,59 \cdot \bar{g}_1 + 0,28 \cdot \bar{g}_2 - 0,24 \cdot \bar{g}_3 - 0,97 \cdot \bar{g}_4) \quad (1.68)$$

burada $\bar{g}_1 = \frac{g_1 + g_{-1}}{2}$; $\bar{g}_2 = \frac{g_2 + g_{-2}}{2}$; $\bar{g}_3 = \frac{g_3 + g_{-3}}{2}$; $\bar{g}_4 = \frac{g_4 + g_{-4}}{2}$

N Ə T İ C Ə

Beləliklə, bu dərs vəsaiti müəllifin şəxsi cəhdi və əməyi nəticəsində tərtib olunmuş və Bakı Dövlət Universiteti, “Seysmologiya və Yer təkinin fizikası” kafedrasında “Qravitasiya” fənninin proqramı əsasında apardığı müzahirə və seminar məşğələlərində rast gəldiyi əsas məqamlar nəzərə alınmışdır. Müəllif əmindir ki, kitab oxucuların irad və tövsiyələrinə məruz qalacaq. Oxucuların bütün irad və tövsiyələrinə müəllif əvvəlcədən öz minnətdarlığını bildirir.

Qeyd: Kitabın üz qabığında verilmiş qrafiki təsvirlər Rusiya Elmlər Akademiyası, Yerin Maqnetizmi İnstitutunun əməkdaşı V.A.Blednovun “Gizlənmiş kütlə və cazibə haqqında” məqaləsindən götürülmüşdür. Nyutonun ümumdünya cazibə qanununa görə “qarşılıqlı cazibə qüvvəsi mövcud kütlə hesabına” həyata keçirilir. V.A.Blednov hesab edir ki, bu “mövcud kütlə” Qalaktikanın, ulduz və planetlər sisteminin, eləcə də planet peyklərinin fırlanması nəticəsində yaranan xəyali varlıq və ya fəza strukturudur. Bu fəza strukturu hər bir planetə və onun peykinə (əgər peyk varsa) xasdır, ancaq onlar öz aralarında oxşardırlar. Bu cür fəza strukturlarını müəllif “gizlənmiş kütlə” adlandırır və hesab edir ki, cazibə sahəsini kütlə yox, fırlanma nəticəsində yaranmış fəza strukturu yaradır. Bu elmi nəticə böyük QURAN-la əhyə olunan “Kainatın yaranması haqqında” ayələrə çox yaxındır və bir daha təsdiq edir ki, QURAN-da verilənlər kainat həqiqətləridir...

Ә Д Ә В І Ү Ү А Т

1. Лукавченко П. И., Гравиметрическая разведка на нефть и газ, М., 1956;
2. Веселов К. Е., Сагитов М. У., Гравиметрическая разведка, М., 1968; Справочник геофизика, т. 5, М., 1968.
3. Веселов К.Е. Гравиметрическая съёмка. Москва: „Недра“, 1986, 312с.
4. Гравиразведка (справочник геофизика). Москва: „Недра“, 1981, 397с.
5. Гравиразведка (справочник геофизика). Москва: „Недра“, 1990, 607с.
6. Грушинский Н.П. Основы гравиметрии. Москва: „Наука“, 1983, 350с.
7. Грушинский Н.П., Грушинский А.Н. В мире сил тяготения. Москва: „Недра“, 1985, 150с.
8. Мудрецова Е.А., Баронов А.С., Филатов В.Г., Комарова Г.М. Интерпретация данных высокоточной гравиразведки на неструктурных месторождениях нефти. Москва: „Недра“, 1979, 196с.
9. Маловичко А.К., Костицын В.И., Тарунина Л.Л. Детальная гравиразведка на нефть и газ. Москва: „Недра“, 1979, 367с.
10. Шрайбман В.И., Жданов М.С., Витицкий О.В. Корреляционные методы преобразования и интерпретации геофизических аномалий. Москва: „Недра“, 1977, 237с.
11. Грушинский Н. П., Теория фигуры Земли, 2 изд., М., 1976;
12. Пеллинен Л. П., Высшая геодезия, М., 1978;
13. Бурша М., Основы космической геодезии, пер. с чеш., ч. 2, М., 1975.