ВАВЕ ВУЈЕВИЋ

ОСНОВИ
МАТЕМАТИЧНЕ И ФИЗИЧКЕ
ГЕОГРАФИЈЕ

I. ДЕО

МАТЕМАТИЧНА ГЕОГРАФИЈА — ГЕОФИЗИКА

ДРЖАВНА ШТАМПАРИЈА
КРАЉЕВИНЕ СРБА, ХРВАТА И СЛОВЕНАЦА
БЕОГРАД — 1923.

ОСНОВИ
МАТЕМАТИЧНЕ И ФИЗИЧКЕ
ГЕОГРАФИЈЕ

I. ДЕО

МАТЕМАТИЧНА ГЕОГРАФИЈА — ГЕОФИЗИКА

НАПИСАО

ПАВЛЕ ВУЈЕВИЋ

ПРОФЕСОР УНИВЕРСИТЕТА У БЕОГРАДУ

ДРЖАВНА ШТАМПАРИЈА

КРАЉЕВИНЕ СРБА, ХРВАТА И СЛОВЕНАЦА

БЕОГРАД, 1923.

ПРЕДГОВОР

После рата смо се нашли у врло несрећеним приликама; свршени матуранти су долазили на Универзитет са недовољном спремом из модерних језика да би се могли служити страним уџбеницима, а и да су могли било их је тешко, и по врло високу цену, набавити. С тога и из национјоналних разлога се појавила потреба за штампањем домаћих уџбеника, што је нарочито уочио тадањи ректор Универзитета Г. Јован Цвијић и у томе смислу поднео представку Г. Министру Просвете. По његовом повољном решењу одмах се прешло на рад.

Захваљујући предузимљивости и љубазности Г. Цвијића припала је и мени част да издам Основе Математичне и Физичке Географије, један од првих универзитетских уџбеника на нашем језику. За писање сам, међутим, добио доста кратак рок, четири и по месеца, и рукопис до 25 штампаних табака предат је Државној Штампарији октобра 1920 год. Од тада је прошло две и по године и појмљиво је, што сам већи део морао понова прерађивати због многих нових радова, које до оног доба нисам могао набавити и прочитати. Једино је Математична Географија остала непромењена, онака као што сам раније написао.

Пошто цела књига вероватно неће бити готова пре краја ове године, за сада излази само прва половина, да би се бар донекле задовољила потреба. На први ће поглед можда изгледати да је рад — као уџбеник — сувише велики. Заиста је све ово писано у првом реду за слушаоце Географије и блиских наука, који ће имати да полажу испите; они без сумње не морају све научити, нарочито извесне делове из Математичне Географије и Геофизике. Али сам у исто време мислио и на наставнике средњих школа, који предају Географију и којима је ова књига несумњиво корисна, на природњаке и пољопривреднике, којима су потребни извесни делови, а осим тога на оне, који се мисле научно бавити Географијом, па и на шире кругове интелектуалаца. Осим тога је оваких радова у нашој књижевности врло мало, научне литературе о овим питањима готово и немамо, па је добро имати један опширнији уџбеник,

са наводима доста великог броја старијих и најновијих научних радова о појединим питањима.

При писању сам се трудио да будем што јаснији и лаким стилом протумачим неке од тежих проблема, па се надам да сам у томе успео. Наравно да има извесних места где се то не може учинити, што је случај код појединих питања из Геофизике. На жалост морам признати, да се, покрај све пажње, поткрао велики број грешака, нарочито у Математичкој Географији, делом што сам се при коректури сувише ослањао на рукопис, делом због сувише рђаве хартије, на којој су слате коректуре, а делом што се неке исправке у ревизији нису пре штампања поправиле. С тога молим да се пре почетка читања све грешке исправе.

Регистар географских појмова, имена места и споменутих филозофа, астронома, географа или писаца појединих радова биће у целини приложен при крају друге књиге.

Београд, 31. маја 1923.

Павле Вујевић

САДРЖАЈ

стр.

Увод 1

МАТЕМАТИЧНА ГЕОГРАФИЈА 9

Оријентација на хоризонту 9

Видик и хоризонт 9

Оријентацијоне тачке на хоризонту 10

Гномон 11

Одређење правца и удаљења на хоризонту 12

Оријентација на небу 13

I. Систем хоризонта 13

Координате у систему хоризонта 14

Кретање звезда 15

Оријентацијоне тачке на небу 15

Кулминације и циркумполарне звезде 16

Одређење небесних полова 17

II. Систем екватора 18

Екватор 18

Координате у систему екватора 18

Везе између хоризонталног и екваторијалног система 19

Привидно кретање Сунца 20

Зодијак и еклиптика 22

Апсолутне координате у систему екватора 24

III. Систем еклиптике 25

Везе између екваторијалног и еклиптичног система 25

Облик и величина Земље 26

I. Земља као кугла 26

Докази за земљину округлину 28

Мерења земљине величине 30

1. Ератостенова метода 30
2. Посидонијева метода 31
3. Арапско мерење Земље 33
4. Снелиусова метода триангулације 34
5. Кеплерова метода 35

II. Земља као сфероид 36

Физички докази за сфероидан облик Земље 37

Хаигенсов закон о центрифугалној снази 38

Њутнови докази о сфероидном облику Земље 40

Начин за тачно одређење земљиног облика 42

стр.
Геодетски докази о сфероидном облику Земље 43
Касинијево мерење кроз Француску 43
Перуанска и лапландска експедиција 43
Клероов теорем о земљиној спљоштености 44
Мерење париског меридијана и постанак природних мера аа дужине . . . 45
Резултати мерења са секундном шеталицом 46
Геодетска мерења у XIX. столећу 46
III. Земља као геоид 47
Поремећаји теже 48
Појам геоида 49
IV. Земљине димензије 50
Димензије земљиног елипсоида 50
Одиос земљине величине према мерама за дужине 52
Димензије земљиие кугле 53
Утицај земљине конфигурације на општи облик Земље 53
Оријентација на земљиној површини 54
Постанак географских координата 54
Подела Земље у зоне и климате 55
Мрежа паралелних и меридијанских кругова 56
Удаљење места на сферној земљиној површини 57
Појам хоризонта (видика) на сфероидној Земљи 58
Географско одређење места на Земљи 60
Преламање аракова (рефракција) 61
I. Методе за одређење географских ширина 63
1 Метода циркумполарних звезда 64
2. Метода звезданих кулминација 64
3. Метода мерења сенке 65
4. Метода Horrebow-Talcott-a 66
5. Метода с помоћу мерења времена 67
II. Методе за одређење географских дужина 68
1. Метода с помоћу сигнала 68
2. Метода телеграфисања 68
3. Хронометарска метода 69
4. Метода месечевих помрачења 70
5. Метода сунчевих помрачења 71
6. Метода месечевих кулминација 71
7. Метода помрачења планетарних месеца 72
III. Геодетско одређење географских координата 72
Триангулација 73
Сферни ексцес 74
Фотограметрија 74
IV. Методе за одређење висина 74
Теодолит 75
1. Метода нивелмана 77
2. Метода прецизионог нивелмана 77
3. Тригонометријска метода 79
4. Барометарска метода мерења 82
5. Мерење висина с помоћу анероида 84
6. Термометарска метода мерења 85

стр.
Појмови о светском систему 86
Питагорин систем 87
Еудоксов систем 89
Хипархов систем, комбинован са Птоломејевим системом 90
Хераклидов систем 94
Коперников систем 96
Тихо Брахеов систем 98
Радови Галилеја 99
Закони планетарног кретања 99
Откриће Кеплерових закона 100
Први Кеплеров закон 100
Други „ „ 102
Трећи „ „ 103
Откриће Њутнових закона 104
Принцип универзалне гравитације 104
Физички доказ првог и другог Кеплеровог закона 106
Физички доказ трећег Кеплеровог закона 107
Проблем о три тела 109
Откриће нових планета 109
Откриће планетоида 110
Открнће Урануса 111
Откриће Нептуна 111
Интермеркуријални астероиди 112
Карактеристика планетарних путања 112
Општа карактеристика 112
Планетарно кретање према хелиоцентричном систему 114
Кретања Месеца 116
Месечеве фазе 117
Кретање Месеца по небу и светлосне појаве 118
Помрачења 119
Помрачења Месеца 120
Помрачења Сунца 122
Одређење звезданих удаљења 125
I. Методе за одређење сунчеве паралаксе 127
1. Аристархова метода 127
2. Хипархова метода 127
3. Метода планетарних пролаза 129
II. Метода за одређење месечеве паралаксе 131
La Caille-Lalande-ова метода 132
III. Методе за одређење звезданих паралакса 133
1. Одређивање годишњом паралаксом 133
2. Одређивање релативном паралаксом 134
Земљина кретања 135
Докази за земљину ротацију 135
1. Доказ с помоћу земљине теже 136
2. Доказ с помоћу земљине спљоштености 136
3. Доказ с помоћу слободног пада 137
4. Доказ с помоћу шеталице 138
5. Доказ с помоћу девијације хоризонталних кретања 140

стр.
Доказ за земљину револуцију 143
1. Доказ с помоћу годишње паралаксе код непомичних звезда 144
2. Доказ с помоћу аберације светлости 144
3. Доказ с помоћу помрачења јупитерових месеца 147
4. Доказ с помоћу падања звезда 148
Положај Земље и земљине осовине према еклиптици 149
I. Дан и ноћ 150
Трајање дана и ноћи на географским ширинама од 0° до 66°33′ 153
Трајање осветљења и мрака на географским ширинама од 66°33′ до 90° . 155
Корекције горњих резултата. — Сутон и светле ноћи 156
II. Годишња времена 158
Гравитацијони утицаји небесних тела на земљина кретања 160
I. Периодске пертурбације 160
Померање земљине осовине услед небесних тела 161
Прецесија 161
Прецесија еквинокција 163
Нутација 165
Б. Колебање земљине осовине у њеном телу 166
Промене поларних висина 166
II. Секуларне пертурбације 170
Колебање нагиба еклиптике 170
Померање апсидне линије 171
Промене у ексцентричности земљине путање 171
Везе између прецесије и померања аспидне линије 172
Време и одређивање времена 174
Звездано време 174
Сунчано време 175
Средњи сунчани дан 177
Појам године 178
1. Тропска година 179
2. Сидерична година 179
3. Лунарна или месечева година 179
4. Грађанска година 179
Појам о месецу 179
1. Сидеричан или звездани месец 179
2. Синодичан месец 180
3. Тропски или периодски месец 180
4. Драконски месец 180
5. Календарски месец 180
Календар 180
Јулијански календар 181
Грегоријански календар 181
Календарски месеци 181
Временске разлике на разним местима 182
Локално време 182
Интернацијонално и зонално време 183
Последице локалних времена 183
Датумска граница 184
Однос између меридијана и локалног времена 185

стр.
Апсолутно кретање сунчаног система и непомичних звезда 185
Положај Земље у васиони 189
ФИЗИЧКА ГЕОГРАФИЈА 195
ГЕОФИЗИКА . . . . . .
Земљина густина и маса . . . . . 1[illegible]
Земљина кора и језгро . . . . . 20[illegible]
Састав земљине коре 202
Густина земљине коре и језгра 204
Земљина густина и хемијски састав језгра 206
Притисак у земљином телу 208
Топлота у земљином телу 209
Земљин губитак топлоте 214
Агрегатно стање земљиног језгра 216
Земљина еластичност и њене последице 219
Неједнакости теже на Земљи и изостазија 220
Постанак океана 226
Постанак планина и вулкана 228
Подела копна и мора 230
Хоризонтална подела копна и мора 232
Вертикална подела копна и мора 237
Земљотреси 242
Елементи земљотресног поља 243
Ширење потреса 245
Инструменти 248
Облик сеисмичких таласа и земљотресне фазе 249
Трајање земљотреса 252
Снага земљотреса 253
Сеисмичка дејства 257
Величина и облик потресеног предела 260
Честина земљотреса 262
Одређење епицентра и хипоцентра 264
Узроци земљотреса 267
Периоде земљотреса 275
Сеисмичке области на Земљи 279
Земљина магнетичност 288
Елементи земљине магнетичности 289
Одређење магнетних елемената 289
Одређење магнетног интензитета 290
Подела магнетних елемената на Земљи 292
Правилно и неправилно земљино магнетно поље 296
Локални и регионални предели поремећаја 298
Варијације земљине магнетичности 299
Секуларна варијација 300
Дневна варијација елемената 303
Теорија дневне варијације 306
Годишња варијација елемената 310
Магнетни поремећаји 312
Сунчеви утицаји на земљину магнетичност 314
Једанаестогодишња периода 314

стр.
27-одневна периода 315
Узроци магнетних поремећаја 316
Сунчево магнетно поље 318
Хипотезе о земљиној магнетичности 320
Електрицитет у ваздуху и земљи 322
Елементи електрицитета 322
Промене потенцијалног пада 323
Теорија иона 324
Годишњи ток ваздушног електрицитета 326
Дневни ток ваздушног електрицитета 328
Земљин и ваздушни електрицитет 330
Уврок позитивног електрицитета у ваздуху 331
Узрок земљиног негативног електрицитета 332
Поларне светлости 334
Типови поларних светлости 334
Висина поларних светлости 337
Физичке особине поларних светлости 338
Географска подела поларних светлости 340
Дневна и годишња периода поларних светлости 341
Сунчев и месечев утицај на честину поларних светлости 344
Хипотезе о поларним светлостима 345

Увод.

Пре него што се уђе у посматрање географских појава, треба одговорити на питање шта је географија, где је њезино место у згради наука и какав је задатак модерне географије. О тим питањима је било разних назора: историјске и физичке географије. Борба између та два назора ни данас још није потпуно нестала. Она постоји тим више, што је поље географског рада у истини веома обилно, што је географија у тесним везама са другим гранама наука и што је она основа за известан број нових огранака науке. Требало је да прође веома дуго време док су та питања добила тачно одређење. Да би се до тога дошло, треба указати на модеран развитак науке и на еволуцију Земље, јер тек од кад је проширен хоризонат свих природних наука, нарочито у XIX. столећу, отворени су и географији сасвим нови путеви.

Нова открића физичких наука, нарочито у области електрицитета, довела су нас до новог схватања о постанку материје. Проучавање електричних феномена створило је од етера сасвим приступачну реалност за данашње физичаре. Нематеријалан етер је супстратум, основа постанка материје. Он је извор и средиште свих енергија и свих природних снага. Земљина материја се с једне стране дели у *партикуле* или *честице*, најсићушније јединке материје, с друге стране у *електроне*, најмање електричне јединке. Данас је свима познато да су најмања материјална тела молекули, да су они дељиви у једноставне атоме, да је атомски састав зрнасте природе и да је сваки атом састављен из извесног броја партукула; напослетку, да се особине електрона дају свести на енергијске изражаје околног етера.

За постанак свих физичких појава потребна су два основна услова: 1.) *маса*, — партикулум или електрон и 2.) *кретање*. Немогуће је протумачити физичке појаве без материјалне масе, органске или анорганске природе, и без икаквог кретања. Све појаве на небу и на Земљи нису ништа друго него енергетичне промене или прелази једних облика енергија у друге.

На основу овог излагања долази се до закључка да је материја хемијско-физичке природе и да су основе природних наука *Физика* и *Хемија*. Физички и хемијски агенси стварају материјалне феномене или појаве у анорганској и органској природи. Тек њиховим деловањем могу се схватити појаве на небу; из њиховог рада настају кретања и фазе звезданих еволуција.

Телескопима су још у давној прошлости посматрани облици неба и кретања звезда. Наоружано човечије око је опазило, да бескрајно далеко од оног, што се види слободним оком, има још неизмеран број сличних звезданих система. Модерни телескопи, са врло великим сочивима, дозвољавају да се открију нове звезде, т. зв. *novae,* и нови звездани системи.

У XIX. столећу је пронађен спектроскоп. Његовим открићем је добијена могућност да се у новој светлости посматрају предели неба. Спектроскопима се могу одредити фазе звезданих живота и стадији њине еволуције. Тиме је основан нов огранак науке т. зв. *Астрофизика*, која даје нове појмове и закључке о постанку и развитку звезданих система. На небу се види огроман број звезда са различитим бојама, види се велики број звезданих магли и многобројне небулозе. Спектроскопом је доказано, да су то само поједине фазе у развитку тих космичких тела.

Из овог се може закључити, да физика и хемија, базирајући на математици, стварају основе *Космографије*, која се дели у *Астрономију* и *Астрофизику*. Прва се бави положајем и кретањем звезда, друга њиховим саставом и животом.

Према еволуцијоним фазама, у којима су поједине звезде, магле и небулозе, може се добити појам и о животној фази нашег сунчаног система и о његовом развитку. Наш сунчани систем је мајушан део васионе, једно зрнце васионске материје. Он се може извући из круга космографије и посматрати као засебан звездани систем.

И живот нашег сунчаног система одржава се променама енергија. Разни степени топлотне енергије означују разне фазе његовог живота. Промене животних фаза зависе од радијације или зрачења топлоте у етерски простор, другим речима, зависе од снижавања апсолутних температура. У своме зачетку је цео наш сунчани систем био хаотична маса. У свом првобитном стању наличио је на спиралну небулозу, са мање више сјајним језгром, око кога је била нагомилана густа маглуштина усијаних гасних елемената. Та маглуштина се првобитно ширила изван крајних граница Нептунових сателита, али се издавањем своје топлоте у просторе етера почела постепено згушњавати и постепено се претварати у звезду. Под утицајем свога обртања око осовине она је почела добијати одређенији облик. Али, паралелно са издавањем топлотне енергије настаје кондензација молекила, смањивање волумена и убрзавање

ротаторног кретања. Због сталног убрзавања ротације центрифугална снага постајала је све већа, ивични делови сунчеве екваторијалне масе добијале су све изразитији спиралан облик и почеле се откидати од сунчевог тела, али су и даље задржале исти правац кретања. Те откинуте масе добиле су прстенаст облик са неједнаким густинама (в. скица 1.) Због веће масе у гушћим деловима прстена оне су имале јачу привлачну снагу на мање густе делове и почеле су их привлачити. На тај начин су створене разне револуцијоне брзине у разним деловима прстена, према различитости маса, и цео прстен се почео стапати у целину, која се образовала око највеће масе. Та целина је постала засебна звезда, једна *планета* сунчаног система.

Скица 1.

Ту хипотезу је изнео *Лаплас* при крају XVIII столећа[1]; она се и до данас одржала и ако је тој хипотези стављено више замерака. Доцнији научењаци постављали су друге хипотезе, међу осталима *Фе*[2], *Лигонде*[3], *Си*[4], али је *Анри Поенкаре* подвргао све хипотезе анализи и показао је, да је *Лапласова* хипотеза и данас највероватнија и да се све замерке, које су против ње изнесене, могу на крају крајева истом хипотезом протумачити, јер она још увек најбоље оправдава факта[5].

Бело[6] у својој теорији тумачи на сасвим другачији начин оцепљење планета од сунчевог тела, али и он стоји на истом принципу да су планете постале из првобитне небулозе. Астрофизиком се заиста може доказати, да се сви звездани системи стварају кондензацијом небулозе ма какав био првобитан узрок оцепљењу разних маса. У томе лежи највећи значај Лапласове хипотезе, јер он је први јасно прецизирао да је и наш сунчани систем постао из првобитне небулозе.

За географа је главно да зна, да је и Земља некад била део сунчевога тела. У извесном тренутку земљина маса се оцепила од Сунца али је собом понела све особине свога наслеђа. И она је имала своју ротацију, као и Сунце, и она је некад била инкандесцентна маса, у којој се, под утицајем хлађења, стварала чврста кора и образовао кугласт

[1]) *Laplace*, Exposition du système du Monde. 1791.

[2]) *Faye*, Sur l'origine des Mondes. Théories cosmogoniques des anciens et des modernes.

[3]) *du Ligondès*, Formation mécanique du système du Monde. 1897.

[4]) *See*, The Capture Theory of Cosmical Evolution. 1910.

[5]) *Henri Poincaré*, Les hypothèses cosmogoniques. 1911.

[6]) *E. Belot*, Essai de Cosmologie tourbillonnaire. Paris. 1911.

облик. Али, пошто мања тела имају у себи мање топлотне енергије, и пошто сва тела подлеже радијацији, та мања тела ће се брже хладити него већа тела. С тога је Земља данас у сасвим другој фази еволуције него Сунце, јер јој је површина тек око 12000 пута мања од сунчеве површине, док јој је маса 325000 пута мања од сунчеве масе.

Од тренутка, кад се Земља издвојила из сунчаног система као засебно тело, може се говорити о *Географији* или о *опису Земље*. То посматрање Земље, као самосталног тела у васиони, назива се *Математична Географија*. Она нам даје појам о Земљи као планети, о њеном односу према другим небесним телима, о њеним кретањима, облику и величини и о оријентацији на Земљи. Физичким особинама, које су у земљином телу, бави се засебан огранак науке, који је у последњим деценијама назван *Геофизика*.

Главан факт даљег посматрања је зрачење топлотне енергије из Земље. Процеси хлађења пружају могућност стварању нових особина код честица материје. Најочигледнији пример за то даје водена пара, која при температурама од 100° прелази у течно стање, при температури од 0°C у чврсто стање код речних и језерских вода, а још при нижим температурама код морских вода, према величини салинитета.

При постепеном хлађењу од инкандесцентног стања хемијски и физички фактори постају интензивнији. Пре него што се Земља почела згушњавати, хемијски елементи су били подељени према њиховим атомским тежинама. Најгушћи, тешки гасови били су привлачени према земљином језгру, а најлакши елементи су граничили са етерским простором. Та подела и данас у главном постоји, јер су саставни делови ваздуха највећим делом најлакши хемијски елементи: водоник (1), азот (14) и кисеоник (16).

Али се атоми гасова при врло високим температурама не могу спајати, они су стално раздружени, потпуно слободни и подлеже само земљиној тежи и центрифугалној снази. Тек при извесним нижим температурама почето је образовање земљиних сфера. Лакши елементи силицијума (28), содијума (23), магнезијума (24) и других претварали су се у силикатне шљаке, одељујући тешке гасове ужареног земљиног језгра од спољашње зоне са три лака елемента. Тиме су постале три основне сфере: *литосфера* или земљина кора, која је била још веома танка, *барисфера* или земљино језгро и *атмосфера* или ваздух, обе са врло дебелим слојевима.

При даљем губљењу топлоте почело је хемијско спајање оних елемената, за које су — при тадашњим температурама — нестали услови раздружености. Други гасови и паре почињу да се згушњавају у метале, и земљина кора постаје све дебља. У томе добу је ваздушна лопта имала исте температуре, које су одговарале счвршћавању земљине коре, али је

њен састав био друкчији него данас. У њој је било великих количина угљене киселине, коју је добијала из унутрашњости кључајуће магме и огромних количина водоника и хелијума, као што и данас имају звезде у стадијуму свога зачетка, на пр. Нептун и Уран. При даљем счвршћавању земљине коре најлакши елементи су се расули у етерски простор и данас их је мало при земљиној површини, али у високим слојевима ваздуха има око 99.5% водоника и 0.5% хелијума.

Велики део водоника у ваздуху нестао је и с тога, што се почео спајати са кисеоником и стварати водену пару. Али, у то доба су температуре биле толико високе, да се водена пара није могла кондензовати. Познато је, да прелазак водене паре у течно стање настаје у обичним приликама при температури од 100°С. Али са повећањем притиска повећава се и температура кондензације све до 374° С. Кад пређе ту температуру водена пара се не може претварати у воду, ма колико се притисак повећавао. С тога је температура од 374° С. т. зв. *критична температура воде*. То је разлог што је у негдашњом ваздуху била нагомилана сва водена пара, чија вода данас покрива океане са средњом дебљином од 3700 метара. Пошто тај слој воде одговара притиску од 370 атмосфера, морала је и водена пара у ваздуху бити под истим толиким притиском. Ваздушна лопта је у то доба била веома моћна, јер јој је притисак био 370 пута већи него што је данас.

Тек кад је ваздушна температура спала испод 374°, водена пара се почела кондензовати и јаки пљускови су падали на земљину површину. Вода се на земљиној површини сливала у ниже пределе, на свом путу је растварала мање отпорне хемијске спојеве и, под утицајем теже, нагомилала се у земљиним депресијама. Тиме су постали првобитни океани и створена је *хидросфера*. Све то се догађало у раној фази земљине еволуције, у геолошком исконском периоду.

Из досадашњег излагања се видело, да и земљине сфере имају своју еволуцију; оне се развијају, живе и мењају се. Осим тога је показано, да се Земља може расчланити у четири лопте, које једна другу обмотавају. Те четири лопте су земљине сфере. Земљина кора обмотава земљино језгро или магму. Океани би обмотавали целу земљину кору, кад не би било тектонских кретања, која су денивелирала земљину површину и приморала воде да се сливају у депресије. Ваздух обмотата целу земљину површину, копна и океане, и граничи са етерским простором.

Земљино језгро лежи под земљином кором и за људско око је невидљиво, али о његовом постојању сведоче сви тектонски процеси и опште физичке особине Земље; у њему је нагомилана сва топлотна енергија Земље и од ње зависи дужина њезиног живота. Три спољашње лопте за нас су очигледне и опипљиве. Оне граниче једна са другом, утичу једна на другу и услед тих међусобних утицаја облици

им се непрестано мењају. За њих је везана сва органска материја и цео људски живот.

Сваком од ових сфера баве се посебне науке. Те науке су *Геологија*, *Хидрологија* (или, пошто је највећи део воде нагомилан у океану, *Океанологија*) и *Метеорологија*, а задатак им је да испитају елементе, састав и кретања земљине коре, воде и ваздуха. У графичком приказу се оне показују као три круга у кругу наше Земље, који се просецају и који су, према томе, у узајамним везама (в. скица 2.) Те три основне науке посматрају сваку сферу за себе: геологија само појаве у земљиној

T = Земља
O = Астрономија
= Физика
= Хемија
I. Копно; Геологија;
II. Воде; Хидрологија:
III. Ваздух; Метеорологија
1. Геоморфологија (Физиогеографија)
2. Океанографија
3. Климатологија.

Скица 2.

кори, хидрологија појаве у води, а метеорологија појаве у ваздуху. Али указујући на то, да се једна са другом секу, уједно се указује и на то, да оне једна на другу утичу. Ти утицаји ће свакако стварати нове појаве, а проучавање тих појава је задатак *Физичке Географије*. Геолошки агенси стварају основне црте копнених облика, али ваздух и вода, својим утицајем на литосферу, стварају разноликост облика на површинама копна. С друге стране утицаји копна и вода на метеоролошке елементе стварају климатске облике појединих предела на Земљи.

Из тих међусобних утицаја развиле су се три нове гране науке: *Геоморфологија* (или *Физиогеографија*), *Океанографија* и *Климатологија*. Те три гране науке стварају *Физичку Географију*. Проучавајући међусобне утицаје, физичка географија се увек мора ослањати о Геологију, Океанологију и Метеорологију, јер су оне основе тих нових огранака науке, као што се види из приложене скице. Према томе се може потврдити *Демартонова* дефиниција, да је физичка географија „наука о физичким феноменима, којима се очитује површинска активност земљине кугле, посматрана са гледишта њихове распрострањености и њиних узајамних реакција.“ [1])

[1]) *Emm. de Martonne, Traité de géographie physique.* III. édition corrigée. — Paris 1920. — стр. 73.

У В О Д

Паралелно са развитком анорганске материје иде и развитак органске материје, која до сада није поменута. Она се јавља тек у доцнијем стадију земљиног живота, када су температуре толико спале, да је настао услов за њезин развитак. Све до тог доба су континенти и океани били пусти. Заметци живота се јављају тек при температурама од 55°C (и ако бактерије гину при вишим температурама) и према томе се мора претпоставити, да је земљина површина при крају исконске епохе имала приближне температуре, јер се у њој појављује зачетак огранских бића. У то доба је у ваздуху било више водене паре и угљене киселине него што има данас. Та два хемијска споја добро су чувала издату топлоту из земљиног језгра и с тога су се океански организми могли врло нагло развијати. Њих има већ у камбријуму, али се по фосилима види, да је тада тек половина земљине коре била покривена морем. Хидросфера је била још доста незнатна.

У карбону је органски живот већ доста развијен. У њему се јавља велики број некичмењака, нагао развитак риба и зачетак амфибија (водоземаца) и рептилија (гмизаваца), у њему има бујних шума и извесних врста биља. У тој формацији је земљина кора постала доста дебела, мора су добила облик океана, а ваздух се опростио великих количина водене паре и угљене киселине.

Основну науку, којој је задатак да испита све услове и протумачи све појаве у органској природи представља *Биологија*. Из ње се развијају огранци других наука: *Зоологија* и *Ботаника*, а у вези са геологијом развија се *Палеонтологија*.

Најпосле, у најмлађим геолошким формацијама, појављује се човек, којега треба извући из круга зоологије. Основна наука која се бави телесним саставом људских раса, племена и народа је *Антропологија*.

Али сви организми, као и човек, подлеже у свом географском распореду особеним законима, који им условљавају живот и распрострањење. Копно, вода и ваздух са својим разноликим условима у разним пределима Земље, негде потпомажу, а негде чине препреке већем распрострањењу. С тога се на неким местима шире огромне пустиње, негде степе или полупустињски услови, а другде плодне њиве и велики пошумљени предели. Ти разнолики услови међусобних утицаја трију спољашњих сфера на разним местима Земље означују на сваком од њих т. зв. *географску средину*. Под утицајем географске средине на организме, на њихов начин живота и акције стварају се феномени *примењене географије*.

Основна наука примењене географије је *Биогеографија*, која се може поделити на *Фитогеографију* и *Зоогеографију*. Пошто је човек данас центар живота на земљи и пошто његов живот стоји у тесној вези са три спољашње земљине сфере, као и са анималним и биљним

животом, јасно је да је физичка географија основан услов његове распрострањености, телесне и духовне активности, напретка и културе. Огранак географије, који испитује све горње услове са гледишта географске средине зове се *Антропогеографија* која је данас главна и најважнија дисциплина примењене географије. Она је у вези са великим бројем споредних наука: Антропологијом, Етнографијом, Социологијом, Економијом, Историјом и т. д.

Из свега досадашњег излагања се може са поузданошћу закључити: 1.) да је физичка географија основа целе примењене географије и с тога мора имати предност над историјском географијом и 2.) да *географија у најширем смислу* обухвата много више споредних наука, него која друга наука, и да сједињује скоро све појаве на Земљи.

МАТЕМАТИЧНА ГЕОГРАФИЈА.

Задатак математичне географије је да дâ појам о Земљи као планети и њеном односу према другим небесним телима, затим о њеним кретањима, облику и величини, као и о оријентацији на небу и на земљиној површини. У разлагању је боље поћи у обрнутом правцу, од елементарних појмова о оријентацији на хоризонту и на небу, па тек доцније на теже проблеме о земљиној величини, о њеним кретањима и односу према другим небесним телима.

Математична географија се ослања о астрономију, геодезију и математику, али само у толико, колико је потребно за географа. С тога се у њој не може говорити о свим астрономским и геодетским методама мерења и о свим инструментима, помоћу којих се она врше. Исто се тако не може улазити ни у вишу математику и ако је она основа астрономије и више геодезије. Међутим, земљин облик не отступа много од кугле. Разлика између кугле и ротацијоног елипсоида је толико незнатна, да се елементарна прорачунавања могу вршити и помоћу формула за куглу. И ако ти резултати неће бити сасвим тачни, они ће бити ипак јасни и потпуно истинити. Код свих астрономских и геодетских мерења често је потребно уносити доста велик број корекција, али се оне могу на једном или више примера показати, да би се видео начин детаљних посматрања и рачунских метода.

Напослетку, код математичне географије треба изнети много више историјских факата, нарочито указати на методе и резултате грчких астронома, него у другим деловима научне географије. Баш тим примитивним назорима моћи ће се јасније протумачити данашње схватање о разним појавама на Земљи.

Оријентација на хоризонту.

Видик и хоризонт. — За племена на најнижем ступњу културе је свет или Земља само она површина, која је ограничена *видиком*.

Према конфигурацији предела, у коме та племена станују, одређиван је и земљин облик. Ако стојимо на каквој пространој равници, где је видик отворен на све стране, па ако се пође погледом по небу, добиће се утисак да се небесни свод шири као пљоснато кубе. Оно је у разна времена различито сведено, при облачном времену је пљоснатије него при ведром времену, дању је доста пљоснатије него ноћу. Онај круг, где се граничи видик са небесним сводом зове се *граничан круг*, према грчком ὁ ὁρίζων κύκλος (од речи ὁρίζειν = ограничавати и κύκλος = круг). Пошто круг уједно означава и обим, као и равну површину, коју он затвара, појам *хоризонта* је код модерних народа пренесен на површину видика, који је ограничен тим кругом. Јасно је, да ће у пределима, где се дижу високе планине видик бити смањен и добити неправилан облик. Изразит округао облик видика постоји само на морским пучинама и великим копненим равницама.

Кружан појам о Земљи изнео је још *Омир* (X. до IX. век пре Хр.) у својој *Илијади*. По њему је земља кружна површина, која је са свих страна ограничена реком Океанос. Код Асираца и Вавилоњана је свет био предео између Еуфрата и Тигра или Мезопотамија, а код Египћана предео кроз који протиче Нил.

Оријентацијоне тачке на хоризонту. — Сваком предмету на видику може се одредити место према становишту посматрача. Предмет је лево, десно, испред или иза посматрача. Том предмету се може одредити само *правац*, у коме се налази, али се његов положај не може описати неком страном лицу. То се може учинити само у случају, ако се предмет доведе у везу са сталним, непромењивим правцима. Те правце дају звезде, јер увек излазе и залазе на одређеном месту видика. Најглавнија звезда за све практичне сврхе је Сунце, јер оно светли дању.

Предео сунчевог рађања је још код старих народа означавао главну страну света. Латини су га звали *oriens* и од њега је постао појам *оријентације*. Друга оријентацијона тачка на хоризонту је тачка сунчевог заласка. Код већине народа су та два правца названа именом рађања и заласка сунца; код нас се оне зову *Исток* и *Запад*.

Ако се дуже посматра место на коме се Сунце рађа или залази, видеће се, да се то место од дана до дана мења. У извесном дану пролећа Сунце ће залазити у тачки *A*. (в. ск. 3.). После неколико дана залазак Сунца ће бити померен од тачке *A* у правац тачке *B*. Сваког идућег дана оно ће се све више ближити тачки *B*, док једног летњег дана не зађе код те тачке. Идућих дана ће залазак Сунца поновâ почети да се ближи тачки *A*, и да у извесном дану јесени зађе иза те тачке. Али, у доцнијим данима, оно ће се и даље померати у истом правцу, т. ј. према тачки *C* и у одређеном дану зиме ће код ње застати.

Затим ће му се залазак сваког дана све више ближити тачки *A* и у истом дану идућег пролећа заћи ће иза тачке *A*. Од тог дана почиње исто кретање као прошле године.

Скица 3.

У тачкама *B* и *C* Сунце стаје (Sol stat) да би променуло правац кретања и с тога су те две тачке назване *солстиција*. У тачки *B* се Сунце налази у лето, када се највећма приближило северу, кад је дан најдужи и најкраћа ноћ; у тачки *C* је Сунце зими, кад је на најјужнијој тачки неба, кад је ноћ најдужа а дан најкраћи. Кад Сунце залази у тачки *A*, у пролеће и у јесен, дан је једнак ноћи. У та времена, кад се Сунце рађа на правом Истоку и залази на правом Западу, настају *равнодневице* или према латинском изразу *еквинокције*.

Из овог посматрања се види да је оријентација према Сунцу сваког дана друкчија. У правац правог Истока и Запада Сунце пада само за време равнодневица, али се ипак ова два правца могу одредити непосредним посматрањем на хоризонту.

За правац Севера и Југа то није могуће учинити. Прави Север и Југ лежи према источној *(E)* и западној тачки *(W)* видика под углом од 90°. (в. ск. 4.) Линија, која спаја те две тачке, *N* и *S*, дели видик на две једнаке половине, на источну и западну половину видика. Та линија спојница зове се *подневачка* или *меридијанска линија*. Лук између крајњих тачака сунчевог рађања E_1 E_2 зове се *размак јутра*, а лук између крајних тачака заласка W_1 W_2 је *размак вечера*. Север лежи у оном правцу у коме се Сунце рађа и залази при летњем солстицију (E_2 и W_2), а југ је у оном правцу у ком се Сунце рађа и залази за време зимског солстиција (E_1 и W_1). Да би се могао тачно одредити положај северне и јужне тачке потребан је инструменат.

Скица 4.

Гномон. — Најстарији инструменат за одређење кретања Звезда, а нарочито за мерење сенке при дневном току Сунца, је гномон[1]). Гномон је био најпре употребљен у Египту[2]). Осим тога је утврђено, да је

[1]) Од грчког γνώμων = показивач (корен је γνώναι = знати, познавати). — Детаљније мерење гномоном изнесено је у поглављу *Метода мерења сенке*.

[2]) *C. Schoy, Der Gnomon.* — Zeitschr. f. mathem. u. naturwiss. Unterricht. Leipzig 1918. — стр. 279—315.

један кинески астроном око 1100 год. пре Хр. у помоћу њега одредио географску ширину свог места посматрања. Много доцније је, за време Анаксимандера (око 610 до 515 год. пре Хр.), гномон пренесен у Грчку и од 300 год. пре Хр. гномоном су се почеле служити све грчке земље, јер је најједноставније и најпогодније средство за одређење подневачке линије, или правца С — Ј.

Гномон је вертикалан штапић, утврђен на хоризонталној дасци. Да би се крај сенке могао лакше одредити на врху штапића је мали кружан отвор, који се у сенци показује као светла тачка (в. ск. 5 а.) Када је сенка најкраћа тада Сунце кулминира и пролази кроз меридијан места, т. ј. сенка показује правац С — Ј. Пошто је за наше пределе Сунце при својој кулминацији увек на јужној страни неба, правац сенке ће означавати уједно правац Севера. Кад се зна, да се правац С — Ј мора одређивати инструментом, јасно је, зашто је стари век претпостављао правац И — З.

Скица 5.

До сазнања ових основних праваца дошло се још пре 60 столећа. О томе дају доказ египатске пирамиде, које су подигнуте као надгробни споменици Фараона око 4000. год. пре Хр. и прастари монументи у Калдеји из доцнијих векова. Према погребном обичају код Египћана, споменици су морали бити оријентирани, као што су код нас храмови. С тога су код пирамида њихове стране биле окренуте у четири главна правца, док су код калдејских монумената у тим правцима биле окренуте сеченице. Осим тога *Саргон I.* (3800. год. пре Хр.) у својој Астрологији спомиње земље Севера, Истока, Југа и Запада.

Одређење правца и удаљења на хоризонту. — За практичне потребе није довољно да се видик подели само на четири дела, нарочито при морском саобраћају. С тога су морнари почели да га деле на осам делова, који су означени ветровима из тих осам праваца. На тај начин је постала т. зв. *ружа ветрова*, која почива на непрекидном дељењу правога угла.

Романска ружа ветрова је подељена на осам главних праваца, који имају угаоне разлике од 45^0. Њихова јединка је, према томе, половина правог угла. Даљим симетричним дељењем добијају се 8 споредних и 16 полуспоредних ветрова. Према томе се правци могу одредити са сигурношћу од $11^0 15'$. Код *германских* народа је видик подељен на *потезе*. Њихов видик је подељен на 32 дела и сваки поједини потез одговара четвртини правог угла или углу од $11^0 15'$.

Приморци и острвљани Јадранског Мора узимају за оријентацију романску ружу ветрова са модифицираним италијанским називима. Код њих је С = трмунтана (tramontana); СИ = грего (greco); И = леванат

(levante); ЈИ = шилок (scirocco); Ј = оштро (ostro); ЈЗ = лебић (libeccio); З = пуненат (ponente); СЗ = маистро (maestro),

Ипак, за тачнија мерења није ни то довољно, с тога је још од XI. века уведена у употребу *бусола*, т. ј. веза покретне магнетне игле са непокретном кружном поделом на степене. На врху магнетне игле се постави мали визир и тада се правац може доста тачно одмерити. Магнетна игла на северној полукугли показује у главном правац Севера а њено одступање од меридијанске линије означује правац предмета који се посматра. Угао између покретне магнетне игле OO_1 и непокретне меридијанске линије $N-S$ зове се *азимут*, $\sphericalangle O_1ON = \alpha$ [1]) (в. ск. 6.). Астрономи почињу бројање азимута од јужне тачке, као и код свих других мерења, а геодети полазе од северне тачке. Географи не рачунају са азимутом, него са углом између два главна правца. Тако на пр. И 37⁰ Ј. значи да је правац за 37⁰ померен од Истока ка Југу или С 72⁰ З, да је правац померен за 72⁰ од Севера ка Западу.

Скица 6.

Да би се положај опажаног предмета потпуно одредио, потребно је да се осим правца зна и удаљење тога предмета од места посматрања. *Прâво удаљење* је други основан задатак географа, који је тежи од одређења азимута. Јер док је за одређење азимута довољно само једно мерење, код мерења удаљења је потребно, да се мерило непрестано преноси по правцу линије, док се не измери цела дужина. Али тим начином се могу мерити само удаљења до 5 км.; код дужих пруга се јављају грешке услед земљине кривине.

Оријентација на небу.

I. Систем хоризонта.

Небесни свод се изнад наших глава шири као спљоштено кубе, о које су учвршћене непомичне звезде. Али је *Гаусовим* и *Зоттовим* експериментима доказано, да је узрок спљоштености физиолошке природе и да је спљоштеност небесног свода последица ваздушне перспективе. О своду се може говорити само с погледом на видик, а кадгод се говори о звезданом небу и о положају звезда, увек се мора поћи од претпоставке, да је посматрање вршено у земљином средишту. Кад бисмо могли бити у тој тачки небесни свод би, при додиру са видиком, показивао потпуну полукуглу. У том случају се уместо небесног свода

[1]) *Азимут* у арапском значи *предео неба*. Код оријентације на небу се, у координатном систему хоризонта, ордината зове азимут (и. стр. 14—15) и тај појам је с неба пренесен на Земљу.

добија *небесна кугла*, а круг правог хоризонта ју дели на *видљиву* и *невидљиву половину*.[1])

На видљивој небесној полукугли, изнад правог хоризонта, има небројено много *непомичних звезда*, које пружају средства за оријентацију. Оне су назване непомичним с тога, што су им међусобна удаљења увек иста. Али у овом случају је потребно да се положај хоризонта јасније прецизира. Дефиниција хоризонта се може поставити овако: хоризонт је она раван, која лежи нормално на правцу теже на месту посматрања.

Координате у систему хоризонта. — Основна координата у систему хоризонта је *круг хоризонта*, т. ј. онај круг на ком се додирује видик са небесним сводом. Али кругом хоризонта положај звезде није довољно утврђен, јер се њим може одредити само висина звезде. Да би се положај звезде могао потпуно одредити потребно је имати још једну координату, на коју би се одређење свело.

Пошто је посматрач увек у средини хоризонта најприродније ће бити да се друга координата повуче усправно на раван хоризонта, т. ј. према посматрачевом темену до небесне кугле. Та додирна тачка на небесној кугли је *зенит*[2]), а супротна тачка на небесној кугли, повучена од подножја на ниже, до свода невидљиве полукугле, зове се *надир*[3]).

У графичком приказу је хоризонталан круг *NESWN* (ск. 7.) ознака хоризонта, Z означује зенит, а Z_1 надир. Сваки највећи круг на небесној кугли, који пролази кроз зенит и кроз надир, зове се *вертикалан круг*. Половина таквог круга означена је у скици са $Z\,L\,L_1\,Z_1$. Код вертикалних кругова се могу издвојити два главна вертикална круга, који се секу под правим угловима. Један од њих се зове *меридијански круг* (према латинском *circulus meridianus*) или *меридијан*, који пролази кроз северну и јужну тачку (круг $Z\,N\,Z_1\,S\,Z$), а други је назван *прва вертикала* који пролази кроз источну и западну тачку. Половина прве вертикале је лук $Z\,E\,Z_1$.

Скица 7.

Положај звезде L је, према томе, одређен *висином звезде* и *азимутом*. Лук вертикалног круга од звезде L до хоризонта L_1, или угао $LOL_1 = h$, означава висину звезде, а лук на хоризонту од северне тачке

[1]) Појам правог хоризонта је објашњен у поглављу *Појам хоризонта (видика) на сфероидној Земљи.*

[2]) *Зенит* је скраћено арапско *samt—ur—ras* и *samt—er—ras* у *samt* и *semt* и значи пут у правцу главе; *samt* = правац пута; *ras* = глава.

[3]) Од арапског *nadir* и перзијанског *nazir (nazara)* = одговарати нечем.

N до пројекције звезде на хоризонт L_1, или угао између меридијанског и вертикалног круга звезде — дакле $\sphericalangle NZL = \sphericalangle NOL_1 = \alpha$ — означава њен геодетски азимут. *Зенитално одстојање звезде* ZL је комплементаран угао висини звезде LL_1 и према томе је $ZL = (90^0 - h)$.

Азимутом и висином се утврђује положај звезде у систему хоризонталних координата. У њему је апсциса азимут, а ордината висина. Видљива полукугла, у чијем темену је зенит, има позитивне (+) вредности, а невидљива полукугла је означена негативним (—) вредностима. Не треба сместити с ума да се при сваком кретању посматрача креће и зенит и круг хоризонта.

Зенитално удаљење и азимут су поларне координате звезде, с погледом на хоризонт.

Кретање звезда. — Ако се звезде при ведрим ноћима посматрају изгледаће да се споро крећу од Истока на Запад. Неке од њих се крећу по вишим деловима неба, неке по нижим деловима, једне залазе за хоризонт, а друге су стално изнад хоризонта. Ако се узме у посматрање једна, одређена звезда, и ако се посматра неколико ноћи, видеће се, да увек излази на истој тачки видика, као што увек и залази иза исте тачке видика. По своме изласку она се до извесне висине постепено диже по небу, а затим се почиње спуштати док не зађе за хоризонт. Ако јој се кретање посматра неколико часова, показаће се да по небу описује кружну путању. Тачке, где се она сече са видиком, означују места њеног изласка и заласка.

Кад се истовремено посматрају неколико разних звезда, на разним висинама неба, утврдиће се исто. Све оне се крећу у кружним линијама и удаљена су им при њиховом изласку једнака удаљењима при заласку. Према томе се може закључити да су им кретања паралелна. Услед тих паралелних и непромењљивих кретања, сва оријентација на небесној кугли се ослања о ово привидно кретање небесних тела.

Оријентацијоне тачке на небу. — Пошто се звезде крећу непромењљивим међусобним удаљењима, у паралелним путањама, јасно је да ће неке од њих описивати краће, а неке дуже путање. Звезде, које се крећу по највећем кругу небесне кугле, имају најдужу путању и морају сећи круг пра́вог хоризонта у две тачке, које су једна од друге удаљене за 180^0. Спојном линијом тих двеју тачака круг хоризонта је преполовљен на два једнака дела. Та звезда излази на пра́вом *Истоку* а залази на пра́вом *Западу*.

Ако се баци поглед на звезде, које су стално изнад хоризонта, показаће се да се њихови кругови према извесној тачки све више смањују и да им је кретање све успореније. Ако се код једне звезде, која описује најмањи круг, одмери највиши и најнижи положај на небу, у односу према хоризонту, средина између те две тачке ће означавати место где нема

никаквог кретања. То место без кретања је *небесни пол* или *стожер*. На небесној кугли постоје два пола на удаљењу од 180⁰ и претстављају крајње тачке *небесне осовине*. На полукугли коју ми видимо лежи *северни пол* P, (ск. 8.) а на другој полукугли је *јужни пол* P_1 [1]).

Тачка N на хоризонту (в. ск. 7.), у коју је пројициран северан пол, означује правац *Севера*. Тачка на противној страни хоризонта S (180⁰ далеко од северне тачке) лежи у правцу *Југа*.

Ове четири тачке су основне тачке оријентације на небу и удаљене су једна од друге за 90⁰.

Кулминације и циркумполарне звезде. — Круг, који пролази кроз оба небесна пола и кроз зенит, дакле кроз меридијан места, дели небо на две једнаке половине, на источну и западну половину. На томе кругу звезде имају своје кулминације. Пошто свака звезда у току једног дана пролази двапут кроз меридијан има и две кулминације. *Горња кулминација* звезде означава тачку у којој је највише изнад хоризонта места. *Доња кулминација* звезде је на противној страни неба, 180⁰ далеко од горње кулминације. У скици 8. је HH_1 хоризонт, Z је зенит, а Z_1 надир, PP_1 су небесни полови, а AA_1 земљин екватор. Горње кулминације су према томе, на луку HZP, а доње кулминације на луку $P_1H_1Z_1$.

Скица 8.

Код неких звезда, које су у близини пола, и којима је толико мала путања да не залазе испод хоризонта, виде се обе кулминације. Те звезде се зову *циркумполарне звезде*.

Ако је посматрач на 45⁰ сев. шир. ($\sphericalangle AOZ = \sphericalangle POH_1 = 45^0$; ск. 8), тада ће све звезде, које су од небесног пола удаљене за 45⁰, имати и горњу и доњу кулминацију изнад хоризонта. Оне су циркумполарне звезде и одговарају луку ZPH_1. Звезде од 45⁰ сев. шир. до 45⁰ јуж. шир. имаће изнад хоризонта само горње кулминације на луку HZ, а доње кулминације ће им бити испод хоризонта, на другој полукугли неба, на луку H_1Z_1. Звезде од јужног пола до 45⁰ јуж. шир. кретаће се стално испод хоризонта, на луку HP_1Z_1, и те звезде су за посматрача на 45⁰ сев. шир. за увек невидљиве.

Ако је посматрач на 60⁰ сев. шир. циркумполарне звезде ће бити оне, које су од небесног пола удаљене до 60⁰. (Ск. 9, с.) Звезде од јужног пола до 30⁰ јуж. шир. неће се никад ни појављивати, а код

---

[1]) Првобитно је реч πόλος (од πέλειν = кретати се, обртати се) означавала *обртање*, дакле појам о целом кретању небесне кугле, а тек доцније је ова ознака пренесена на крајње тачке небесне осовине.

осталих звезда, између 30⁰ сев. шир. и 30⁰ јуж. шир., видеће се само горње кулминације. За посматрача на полу ће све звезде северне полукугле неба имати и горње и доње кулминације изнад хоризонта, јер је $Z = P$ а небесни екватор и прáви хоризонт посматрача падају у исту раван; али, он никад неће видети ни једну звезду јужног неба (ск. 9, а.). Једино посматрач на земљином екватору има могућност да види све горње кулминације свих звезда на небу, али неће видети ниједну циркумпо-

Скица 9.

ларну звезду. Узрок томе је, што зенит пада у небесни екватор ($Z = A$) а небесна осовина у раван правог хоризонта (ск. 9, b.).

Одређење небесних полова. — Небесне полове није могуће одредити непосредно, јер нису означени видљивим звездама, али се може поступити на посредан начин. Напред је изнесено, да се код циркумполарних звезда виде обе кулминације и да ће средина између та два положаја означавати пол, што се јасно види из скице 8.

Ипак је положај северног пола доста лако одредити, јер се на северној полукугли неба налази једна звезда у његовој близини, у сазвежђу Малог Медведа (α Urs. min.). Полупречник њезине путање по небу око правог пола износио је 1900 год. 1⁰ 13′ 33″, с тога је она најпогодније средство за оријентацију и с тога је названа *поларна звезда*. Положај правог пола може се одредити овако (в. ск. 10.): Пође се за четвороструко удаљење од задњих ногу Великог Медведа (Urs. mai.) на више и најсјајнија звезда у тој околини је поларна звезда. Да ли је пол лево или десно од ње одређује се звездом ζ Urs. mai. Кад се та звезда прáвом линијом споји са поларном звездом (α Urs. min), прáви пол ће лежати за 1⁰ 13′ 33″ ближе Великом Мéдведу.

Скица 10.

Висина пола је на разним местима различита. Она означава угаоно удаљење пола од круга хоризонта и за увек је означена вредношћу φ,

јер ће се доцније видети да висина пола (изнад посматрачевог хоризонта) одговара његовој географској ширини места φ. С помоћу висине пола може се дати тачна дефиниција циркумполарних звезда, невидљивих звезда и звезда са горњом кулминацијом:

Све звезде код којих је угаоно удаљење од северног пола мање него φ^0 биће северне циркумполарне звезде; све звезде код којих је угаоно удаљење од северног пола веће него $180^0 - \varphi^0$ биће јужне циркумполарне звезде; а све остале звезде показују горњу кулминацију, оне излазе и залазе на хоризонту посматрача.

II. Систем екватора.

Екватор. — Из скице 8. и 9, с. се види, да круг хоризонта сече све путање нециркумполарних звезда у *видљив лук*, који је изнад хоризонта и *невидљив лук*, који је испод њега, али на неједнаке делове. Само оне звезде, код којих је угаоно удаљење од пола 90^0, описују по небу највећи круг, који дели небо на две једнаке полукугле: на *северну* и *јужну полукуглу неба* и полови круг хоризонта на два једнака дела. То је основан круг небесне кугле и зове се *небесни полутар* или *екватор*, AA_1. (ск. 11.). Угао, под којим је екватор нагнут према хоризонту зове се *висина екватора*, $\sphericalangle AOS = \sphericalangle AES = \beta$. Она допуњује висину пола φ до 90^0; према томе је $\beta = 90^0 - \varphi$. Може се и овако рећи: висина екватора је комплементаран угао поларној висини и обратно, поларна висина је комплементаран угао висини екватора.

Скица 11.

Координате у систему екватора. — Још грчки астрономи су почели да, поред хоризонта, уводе и *екваторијалан круг*, као основну раван за нов координатан систем. Тај систем је систем екватора. Односи у кретању непомичних звезда су у томе систему много једноставнији него у систему хоризонта, јер се у њему све звезде на небу крећу паралелно са небесним екватором.

Друга координата у том систему су *деклинацијони кругови*. То су највећи кругови, који пролазе кроз небесне полове и код којих је небесна осовина заједнички пречник. Половину деклинацијоног круга означава линија PLL_2P_1 (ск. 11.). На деклинацијоним круговима се мери лучно одстојање звезде од екватора или *деклинација* $LL_2 = \delta$. Деклинацији у систему екватора одговара висина звезде у систему хоризонта. Комплементаран угао деклинацији је *поларно одстојање звезде* или *поларна*

дистанција, т. ј. лук $PL = (90^0 - \delta)$. Све звезде које имају исто поларно одстојање леже на истом небесном паралелном кругу.

Исти појам који азимут има у систему хоризонта, има *деклинацијони угао* у систему екватора, али одређење тога угла одговара астрономском мерењу и с тога почиње од Југа, преко Запада и Севера на Исток. *Деклинацијони угао* је угао између деклинацијског круга звезде и посматрачевог меридијана, дакле $\sphericalangle APL = \sphericalangle AOL_2 = t$. (ск. 11.).

Пошто се звезде по својим паралелима крећу непромењљивом брзином, и пошто једанпут у току дана окруже цело небо, може се кретање звезда употребити за деобу времена. Однос између углова и времена је $360^0 : 24^h$. С тога се деклинацијони кругови називају и *часовни кругови*, а деклинацијони угао и *часован угао*.

Часовним углом и деклинацијом се утврђује положај звезда у систему екваторијалних координата. У њему је апсциса деклинацијони угао или часовни угао (ако се пође од меридијана посматрачевог места), а ордината је деклинација. Полукугла, у чијем темену је северни пол има позитивне вредности, а полукугла са јужним полом има негативне вредности.

Поларна дистанција и часован угао су поларне координате звезде с погледом на екватор.

Везе између хоризонталног и екваторијалног система.

Везе, које постоје између два горња система, добијају се из т. зв. *астрономског троугла* у коме се секу координате хоризонталног и екваторијалног система. Астрономски троугао *ZPL* (скица 12.) има велики практичан значај, јер се њиме прерачунавају координате једног система у други систем. Угао на зениту *Z* је азимут α, угао на полу *P* је часован угао *t*, а непознат је једино угао код звезде *L*. Позната је осим тога и дужина лука *ZP*, који означава зенитално одстојање пола $= (90^0 - \varphi)$, затим дужина лука *ZL*, који је зенитално одстојање звезде $= (90^0 - h)$ и напослетку дужина лука *LP*, којим је означено поларно одстојање звезде $= (90^0 - \delta)$.

Скица 12.

Везе између часовног угла и троуглових страна могу се добити из косинуског правила, по коме је:

$$\cos ZL = \cos ZP . \cos LP + \sin ZP . \sin LP . \cos t, \text{ или}$$

$$\cos (90 - h) = \cos (90 - \varphi) . \cos (90 - \delta) + \sin (90 - \varphi) . \sin (90 - \delta) . \cos t$$

Пошто је косинус комплементарног угла једнак синусу угла и обрнуто, добија се нова формула

$$(1.) \quad \sin h = \sin \varphi . \sin \delta + \cos \varphi . \cos \delta . \cos t$$

Из те формуле се може прорачунати вредност часовног угла, јер је:

$$(2.)\quad \cos t = \frac{\sin h - \sin \varphi . \sin \delta}{\cos \varphi . \cos \delta}$$

С помоћу ове формуле могу се одредити часовни углови за излазак, залазак и кулминацију звезда са деклинацијом δ, као и дужина дана, ако се вредност помножи са 2. При изласку и заласку звезде је $h = 0$, дакле је и $\sin h = 0$ и тада се добије формула

$$(3.)\quad \cos t = -\frac{\sin \varphi . \sin \delta}{\cos \varphi . \cos \delta} = -\operatorname{tang} \varphi . \operatorname{tang} \delta$$

Формулом (3.) је одређено и време за које се звезда налази изнад хоризонта. Код Сунца то одговара дужини његовог сијања или дана, у односу према ноћи. Ако се трајање тога времена означи са τ^h, добија се једноставна пропорција

$$(4.)\quad \tau^h : 24^h = 2t : 360^0$$

Према томе је:

$$(5.)\quad \tau = \frac{24}{360}\, 2t^h = \frac{1}{15}\, 2t^h$$

а по истој формули (4.) је:

$$(6.)\quad 2t = \frac{360}{24}\, \tau^0 = 15\, \tau^0$$

Тиме је добијен однос између углова и времена, као што је већ раније изнесено.

Напослетку се, помоћу формуле (3.), може прорачунати и географска ширина, јер је

$$(7.)\quad \operatorname{tang} \varphi = -\frac{\cos t}{\operatorname{tang} \delta} = -\cos t . \operatorname{cotang} \delta$$

Привидно кретање Сунца.

У супротности са правилним кретањем непомичних звезда, које с дана на дан излазе и залазе на истој тачци хоризонта, има известан број звезда које одступају од правилног кретања. У њих спадају Сунце, Месец, планете, планетоиди и неке друге. Од свих ових звезда најглавнија је Сунце због капиталног значаја за Земљу, јер од његовог привидног кретања зависи неправилна подела дана и ноћи, постанак годишњих времена и климатских услова.

Већ код оријентације на хоризонту је показано, да Сунце у току године мења место свог рађања и заласка. То исто ће се показати и ако се кретање Сунца прати по небесној кугли. Ако се посматрање почне 21. децембра, када је дан најкраћи, видеће се, да се Сунце тога

дана рађа најјужније од источне тачке, код S и да је најјужније од западне тачке на своме заходу, код S_3 (ск. 13). Исто се тако види да му је горња кулминација изнад хоризонта S_2 најмања, јер одговара луку S_2H или $\sphericalangle S_2OH$. У географској ширини Београда (44°48′ сев. шир.) Сунце ће тога датума бити свега $8^h 40^m$ изнад хоризонта, дан дакле траје свега $8^h 40^m$. На небесној кугли ће се утврдити да је Сунце тога дана најјужније од небесног екватора и да по небу описује круг $S_1S_2S_3S_4S_1$. Лук $S_3S_4S_1$ означава сунчеву путању испод хоризонта, а лук $S_1S_2S_3$ његов дневни лук или трајање сјаја.

Скица 13.

После десетак дана Сунце ће се при рађању и заходу помаћи ближе правом Истоку, осим тога ће се раније рађати и доцније залазити, другим речима, описиваће већи круг по небу и ближиће се небесном екватору. 21. марта ће сунчева путања падати у правац небесног екватора и према томе ће једна половина његове путање бити изнад хоризонта $S_5S_6S_7$, а друга половина $S_7S_8S_5$ испод хоризонта. Тог датума ће дан и ноћ бити једнаки, сваки по 12 часова и тада је пролетња равнодневица. Горња кулминација је у том дану знатно већа јер одговара луку S_6H или $\sphericalangle S_6OH$.

Од 21. марта Сунце почне да се креће по северној полукугли неба. Рађање му бива све раније, заход све доцније, а горња кулминација све виша, док се 21. јуна не задржи на најсевернијој тачци. Дан је тада најдужи $S_9S_{10}S_{11}$, а ноћ је најкраћа $S_{11}S_{12}S_9$. У Београду је тога дана Сунце око $15^h 20^m$ изнад хоризонта, а $8^h 40^m$ испод хоризонта. Кулминација је тада највиша јер одговара луку $S_{10}H$, односно углу $\sphericalangle S_{10}OH$. Изгледа, да се Сунце на најсеверније кругу задржи неколико дана, али оно се тада већ постепено креће према небесном екватору и појаве се догађају у обрнутом правцу. 23. септембра настаје јесења равнодневица, Сунце се рађа на тачци S_5, кулминира на тачци S_6, а залази у тачци S_7. После три месеца, 21. децембра, Сунце понова кружи по свом најјужнијем кругу и понова се јави најкраћи дан са најдужом ноћи.

Из тог компликованог сунчевог кретања може се извући закључак, да оно, поред свакидашњег рађања и захода, има и самостално кретање, које је на небу ограничено доста широким појасом, т. ј. екстремним круговима његових дневних путања. Већ раније је речено да се кружење Сунца на та два круга зове летњи и зимски солстицијум. Према томе су ти кругови названи *повратници*, јер се Сунце од њих

почиње враћати ка небесном екватору. Први их спомиње *Омир* у својој Одисеји, где износи да острво Сирија, у Кикладским Острвима, лежи северно од „τροπαὶ ἠελίοιο“, т. ј. од повратника Сунца [1]).

Ако се од дана до дана посматра кретање Сунца, доћи се се лако до закључка, да се оно креће по благо увојитој линији и да се стално помера од једног до другог крајњег круга (в. ск. 14.) Ти гранични кругови привидне сунчеве путање леже на одстојању од 23°27′ северно и јужно од небесног екватора. Према томе лук крајњих тачака сунчеве путање по небу одговара угаоном удаљењу од 46°54′.

Скица 14.

Још у Старом Веку се код грчких астронома знало, да се у сунчевом кретању комбинује дневно и годишње кретање. Дневно кретање је лако опазити јер се свакодневно види, али је много теже из дневног кретања Сунца издвојити годишње кретање и утврдити његов облик. Међутим, то се може учинити, ако се узме у помоћ која непомична звезда. Познато је да на меридијану посматрача Сунце кулминира у подне. Помоћна непомична звезда у том тренутку треба да има своју доњу кулминацију (или, нешто јасније, она треба у поноћ да има горњу кулминацију у посматрачевом меридијану). Ако се, дакле, у подне утврди положај Сунца на небу, на пр. његова висина изнад хоризонта, а у поноћ ако се одреди која звезда се налази на истом месту небесне кугле, где је кулминирало Сунце, знаће се на коме месту неба се Сунце тог дана налазило. Ако се идуће посматрање врши после извесног времена, на пр. после две недеље, моћи ће се на небу утврдити да Сунце и прва непомична звезда не кулминирају више на истом месту, него да је на сунчевом месту кулминирала друга непомична звезда. Због неправилног кретања Сунца ће се показати, да у сваком идућем месецу друга једна звезда има истовремену кулминацију на месту сунчевог положаја. Ако се све те звезде повежу линијом, добиће се тачан појам о сунчевој путањи, којом се самостално креће. Видеће се да је путања правилна и да одговара највећем кругу, који је према небесном екватору нагнут под углом од 23°27′.

Зодијак и еклиптика. — Сазвежђа кроз која Сунце пролази у свом самосталном кретању названа су од старих Грка ζωδιακὸς κύκλος, јер су она већином имала имена животиња. Њима је сунчева путања

[1]) На тај начин је постао појам *тропа*, који је дат граничним паралелним круговима сунчевог кретања по небу, а према њему је и цео појас између тих кругова назван *тропском зоном* или *тропским појасом*.

подељена на дванаест једнаких делова и сваки од њих је добио име према оном сазвежђу, које је у близини тачака које их деле. Крајњи положаји тих сазвежђа одговарају појасу, који је широк 16° и данас се назива *зодијак* или *животињски круг*.

Ради лакшег памћења сазвежђа она су стављена у дистихон, који је први пут споменут 1488 год. Он гласи овако:

„Sunt aries, taurus, gemini, cancer, leo, virgo,
„Libraque, scorpius, arcitenens, caper, amphora, pisces."

Њихови знаци имају ове ознаке: Ован ♈, бик ♉, близанци ♊, рак ♋, лав ♌, девојка ♍, теразије ♎, скорпија ♏, стрелац ♐, јарац ♑, водолија ♒, рибе ♓.

Изгледа да су за зодијак знали већ Калдејци, јер се код њих спомињу неколико сазвежђа из зодијака, као на пр. бик (гуд-анна), лав (ур-а) и скорпија (гир-таб). Можда су ова сазвежђа имала и алузију на топлоту годишњих времена, јер је отприлике пре 50 столећа пролетња равнодневица падала у сазвежђе бика, а бик је био симбол Мардука, т. ј. пролетњег Сунца. Ипак је цела подела зодијака без сумње постала код Грка.

У оно доба када је зодијак подељен на једнаке делове најсевернија тачка сунчеве путање падала је у сазвежђе рака (в. ск. 13. S_{12} и ск. 14. ♋) а најјужнија у сазвежђе јарца (ск. 13. S_2 и ск. 14. ♑); с тога се северан повратник зове *повратник рака* (ск. 13. S_9 S_{10} S_{11} S_{12} S_9), а јужан *повратник јарца* (S_1 S_2 S_3 S_4 S_1).

Доцнији грчки граматичари су назвали сунчеву годишњу путању *еклиптиком*, али узрок том називу није довољно јасан. Можда је разлог у томе, што се помрачења Сунца и Месеца јављају у близини чворова, у којима се сече земљина и месечева путања, у односу према Сунцу. Грци су помрачење звали ἔκλειψις т. ј. изостанак светлости, а пошто се помрачења јављају у близини чворова названа је и цела сунчева годишња путања еклиптиком (ἐκλειπτικὸς κύκλος). *Еклиптиком* се означава круг, који пролази кроз средину зодијачког појаса. Круг еклиптике и небесни екватор пресецају се у две супротне тачке, на удаљену од 180°. Прва од тих тачака је *пролетња тачка* (ск. 13., S_5), у сазвежђу овна, а друга је *јесења тачка* (S_7), у сазвежђу теразија. Кад се Сунце на својој самосталној путањи налази у те две тачке настају равнодневице. Од пролетње до јесење тачке Сунце се креће по северној полукугли неба, а од јесење до пролетње тачке по јужној полукугли. Апсолутну путању Сунца у ск. 13. означује круг S_2 S_5 S_{12} S_7 S_2, а њен пресек је изнесен у скици 14. (♑ — ♋). Нормала, повучена од средишта еклиптике на небо пада у *пол еклиптике* P_E (ск. 14.), који лежи са небесним полом под углом од 23°27′.

Апсолутне координате у систему екватора. — За апсолутна одређивања звезданих положаја на небу постоји само екватор, који је почетак за мерење деклинација. Али за утврђивање звезданих положаја у правцу Истока и Запада нема почетног меридијана. Часован угао је апсциса само за релативна мерења, јер вреди искључиво за меридијан места са кога се чине посматрања. С тога се још код старих Грка указивало на потребу, да се на небесној кугли одреди почетан меридијан, на који би се могла свести сва мерења на апсциси, и који би, према томе, добио апсолутан значај. *Хипарх* је први показао, да се та могућност налази у чворовима, где се небесни екватор пресеца са еклиптиком. Он је за своја мерења изабрао *пролетњу тачку*, која је још и данас *почетна тачка за апсолутна дужинска мерења на небу*. Сваким екваторијалним луком од пролетње тачке, до тачке где се деклинацијони круг посматрачевог места пресеца са екватором, може се одредити положај звезде према Западу или Истоку независно од сваког хоризонта.

Апсолутне координате у систему екватора показује скица 15. Линија PP_1 означава небесну осовину, круг AFA_1HA је небесни екватор, а круг ♎ F ♋ H ♎ је круг еклиптике. Кругови PAP_1A_1P, PFP_1P и PLL_2P_1P означују небесне меридијане. Два од њих су нарочито истакнута: Први је меридијан који пролази кроз источну и јесењу тачку PFP_1P. У сунчевом дану су тада еквинокције и с тога је назван *еквинокцијалан круг*. Други основан меридијан га сече под правим углом и зове се *солстицијалан круг*, јер пролази кроз тачке сунчевих солстиција (PA ♎ P_1A_1 ♋ P). Сваки екваторијалан лук, који се мери од пролетње тачке, зове се *ректасцензија* (усправно пењање). Она се мери у обрнутом правцу сказаљке, од F преко A_1, H, A до F и астрономи ју увек означавају у времену, према односу $15^0 = 1^h$. У скици је $\measuredangle FOL_2 = \measuredangle FPL_2 = \gamma$, т. ј. ректасцензија.

Скица 15.

Све звезде једнаких ректасцензија леже на истом небесном меридијану и кулминирају у исто време. Веза између ректасцензије и часовног угла види се јасно из скице. Ордината је и у апсолутном систему *деклинација*, дакле лук LL_2 или $\measuredangle LOL_2 = \delta$.

Увођењем ректасцензије систем екватора добија другу формулу. У њој је часован угао замењен ректасцензијом, апсциса је истина остала

иста, али је добила други значај. Према томе се може рећи, да је у систему апсолутних екваторијалних координата апсциса ректасцензија, а ордината деклинација.

III. Систем еклиптике.

Поред оријентацијоног система хоризонта и екватора, Грци су почели да узимају и раван еклиптике за основу трећег оријентацијоног система. Тај систем је изнесен у скици 16. У њој је линија PP_1 небесна осовина, а $ПП_1$ осовина еклиптике. Вертикални кругови се провлаче од једног до другог пола еклиптике и стоје нормално на равни еклиптике. Два главна вертикална круга секу се под угловима од 90^0. Један пролази кроз солстицијалне тачке, а други кроз еквинокцијалне тачке. Овај други круг је почетак за мерења на еклиптици. Лук вертикалног круга од звезде L до њене пројекције на еклиптику L_3, или $\sphericalangle LOL_3 = \beta$, зове се *астрономска ширина звезде*. Лук од пролетње тачке F до пројекције звезде на еклиптику L_3 зове се *астрономска дужина звезде*, која одговара углу $FOL_3 = \lambda$ [1].

Скица 16.

Астрономском ширином и дужином утврђује се положај звезде у систему еклиптичких координата. У њему је апсциса астрономска дужина, а ордината астрономска ширина звезде. Полукугла, у чијем темену је северни пол еклиптике има позитивне вредности, а јужна полукугла има негативне вредности.

Звездана дистанција од пола еклиптике и астрономска дужина су поларне координате звезде с погледом на еклиптику.

Везе између екваторијалног и еклиптичног система.

И код ова два система се добијају међусобне везе из астрономског троугла $ПLP$, у ком се секу координате екваторијалног и еклиптичног система (скица 17). Ознака слова је иста као у скици 15. и 16. Према томе је лук $PL = (90^0 - \delta)$, лук $ПL = (90^0 - \beta)$, даље је $\sphericalangle ПPL = (90^0 + \gamma)$, а $\sphericalangle PПL = (90^0 - \lambda)$.

Скица 17.

[1]) Астрономска ширина и дужина не смеју се мешати са појмом географских ширина и дужина, јер оне почивају на два равна координатна система.

С помоћу косинуског правила могу се координате једног система прерачунавати у координате другог система и обратно, а две главне формуле су ово:

Прва формула је

$$\cos \Pi L = \cos \Pi P . \cos PL - \sin \Pi P . \sin PL . \cos \sphericalangle \Pi PL .$$

Кад се унесу горње познате вредности и одреди величина ΠP, та формула добије нов облик. Из ск. 17. се види, да је $\Pi L_3 \perp EE_1$, а $PL_3 \perp AA_1$. Пошто је $\sphericalangle AFE = \sphericalangle E_1FA_1 = \varepsilon$, јасно је, да је и $\sphericalangle \Pi LP = \sphericalangle L_2LL_3 = \varepsilon$. Вредност ε, дакле, одговара луку ΠP и према томе је нова формула:

$$\cos (90^0 - \beta) = \cos \varepsilon . \cos (90^0 - \delta) - \sin \varepsilon . \sin (90^0 - \delta) . \cos (90^0 + \gamma)$$

и даље, променом косинуса у синусе и обратно:

$$(1.) \quad \sin \beta = \cos \varepsilon . \sin \delta - \sin \varepsilon . \cos \delta . \sin \gamma$$

Друга формула има овај облик:

$$\cos PL = \cos \Pi P . \cos \Pi L + \sin \Pi P . \sin \Pi L . \cos \sphericalangle P \Pi L$$

или $$\cos (90^0 - \delta) = \cos \varepsilon . \cos (90^0 - \beta) + \sin \varepsilon . \sin (90^0 - \beta) . \cos (90^0 - \lambda)$$

и даље, међусобном променом синуса и косинуса:

$$(2.) \quad \sin \delta = \cos \varepsilon . \sin \beta + \sin \varepsilon . \cos \beta . \sin \lambda$$

Облик и величина Земље.

I. Земља као кугла.

На страни 10. су изнесени први назори о земљином облику. Они су могли да настану с тога, што је људски хоризонт у то доба био веома ограничен. Људство се кретало само у својој ближој околини и многима је био познат тек предео видика.

У досадашњем разлагању је увек претпостављано да се посматрач налази на истом месту, с тога се и могао одржавати увек исти, највероватнији назор о локалном облику видљивог дела земље. Тек у случају да се посматрач креће по земљиној површини, он би могао доћи до нових закључака. Ако би пешачио по огромно великој равници, он би са неколико истакнутих предмета могао лако уочити да му се видик непрестано мења, али да му је облик стално округао. Још јасније би то видео пловећи по морској пучини.

Али, крећући се по земљи, он би у исто време опазио да му и небо показује неке нове појаве. Кад би се посматрач кретао по меридијану, у правцу северног пола, поларна звезда би му стајала све више и видео би све више циркумполарних звезда. Кад би дошао до пола видео би целу северну половину неба; тада би све звезде биле циркумполарне и описивале би по небу потпуне кругове. Горња и доња кулминација би нестала, звезде не би излазиле ни залазиле него би за цело време биле на истим висинама. Појам јужне тачке је овде илузоран, јер су све тачке неба управљене према Југу, а исто тако и правац Истока

или Запада. Кад се посматрач креће у противном правцу, према екватору, добио би сасвим друкчији утисак. Звездане кулминације би бивале све више, број циркумполарних звезда би се постепено смањивао, али би се истовремено повећао број звезда које излазе и залазе. У извесном дану поларна би звезда нестала и посматрач би видео звезде целог неба, целе северне и јужне полукугле. Њихово кретање би било усправно на хоризонт и све би кулминирале на висини од 90°.

Кад би се посматрач кретао по паралелном кругу он би и тада видео непрестане промене на небу, али у друкчијем смислу. Кад би ишао на Исток звезде би кулминирале све раније што је даље на Истоку[1]) а обрнут случај би био кад би ишао ка Западу.

У случају да је Земља равна свих горе поменутих појава не би могло бити. С тога је постепен прелазак од једног до другог екстрема најубедљивији доказ да је Земља слободна у простору и да јој је површина са свих страна испупчена. Кад би јој кривина у свим правцима била иста, Земља би, према правилима стереометрије, морала бити округла.

То питање је покушао да реши још Стари Век. Први, који је порушио првобитно мишљење, да се небесни свод ослања о ивице Земље, био је *Анаксимандар*, наследник Талеса и вођа јонске школе (око 610 до 546 год. пре Хр.). Небо је за њега потпуна кугла у коју су утиснуте непомичне звезде. Земља слободно лебди у средини небесне кугле и с тога нема разлога да се помера ма на коју страну. Доказ за слободно лебдење Земље у васиони он налази у појави циркумполарних звезда. Кад оне имају две кулминације, морају и све остале звезде, код којих се виде само горње кулминације, имати на противној страни неба доње кулминације. Јасно је да то може бити само у случају ако је Земља слободно тело у простору.

Ипак је *Анаксимандар* одржао стари назор, да је Земља равна. По њему Земља има облик плитког ваљка, на чијој горњој површини је људство.

Доцније је *Питагора* (око 580 до 500 год. пре Хр пошао и корак даље, али са филозофског гледишта. Он је био један од првих филозофа, који је веровао да у свету постоји ред, а тај ред треба да се огледа у хармонији. Кугла је најхармоничнији облик, а кружно кретање је најсавршеније. Такво кретање се показује на небу, али, ако то вреди за небо, зашто да не вреди за Земљу? То би било и логично, јер горњи услов Анаксимандрове хипотезе може испунити само округло тело, пошто је његова цела површина једнако удаљена од целе површине небесне кугле. *Анаксагорас* (500 до 428 год. пре Хр.) је ову идеју попунио, јер верује да је Земља велика, али лака, и да је око ње један велики

вртлот, који ју одржава у средини света и с помоћу кога може да лебди у ваздуху.

Сигурније доказе за округлину Земље дали су тек доцнији филозофи, по којима је Земља могла бити округла, али није морала бити.

Докази за земљину округлину. — Од IV. столећа пре Хр. почели су се гомилати докази о земљиној округлини.

Аристотел (384—322 год. пре Хр.) је прво доказивао земљину округлину метафизичким размишљањем. Она треба да је округла из разлога, што се само код округлих тела може успоставити равнотежа свих честица, које су привлачене према земљином средишту. Доцније, у својој расправи „О небу", указује на факт, да је пројекција земљине сенке на Месец, при делимичним помрачењима Месеца, *увек* кружног облика, а то може бити само у случају, ако је Земља са свих страна округла.

Напослетку, *Аристотел* доказује округлину земље и фактом што се висине пола мењају, кад се посматрач креће према Северу или према Југу. Кад би Земља била потпуно равна, поларне висине би морале бити исте, јер су звезде толико удаљене, да сви зраци са њих долазе паралелно. Кад би се посматрач кретао ка Југу, са места a у a_1 и a_2 (ск. 18. А.) висина пола би стално имала једнаку вредност ψ. У истини ће се показати да се та вредност све већма смањује, што јужније се посматрач креће. Удаљења у скици 18,В увек су иста, $aa_1 = a_1a_2 = a_2a_3$, али су поларне висине све мање $\psi > \psi_1 > \psi_2 > \psi_3$. У том случају се усправне линије, које су повучене на ниже, крећу према истој тачци т. ј. према земљином средишту. То може бити само тада, ако је Земља у правцу Севера и Југа округла. Али за правац Исток — Запад ово се не може одредити, и с тога би Земља могла имати облик ваљка са осовином у правцу И — З.

Скица 18.

Допуну првом Аристотеловом доказу дао је *Архимед* (287 до 212 год. пре Хр.). Он је указивао да морска површина мора претстављати куглу, јер је свака течност у миру кугластог облика и да из тог разлога средиште свих морских површина лежи у земљином центру.

Много очигледнији доказ изнео је *Плиније* (29 до 79 год. по Хр.). Он је указао да ће на површинама, где је видик слободан, као на пр. на морским обалама, предмети бити видљиви само до извесне даљине. То није последица слабости наших очију или замућености ваздуха, него последица истинског нестајања предмета. Кад се лађе са морске пучине ближе обалама показаће се прво катарке, затим ће се видети једра, а

тек доцније и труп лађе (ск. 19.). То се, заиста, види са свих обала и с тога је истински доказ да је Земља са свих страна крива, али не и да је округла.

Даљи јасан и очигледан доказ пружа *граница видика*. Да је Земља равна видик би био паралелан са земљином површином и граница би му била у бескрајности. Тело би услед удаљења постајало све мање, али би се увек цело видело. Друкчије је ако је земљина површина округла. Тада је видик ограничен тангентом од нашег ока до границе видика. На свим морским пучинама се показује да

Скица 19.

је граница видика округла, а из тога се може закључити, да и Земља, као целина, мора бити округла. То је још очигледније ако се иде на висине. Што је висина већа, све већа је и површина видика. Из ск. 20. се види, да је за посматрача у A видик ограничен тачком H_1, а за посматрача у B тачком H_2. Линија AH_1 је краћа од линије BH_2. Обе означују полупречник видика и из тога јасно излази да је видик за посматрача код B већи, него за посматрача код A. Пошто је граница видика у оба случаја кружна, то је још сигурнији доказ за земљину округлину.

Скица 20.

Један од новијих доказа, за који су потребна детаљнија мерења, добија се *с помоћу виска*. Зна се, да висак пада усправно на земљину површину. Према томе, кад би Земља била равна, висак би из тачке A и B (скица 21) падао у правац A_1 и B_1, дакле нормално на хоризонт HH_1. Ако се тачке A и B споје правом линијом, тада су $\sphericalangle BAA_1 = \alpha$ и $\sphericalangle ABB_1 = \beta$ једнаки и сваки има 90^0, т. ј. $(\alpha + \beta) = 180^0$

Али у истини се показује друкчији однос. Тачке C и D су на истом нивоу изнад земљине површине. Висак пада са обе тачке нормално на површину, у правац C_1 и D_1. Ако се тај правац продужи на ниже, линије ће се састати у извесној

Скица 21.

тачци. То је доказ да је земљина површина крива. Још јасније се то види, ако се тачке C и D споје правом линијом. И тада ће углови $\sphericalangle DCC_1 = \gamma$ и $\sphericalangle CDD_1 = \delta$ бити једнаки, али ће бити мањи од 90^0. Исто тако ће бити и $(\gamma + \delta) < 180^0$.

Најубедљивији, али не и најсигурнији доказ за све кругове дао је тек Нови Век. После знамените шпањолске експедиције, која је под *Ма-*

гелановцм водством учинила *пут око света* (1519—1522 год.), показано је, да су, путујући око света, дошли на исто место. Тиме је на примеру доказано да је Земља са свих страна испупчена, да лебди слободно у васиони, али ни то није био доказ за кугласт земљин облик.

Мерења земљине величине. — У оном добу, док се веровало да Земља има облик плоче и да је ограничена океаном, тешко је било дати вероватне вредности о њеној величини, тим пре, што се настањено светско острво или *екумена*[1]) са новим открићима повећавала.

Анаксимандар је још у VI. столећу пре Хр. покушао да Земљу графички прикаже. По његовој карти је екумена округла, око ње је свугде океан, а у средишту јој је Делфи. Од Истока на Запад се протезала од Каспијског Мора до Ираклијевих стубова. Али већ после неколико десетина година екумена је толико повећана, нарочито проширена према Истоку, да је *Хекатај* у својој карти (око 517 год. пре Хр.) узео за средиште екумене Византију. Величина његове екумене имала је у пречнику 4000 до 5000 километара.

Тек кад се дошло до појма да је Земља округла, могла се, с помоћу мерења једног дела њезине површине, прорачунати и њена величина. Већ *Аристотел* се бавио овим питањем, и у својој расправи „О небу" изражава се овако: „Математичари, који су покушавали да прорачунају величину земљиног обима, закључују да он може имати до 40 миријада[2]) стадија, из чега се може извести не само да земљина маса има кружан облик, него и то, да та маса није сувише велика у односу према другим звездама". *Аристотел* на том месту не спомиње ни принцип методе, ни оног ко ју је употребио, него говори само о покушају, да се та величина прорачуна. Ипак има основа по коме се може веровати да је ту величину Земље прорачунао *Еудокс* (409 до 356 год. пре Хр.).

Код метода за одређење земљиног обима увек су потребна два основна рада: један геометријски рад, којим треба да се одреди *право удаљење* двеју тачака, или *дужина* извесног лука, и други, астрономски рад, којим треба одредити *амплитуду* или разлику у ширинама између крајњих тачака лука, т. ј. одговарајући део земљиног обима.

Из Старог Века су познате Ератостенова и Посидонијева метода.

Ератостенова метода. — Први о коме има података на који начин је вршио мерење, био је *Ератостен* (око 276 до 194 год. пре Хр.), грчки научењак и библиотекар александријске школе. Лук његовог мерења се пружа од Асуана (Сиене) *S* до Александрије *A*. (скица 22.). Начин на који је одредио дужину тога лука није познат, али се зна да

---

[1]) *Екумена* је настала из грчког οἰκούμενος = настањен, односи се на οἰκουμένη γῆ, на настањену Земљу. Корен јој је οἶκος = кућа.

[2]) *Миријада* = десет хиљада.

су под *Александром Великим* (356 до 323 год. пре Хр.) биле мерене дужине путева, која су вршили пешаци т. зв. бематисте. С тога су удаљења појединих вароши у Египту била позната и без сумње је *Ератостен* употребио тај материјал, јер су у његовој библиотеци била сва документа. Он је узео да је Асуан око 5000 стадија удаљен од Александрије.

Скица 22.

Амплитуду је Ератостен одредио помоћу висине Сунца при летњем солстицију. Он је раније дознао, да тога дана у подне Сунце осветљава целу површину једног дубоког бунара у Асуану. Из тога је морао закључити да је Сунце тог дана у зениту, иначе би један део бунара требао да је осенчен. Он сам је при летњем солстицију мерио скафијоном[1]) зенитално удаљење Сунца у Александрији и при том је нашао да је једнако $^1/_{50}$ скафијоновог обима.

Из скица 22. се види, да је $SO \parallel CD$, а OC да просеца те две линије, и према томе је $\sphericalangle ACD = \gamma = \sphericalangle SOA = \frac{1}{50}$.

Пошто та иста величина одговара и лучном делу земљиног обима, Ератостен је закључио да је земљин обим 5000 стадија $\times$ 50 = 250000 стадија. Да би добио округле бројеве узео је 252000 стадија, тако, да на сваки степен долази 700 стадија.

На основу *Хулчових* метролошких[2]) испитивања је доказано, да је *Ератостен* рачунао са александријском стадијом. Она је била 158 м дугачка и према томе је земљин обим 39815 км. И ако је Ератостен хтео да дâ само приближну вредност, узимајући округле бројеве и исти меридијан за оба места, ипак је она врло тачна, јер је земљин обим око 40000 км.

2. Посидонијева метода. — Око два столећа после Ератостена, *Посидоније* (133 до 49 год. пре Хр.) је астрономском методом одредио величину Земље. Његови радови су изгубљени, али му је метода мерења очувана код *Клеомеда*. Посидонијев лук се пружао од Александрије до острва Родоса. Њих дели Средоземно Море и с тога им је удаљење тешко утврдити, тим пре, што на брзину бродâ утичу ветрови и струје. Посидоније је с тога узео да та два места леже на приближном удаљењу од 5000 стадија, осим тога је претпоставио, да су Александрија и Родос на истом меридијану.

---

[1]) *Скафијон* је инструмент за мерења дужине сенке (види скица 5. b.) Његов основан део је метална шупља полукугла са степенском поделом. У дну полукугле учвршћена је усправна шипка, чија дужина је једнака полупречнику полукугле.

[2]) *Метрологија* је наука о мерама.

За одређење амплитуде узео је звезду Канопус *(Canopus)* са јужног неба. Знао је, да је њена горња кулминација на Родосу тек нешто изнад хоризонта, док је у Александрији била знатно виша. С тога је астрономски одредио висину Канопуса у Александрији. Та метода се графички може јасније приказати. У скици 23. је унутрашњи круг земљина површина, а спољашњи небесна кугла. Први круг је претерано увећан, а други претерано смањен, и с тога се показује претерано велика разлика између привидног и правог хоризонта. У тачки O је средиште обе кугле. Уцртани кругови треба да означе меридијан на коме су Александрија A и Родос R. Привидан хоризонт места A је означен са $A_1 A_2$, а привидан хоризонт места R са $R_1 R_2$. Прави хоризонт ова два места је паралелан са привидним хоризонтом и пролази кроз средиште кугле. Он је означен са $\mathfrak{A}_1 O \mathfrak{A}_2$ односно са $\mathfrak{R}_1 O \mathfrak{R}_2$. Горња кулминација Канопуса је у тачци L. Висина Канопуса у Родосу одговара луку R_1L, а у Александрији луку A_1L. Али, пошто су непомичне звезде толико много удаљене, да се привидан и прави хоризонт изједначе, могу се висине звезде заменити луковима $\mathfrak{A}_1L$ односно $\mathfrak{R}_1L$. Разлика у висини звезде добија се из диференције $\mathfrak{A}_1L - \mathfrak{R}_1L = \mathfrak{A}_1\mathfrak{R}_1$.

Скица 23.

Пошто је $AO \perp \mathfrak{A}_1\mathfrak{A}_2$, а $RO \perp \mathfrak{R}_1\mathfrak{R}_2$, то је и $\sphericalangle \mathfrak{R}_1 O \mathfrak{A}_1 = \varphi = \sphericalangle ROA$, а то је део земљиног обима. *Посидоније* је нашао да се меридијанска висина Канопуса дизала за $^1/_{48}$ обима ($7^0 30'$) и према томе је величина земљиног обима 5000 стадија $\times$ 48 = 240000 стадија или 666·66 стадија на степен. И ако је и његово мерење сасвим приближно (јер је разлика у геогр. шир. тек 5^0 15′) ипак му је резултат доста близу истине, јер даје обим од 37920 км.

Последње мерење које се спомиње у Старом Веку је *Птоломејево* (у II. веку после Хр.). Он у својој „Географији“ говори о принципу метода мерења, али ништа не говори о извођењу самога мерења. Он је изнео да је земљин обим 180000 стадија или 500 стадија за степен. Та вредност се односи на т. зв. филетерску стадију, којом су се доцнији векови служили. Њезина дужина је око 210 м. и према томе би земљин обим имао 37800 км. Пошто је александријска стадија према филетерској стадији у односу 3 : 4, а Посидонијева вредност према Птоломејевој 4 : 3, вероватно је, да је *Птоломеј* узео вредност Посидонијеву и прерачунао ју у филетерске стадије.

2. Арапско мерење Земље. — Прво истинско мерење на земљиној површини учињено је тек у Средњем Веку, у Арабији, око 827 године. Према подацима арапског астронома *Ибн Јунуса* (1009 г.по Хр.) степенско мерење је вршено у Сиријској Пустињи, по највећем кругу Земље, око места Тадмора (Тедмур) и Вâзита, док се знаменити географ и историчар *Абу'л-Федâ* (1273 до 1331 год.) о томе изражава овако: Више научењака Старога Века, као на пр. Птоломеј и неки други, трудили су се да добију вредност једног степена, и проценили су, да степен по највећем земљином кругу има $66^2/_3$ миља. Доцније, под владом *Ал-Махмûна*, некоји научењаци су хтели да испитају истинитост ове вредности. По заповести Калифа кренули су у равницу Синџара и, пошто су на том месту заједнички одредили висину пола, поделили су се у две групе. Једна је, по могућности у прâвом путу, пошла према Северу, а друга ка Југу и обе групе су ишле све дотле, док се за оне, који су кренули на Север, северан пол неба повећао за 1^0, а за оне, који су кренули на Југ, да се смањио за 1^0. Најпосле су се сви састали у почетном месту и једни су добили за дужину пута $56^2/_3$ миља, а други су забележили 56 миља без разломка, али су се споразумели да приме већу вредност.

Код овог мерења је непозната дужина арапске миље. Са сигурношћу је доказано да она има 4000 лаката, а вероватно је да је један лакат био подељен на 24 палца. Осим тога, арапски астрономи и географи изрично тврде, да се под лактом подразумева црни лакат, који је био једнак дужини доње половине руке Ал-Махмûнове робиње црнкиње. Веома савесним и исцрпним испитивањима добрих познавалаца арапског језика и науке *Махмûд Беја*, *Нилинoа* и *Каникова* је доказано, да је арапски црни лакат имао дужину од 0.4932 до 0.5054 m, дакле у средњу руку 0.5 метара. Према томе би арапска миља имала 2000 метара, и кад би у истини на један меридијански степен долазило $56^2/_3$ миља, арапско мерење би било доста добро, јер би меридијански квадрант имао дужину од 10199·88 km.[1])

У Новом Веку је прво познато мерење вршио *Ж. Фернел* (1497 до 1558 год.), лекар краља Хенрика II., и с тога га треба поменути. Метода рада му је изнесена у делу, које је изашло 1528 год. Пошто је одредио висину Сунца у Паризу он је тражио на истом меридијану место, у коме је висина Сунца тачно за један степен мања. Када је одредио то место премерио је прâво удаљење између њих, на друму од Париза до Амиена. За мерење удаљења узео је број окретања точка на колима. Утицај бкука и висинских разлика је проценио од ока и с тога се на то по-

[1]) Критички је питање о арапском мерењу изнесено у чланку: *C. Schoy, Erdmessungen bei den Arabern.* — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin. 1917. № 7/8. стр. 431—445.

вршно мерење није гледало са довољно поверења. Ипак је Фернел дошао до невероватно тачног резултата, да је величина меридијанског степена 57070 тоаза[1]) и погрешка код целог земљиног обима износила би само неколико километара.

Слична мерења су вршена и на другим местима, али скоро на исти начин. Тек после једног столећа је пронађен нов начин за мерење земљине величине, т. зв. метода триангулације.

Снелиус-ова метода триангулације. — Прелазак од првобитних мерења Земље, према модерним методама, представља несумњиво метода, коју је пронашао Холанђанин *Вилебрард Снелиус* (1591 до 1626 год.), и практично ју спровео мерењем у Холандији.

Главна мисао тог новог принципа је ово: Кратка линија базе може се пажљивим радом врло тачно одмерити, али за дужине од 100 км. и више то је и при најповољнијим условима немогуће. Мерење дужина је кудикамо теже и несигурније него мерење углова и с тога се дужина већих лукова може много тачније одредити тригонометријском методом, ако је тачно измерена дужина основне линије или *тригонометријске базе*[2]). Принцип триангулације је, према томе, међусобно повезивање троуглова од тригонометријске базе до крајњих тачака лука.

Холандија је била погодна за такво мерење, јер има велике равне просторије. База мерења је била линија AB. Она је најпажљивије премеравана гвозденим шипкама и одређено је, да је дугачка 328 метара. (ск. 24.)

Скица 24.

Са тачке A је *Снелиус* визирао на обе сигналне тачке C и D и пошто је одредио углове $\sphericalangle BAC$ и $\sphericalangle BAD$ отишао је у место B и оданде је визирао тачке C и D и одредио углове $\sphericalangle ABC$ и $\sphericalangle ABD$. С помоћу та четири угла могао је прорачунати дужину CD у четвороуглу $ACBD$. Линија CD је постала нова база за одређење углова $\sphericalangle CDL$, $\sphericalangle CDG$, $\sphericalangle DCL$ и $\sphericalangle DCG$, али је тако добио трећу базу LG, од Лајдена до Сетервондеа.

После тих детаљних мерења изабрано је неколико визирних тачака (торњева на црквама) у великој холандијској равници и вршена су даља мерења. Цео рад на мерењу ће се видети из скице 25. У њој је MM_1 меридијан који пролази кроз Лајден, а LG трећа база. Са ње су мерени углови двеју крајњих тачака H и N, и тако су из тачке L

---

[1]) *тоаза* (toise) је француска мера за дужине; 1 тоаза = 1,94904 метара.

[2]) Принцип триангулације изнесен је у Снелиусовом делу: *Erathostenes Batavus seu de terrae ambitus vera quantitate.* — Leiden, 1617.

одређени $\sphericalangle GLH$ и $\sphericalangle GLN$, а из тачке G углови $\sphericalangle LGH$ и $\sphericalangle LGN$. С помоћу њих су прорачунате све три стране $\triangle GLH$ и $\triangle GLN$. Одатле су визирањем настављена даља премеравања троуглова на целој мрежи, до крајњих тачака у Alkmaar-у (A) и у Bergen op Zoom (B).

Скица 25.

Осим тога су из свих крајњих тачака A, E, F, G, H и т. д. вучене пројекције на меридијан MM_1, дакле линије AC, EE_1, FF_1, GG_1 и т. д. и с помоћу међусобних углова одређиване дужине појединих делова CE_1, E_1F_1, F_1G_1 и т.д.

На тај начин је потпуно прорачунат меридијански лук од C до D. Његова дужина је с једне стране

$$CD = CE_1 + E_1F_1 + F_1G_1 + G_1L + LH_1 + H_1I_1 + I_1D,$$

а с друге стране

$$CD = CK_1 + K_1N_1 + N_1L + LO_1 + O_1P_1 + P_1R_1 + R_1D.$$

Тиме је посао на терену свршен и прорачунавање дужине меридијанског лука решено. После тога долази на ред астрономско мерење ради одређења угла, коме дотичан меридијански лук одговара. Када се одреди његова величина може се прорачунати и дужина целог меридијанског степена.

5. Кеплерова метода. — Истовремено са проналаском *Снелиусове* триангулационе методе, *Кеплер* је изнео астрономску методу рада[1]), али је у пракси није употребио.

Кеплер је пошао од претпоставке, да су две крајње тачке мерења на истом меридијану, али на разним висинама, т. ј. на разном удаљењу од земљиног средишта. Према томе је врх првог места у тачки A, а врх другог места у тачки B (скица 26). Редукцијом на морски ниво те тачке падају у A_2 и B_2.

Скица 26.

Посматрач из места A треба да одреди угао између зенита, места посматрања и друге крајње тачке B, дакле $\sphericalangle A_1AB = \alpha$, после тога, да одреди исти угао са места B, дакле $\sphericalangle B_1BA = \beta$. Комплементаран угао до 180^0 за место A је $\sphericalangle BAO = (180^0 - \alpha) = \gamma$, а за место B је $\sphericalangle ABO = (180^0 - \beta) = \delta$.

[1]) *Кеплерова* метода је штампана у Линцу 1618. год. у његовој популарној астрономији „Epitome astronomiae Copernicanae."

С помоћу α и β може се одредити и $\sphericalangle AOB$, који одговара лучном удаљењу места A и B. Из скице се види, да је

$$(\alpha + \gamma) = 180^0$$
$$(\beta + \delta) = 180^0$$

Сумирањем ове две једначине добија се формула:

$$(\alpha + \beta + \gamma + \delta) = 360^0$$

Осим тога је у троуглу ABO

$$(\gamma + \delta + \sphericalangle AOB) = 180^0$$

Суптракцијом ове две једначине добија се нова формула

$$[(\alpha + \beta) - \sphericalangle AOB] = 180^0$$

и из ње се може одредити величина угла AOB:

$$\sphericalangle AOB = (\alpha + \beta - 180^0) = \rho$$

Ако је удаљење та два места, или лук $A_2B_2 = l$, познато, задатак је потпуно решен, јер су у општој формули $2r\pi : l = 360^0 : \rho$ познате све вредности, осим земљиног полупречника.

Тада је:

$$r = \frac{360^0\, l}{2\pi\rho} = \frac{180^0\, l}{\pi\rho}$$

Кеплеровом методом су се доцније послужили научењаци *Ријиоли* и *Грибалди*.

Али, при новијим мерењима Земље, све више се почела употребљавати *Снелиусова* метода. Напред је изнесено да је он знатно побољшао начин за одређење земљине величине. Међутим, побољшан је само један од два неопходна елемента, т. ј. мерење дужине лука, док је одређење амплитуде, у степенима, остало и даље несигурно, као што је било и раније.

У том правцу је учинио побољшање опат *Жан Пикар*. Он је инструментима за мерење углова додао доглед са диоптерима, с помоћу којих су се могла вршити много тачнија мерења. Са тим побољшаним инструментом, и употребом *Снелиус*-ове методе, он је вршио мерење 1669 и 1670 год. од пољског имања Малвоазена (близу Corbeil-a) до Сурдона (близу Amiens-a) [1]). На два краја свога лука измерио је базе, једну од Villejuif-a до Juvisy-a са 5663 тоаза (11·037 км.) а на другом крају верификацијону базу са 3902 тоазе (7·605 км.). Удаљење Малвоазен-Сурдон је, према мерењу, износило 68347 тоаза и 3 стопе (133·212 km), а амплитуда $1^0\ 21'\ 54''$ Према томе је један меридијански степен 57 060 тоаза (111·212 km.).

II. Земља као сфероид.

Велико побољшање рада при *Пикаровом* мерењу уливало је пуно поверења да ће питање о димензијама Земље бити дефинитивно решено.

---

[1]) *Picard,* La mesure de la terre. Paris. 1671.

То је било једно од најзнаменитијих модерних мерења, и с помоћу ових резултата је Њутн доказао свој закон о гравитацији.

Али, већ много раније су постојали назори да Земља није округла. Још у последњим столећима Старога Века било је извесних филозофа, који су држали да Земља има облик јајета и да је земљина осовина дужа од екваторијалног пречника. Мишљење о продуженој земљиној осовини одржано је до краја XVII. века на основу разних хипотеза. По једној од њих се физичким снагама на Земљи давала претерана важност: Непрестаним нагомилавањем леда око полова Земља би морала добити издужен облик према половима, а издашним пљусковима у екваторијалним пределима денудација би толико ојачала да би се тај појас сузио. Чак ни сам *Кеплер* није био сигуран о земљином облику и с тога је мислио да се неправилности облика могу одредити астрономским путем и изнео је своју методу мерења.

Питање о земљином облику постало је много актуелније после *Рише*-ног бављења у Гујани. Париска Академија Наука послала га је у Гујану ради одређења сунчеве паралаксе. Али он је истовремено вршио и многа друга посматрања од којих је овде најважније посматрање шеталице. У Кајени (4°56′28″ сев. шир.) се *Рише* бавио 1672 и 1673 год. и у своме делу о испитивањима[1]) се овако изражава: „Једно од најважнијих посматрања која сам чинио је посматрање секундне шеталице. Показало се, да је она у Кајени краћа него у Паризу; ....кад је донесена у Француску и упоређена са шеталицом у Паризу, показала се разлика од једне линије и четврт (т. ј. 2·66 mm.), за колико је шеталица из Кајене краћа од париске шеталице, која је дугачка 3 стопе 8 линија и $^3/_5$. (т. ј. 994 mm)“. Исто тако је опазио да му се и часовник, који је понео из Париза, задоцњавао у Кајени за 2 минута дневно.

То, тако просто посматрање, имало је огроман значај за питање о облику Земље. Њиме је показано да Земља није кугла, али уједно и то, да се земљин облик може одредити и другом, т. зв. *динамичном методом*, на супрот *геометријској методи*, којом се до тада служило.

У почетку се није знало услед чега се дужина шеталице мења и како да се та промена протумачи, али, када су доцнија посматрања у тропским пределима показала исте резултате, научењаци су морали да траже узрок овој необичној појави.

Физички докази за сфероидан облик Земље.

Први испитивач, који се бавио питањем о сфероидном облику Земље, био је холандески физичар и астроном *Христијан Хаигенс* (1629—1695).

---

[1]) *Jean Richer*, Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Caïenne. — Paris 1676.

Он је успео да реши питање о шеталици, а доцније је изнео и закон о центрифугалној снази[1]). Скоро истовремено се истим питањима бавио и *Њутн*, али је свој рад[2]) објавио пре *Хаигенса*.

Хаигенсов закон о шеталици. — *Хаигенс* је при испитивању шеталице дошао до закључка, да трајање једног клатења код т. зв. математичне шеталице одговара формули:

$$(1.) \quad t = \pi \sqrt{l : G},$$

у којој је t време, l дужина шеталице, а G акцелерација теже. Овде је потребно дати појам о акцелерацији теже.

Према *Њутн*овом гравитацијоном закону[3]) се две округле масе m и m_1, на удаљењу d, привлаче снагом G, која је у прâвом односу са продуктом обеју маса, а у обрнутом односу са другим степеном удаљења, дакле:

$$G = k \frac{mm_1}{d^2}$$

У тој формули је k гравитацијона константа. Величина акцелерације теже или гравитације је $G = 9{\cdot}81\, m$.

Ако је у *Хаигенс*овој формули (1.) $t = 1$, дакле време једне секунде, може се одредити дужина секундне шеталице l_s с помому формуле (1.), јер је у том случају

$$1 = \pi \sqrt{l_s : G},$$

и према томе је $(2.) \quad l_s = \frac{1}{\pi^2} \cdot G = 0.10132\, G$

Из формуле (2.) се види, да су l_s и G пропорционалне величине, т. ј. ако је шеталица l_s у једном месту краћа него у другом месту, мора и G у првом месту бити мање него у другом месту. Тај једноставан однос пружа врло важан доказ, да је Кајена даље од средишта привлачне снаге него Париз. Али се тиме мења и назор о кружном облику Земље. Земља мора да је око екватора испупчена, а у близини полова спљоштена.

Хаигенсов закон о центрифугалној снази. — Други *Хаигенсов* доказ за сфероидан облик Земље је центрифугална снага, коју је он открио крајем XVII. столећа, 1690 године. Али, пре него што се изнесе закон о центрифугалној снази, треба одредити брзину, којом се Земља обрће око своје осовине.

---

[1]) *Huyghens*, Discours de la cause de la pesanteur. — 1690.

[2]) Principia naturalis philosophiae mathematica. 1687. — Опширније је Њутнов рад изнесен у поглављу *Откриће Њутнових закона*.

[3]) в. поглавље *Откриће Њутнових закона*.

Брзина v је однос између дужине пута l и времена t, за које тело пређе дужину l. Да се добије брзина кретања на екватору v_0 за време једне секунде, мора се земљин обим поделити са дужином једног дана T. Дакле је

$$(3.)\quad v_0 = \frac{l}{t} = \frac{2\,r\pi}{T} = \frac{2 \times 6377000 \times 3{\cdot}14\,m}{86164 \text{ сек.}} = 465\ m/\text{сек.}$$

На већим географским ширинама земљин обим се смањује са косинусом географске ширине. То се види из скице 27. У њој је $OE = r$, т. ј. екваторијалан полупречник. Код места A, на географској ширини φ, одговара обиму те географске ширине полупречник FA. Пошто је $FA \parallel OE$, а OA пресеца те две линије, мора бити $\sphericalangle AOE = \varphi = \sphericalangle FAO$. И, пошто је $OE = OA = r$, биће и $\frac{FA}{OA} = \cos\varphi$, а $FA = r\cos\varphi$.

Ако је извесно место на географској ширини $\varphi = 60^0$, онда је $\cos 60^0 = 0{\cdot}5$ и брзина обртања на том месту је

$$(4.)\quad v_{60} = \frac{2\,(r\cos 60^0)\,\pi}{t} = 233\ m/\text{сек.}$$

Према *Хаигенсовом* закону је центрифугална снага директно пропорцијонална другом степену брзине, а обрнуто пропорцијонална дужини полупречника:

$$f = \frac{v^2}{r};$$

на екватору је $\quad (5.)\quad f_0 = \frac{v_0^2}{r} = \frac{465^2}{6377000} = 33.9\ mm.$

Али у формули (4.) је показано, да се линеарна брзина обртања мења са косинусом географске ширине. Брзина долази у рачун и код центрифугалне снаге, и с тога и *центрифугална снага опада са косинусом географске ширине.*

Скица 27.

Према ранијој дефиницији је:

$$f_0 = \frac{v_0^2}{r} = \left(\frac{2r\pi}{T}\right)^2 : r,$$

$$\text{а } f_\varphi = \frac{v_\varphi^2}{r\cos\varphi} = \left(\frac{2[r\cos\varphi]\,\pi}{T}\right) : r\cos\varphi.$$

Однос између f_0 и f_φ је:

$$\frac{f_0}{f_\varphi} = \left\{\left(\frac{2\,r\pi}{T}\right)^2 : r\right\} : \left\{\left[\frac{2\,(r\cos\varphi)\,\pi}{T}\right]^2 : r\cos\varphi\right\}$$

Када се ове једначине подигну на квадрат и кад се избаце једнаке вредности, добије се једноставна формула:

$$\frac{f_0}{f_\varphi} = \frac{1}{\cos \varphi}$$

и према томе је $$f_\varphi = f_0 \cos \varphi.$$

Али, пошто *Хаигенс* није знао колика је густина земљине унутрашњости, није могао да реши колики је видљив утицај центрифугалне снаге. Свакако је он већи код течног тела него код чврстог тела. С тога Хаигенс полази од претпоставке, да је језгро екстремно густо, да је цела снага концентрисана у језгру, и добио је за земљину спљоштеност вредност 1/578.

Њутнови докази о сфероидном облику Земље. — *Њутн* полази од претпоставке, да је Земља округла и да је просечена са два канала, који су један на другом под правим угловима (скица 28). Први просеца Земљу од средишта до пола *OP*, а други од средишта на екватор *OA*. Оба ова канала су напуњена водом. Кад се Земља обрће центрифугална снага неће показати на полу никакву промену, али ће екваторијалан канал, на коме центрифугална снага делује тежи на супрот, добити мању тежину. Према његовом рачуну поларан канал би одржавао равнотежу са 288 водених честица, а екваторијалан канал са 289 водених честица. После неколико даљих разматрања је прорачунао да је код течне или меке Земље спљоштеност 1/232.

Скица 28.

Затим *Њутн* износи везе између теже, центрифугалне снаге и дужине шеталице, али нејасније него *Хаигенс*. Кад би Земља потпуно мировала тежа би на свим местима била једнако велика, али пошто се врти око своје осовине ствара се центрифугална снага. Та снага опада са косинусом географске ширине, али једном компонентом *AC* делује гравитацијоној снази на супрот (ск. 27.) и смањује ју. Величину компоненте *AC* лако је одредити, јер је

$$AC = AB \cos \varphi,$$

а пошто је $$AB = f_\varphi$$

мора бити и $$AC = f_\varphi \cos \varphi.$$

Раније је показано да је $f_\varphi = f_0 \cos \varphi$, и према томе је

$$AC = f_0 \cos \varphi . \cos \varphi = f_0 \cos^2 \varphi$$

Из ове формуле се види, да *компонента AC опада са другим степеном косинуса географске ширине.* То је разлог што тежа мора бити мања него код непомичне Земље; она је највећма смањена на екватору, а најмање на половима. Када је горњи однос познат, лако је одредити

истинску тежу (g_φ) на разним местима ротирајуће Земље. Она се добија разликом између гравитацијоне снаге и компоненте AC. Према томе је:

$$g_\varphi = G - AC = G - f_0 \cos^2 \varphi$$

Пошто је $g_0 = G - f_0$, а $G = g_0 + f_0$
горња формула ће добити облик

$$g_\varphi = (g_0 + f_0) - f_0 \cos^2 \varphi = g_0 + f_0 (1 - \cos^2 \varphi)$$

и пошто је $(1 - \cos^2 \varphi) = \sin^2 \varphi$
добиће се главан резултат

$$(6.) \quad g_\varphi = g_0 + f_0 \sin^2 \varphi.$$

Тежа, дакле, расте од екватора према половима са квадратом синуса географске ширине. На полу је $\sin 90^0 = 1$ и према томе је $g_{90} = g_0 + f_0$; на екватору је $\sin 0^0 = 0$, дакле је $g_0 = g_0$. У формули (6.) је f_0 константа, која означава прираштај теже од екватора до пола.

Хаигенс је прорачунао да је $f_0 = 33.9$ *mm*, дакле, да је прираштај центрифугалне снаге од пола до екватора 33.9 *mm*. Кад би у формули (6.) за тежу f_0 имало такође вредност од 33.9 *mm*, то не би био никакав доказ за спљоштеност. Напротив, тежа би се од екватора до пола повећала за 33.9 *mm* и Земља би имала потпун облик кугле и ако се обрће око своје осовине. То би била последица факта, што центрифугална снага према половима у истом односу опада у коме се тежа повећава. Међутим, мерењима шеталице је доказано, да је у формули за тежу f_0 знатно веће, што значи, да тежа брже расте него што би требало.

Однос између гравитацијоне снаге и шеталице је константан. Интерполацијом се могу добити за све географске ширине односи између дужине секундне шеталице и теже, према *Хаигенсовој* формули $l_s = G : \pi^2$ и $G = l_s \pi^2$. За разне географске ширине се добијају ове вредности:

геогр. ширина	дужина секундне шеталице	тежа $G = l_s \pi^2$
0^0	990·95 *mm*	978·03 *cm*
45^0	993·59 „	980·63 „
50^0	994·97 „	981·08 „
80^0	995·94 „	983·07 „
90^0	996·18 „	983·23 „

Дужина секундне шеталице се повећа од екватора до пола за 5·23 mm, а тежа за 5·20 cm = 52 mm (или тачније 51·86 mm).

Из овог излагања се види, да константа f_0 из формуле (6.) нема више онај значај и да се мора променути. Место вредности за центрифугалну снагу на екватору, мора се унети прираштај теже од екватора до пола, дакле $(g_{90} - g_0) = \kappa$, и тада се добије формула теже за свако место на Земљи

$$(7.) \quad g_\varphi = g_0 + \kappa \sin^2 \varphi$$

Величина константе κ је $\kappa = 51·86$ mm, дакле за 18 mm већа, него што је опадање центрифугалне снаге од екватора до пола. То је *прави*

доказ да су поларни делови земљине површине ближи средишту од екваторијалних делова и да је Земља спљоштена.

Овде је потребно споменути, да закон о прираштају теже, који је изнесен у формули (7.), вреди и за ротацијони елипсоид мале ексцентричности, као што је случај код Земље.

Хаигенс и *Њутн* су, као што се види, дали сасвим други појам о земљином облику. Он је био у супротности са дотадашњим назорима, али су се и у резултатима Њутна и Хаигенса такође показале разлике услед неједнаког одређења земљине спљоштености. Та разлика је последица факта, што ни један од њих није знао густину земљине унутрашњости, али су обојица изнели доказ за спљоштен облик Земље.

Јасно је, да је услед велике супротности назора морала настати препирка између тадашњих научењака, који су одржавали хипотезу продуженог сфероида и оних, који су износили доказе о спљоштеном сфероиду. Заиста је та огорчена борба трајала неколико десетина година.

Начин за тачно одређење земљиног облика. — Сигуран доказ за истинитост прве или друге хипотезе може дати једино директно мерење. Да би се то могло доказати најбоље је изнети пример.

Линеарна дужина једног степена на кугли је у свим географским ширинама једнака, јер су сви делови кружне површине једнако удаљени од средишта. Ако је Земља *кугла*, и узме се један степен на полу α_1 и један степен на екватору α_2, углови ће бити исти, $\alpha_1 = \alpha_2$, али ће и одговарајући лукови бити једнаки, $AB = CD$. (скица 29.) Линеарна дужина једног степена на *сфероиду* је, међутим, најмања на крајњим тачкама велике осовине CD, а највећа на крајњим тачкама мале осовине AB. Види се да је код сфероида $\alpha_1 = \alpha_2$, али је $AB > CD$. Ако је Земља ротацијони сфероид мора се знати да ли је мала или велика осовина ротацијона осовина. Да би се то одредило треба на меридијану узети два места A и B у близини пола и два места C и D на истом меридијану у близини екватора. Угао зениталног удаљења тих двају места, који се одреди астрономским мерењем, мора на оба места бити једнак. Ако се затим геодетским путем одреди линеарно удаљење AB и CD, постојаће две могућности, или да је $AB > CD$, или да је $AB < CD$. У првом случају је Земља спљоштена на полу, а испупчена на екватору, т. ј. она је *спљоштен сфероид*, у другом случају је испупчена на полу, а спљоштена на екватору и тада би била *продужен сфероид*.

Скица 29.

Геодетски докази о сфероидном облику Земље.

Даљи циљ степенског мерења је био да се пружи доказ за прву или за другу могућност. То је било тим лакше учинити, што је француска држава понудила сва потребна средства да се кроз целу Француску спроведе степенско мерење.

Касинијево мерење кроз Француску. — Премеравање меридијанских степена кроз Француску почело је 1683 год., али је доцније прекинуто и понован рад је почео тек 1700 год. Тада је *Доминико Касини* продужио мерење до Колиура у Пиринејима[1]) и нашао, да су дужине меридијанског степена јужно од Париза нешто веће од дужине, коју је дао *Пикар* за меридијански степен код Амиена, али о облику Земље није ништа закључио. Тек доцније, кад је мерење продужено на Север, до Динкерка, син *Доминика Касинија, Жак Касини* је публиковао резултате рада, у којима је изнео да је меридијански степен јужно од Париза дугачак 57097 тоаза (111·284 km.), а степен северно од Париза 56960 тоаза (110·628 km.), и на основу тога заступао идеју да је Земља продужен елипсоид[2]). То мишљење је примила скоро цела Француска и ако су извесни научењаци тврдили, да та мерења нису довољно прецизна, и да се с тога не може изводити такав закључак. Они су указивали, да и погрешке од неколико степенских секунада у географској ширини Динкерка, с једне стране, и Колиура, с друге стране, могу потпуно да оборе и да обрну закључке. Осим тога Француска није толико велика, да би се само у њој могло решити питање о земљином облику. Изношено је, да треба узети много већи лук него што су осам меридијанских степена и да треба чинити мерења у близини екватора и пола.

Перуанска и лапландска експедиција. — На предлог *Бугеа* и *Морепаа* *краљ Худвиг XV.* је издао наредбу, да се две научне експедиције пошаљу у тропске и поларне пределе и да тамо врше премеравања.

Годен, Ла Кондамен и *Буге* су отпутовали у Перу 1735 год. и вршили су мерења у Перуанским Андима пуних десет година. Средња географска ширина њиховог лука била је 1°31′ ј. ш., а дужина лука три меридијанска степена. Обрадом својих резултата су добили за меридијански степен дужину од 56734 тоаза (110·575 km.)[3]) На *Лапланд* је отпутовала друга експедиција 1736 год. У њој су били *Мопертуи, Клеро, Ками, Лемоние* и свршили су мерење за једну годину, јер је терен био много погоднији. Средња географска ширина им је била 66°20′ с. ш., а

---

[1]) *D. Cassini*, De la méridienne de l'observatoire royale de Paris, prolongée jusqu'aux Pyrénées. — Mem. de l'Acad. royale de Paris. 1701.

[2]) *J. Cassini*, Traité de la grandeur et de la figure de la terre. — Paris. 1720.

[3]) *Bouguer*, La figure de la terre. — Paris. 1749. — *De la Condamine*, Mesure de trois premier degrés du méridien dans l'hemisphere australe. — Paris. 1751.

дужина једног степена 57438 тоаза (111·947 km.)[1]. Наравно, да је ова експедиција површније радила, јер је доцнија шведска експедиција, под водством *Сванберга*, одредила дужину меридијанског степена са 57196 тоаза (111·477 km.).

Ипак је с помоћу та два резултата доказано, да је поларан меридијански степен дужи од екваторијалног степена и на тај начин је решено питање у корист *Њутна* и *Хајгенса*, тако, да је научна борба била прекинута.

Клероов теорем о земљиној спљоштености. — Скоро у исто време, када су ове две експедиције доказале да Земља има облик спљоштеног сфероида, успео је и француски математичар *Клеро* (1713—1765 год.) да пружи исти доказ на сасвим другој основи.

Дотадашњим резултатима *Хајгенса* и *Њутна* није било могућно да се величина земљине спљоштености прорачуна само с помоћу мерења теже. То је омогућио тек *Клеро* својим знаменитим теоремом, у коме полази од хидростатичких принципа[2]. Он је прорачунао колика је целокупна привлачна снага разних ротацијоних елипсоида на неку тачку изван тога тела, као и величину компонената тога привлачења. Он полази од претпоставке течне масе, која се мало разликује од кугле, која је из концентричних хомогених слојева, и чија густина опада од средишта према површини по непознатом закону. На основу многобројних покушаја успео је да постави формулу, у којој је јасно изражена веза између прираштаја теже од екватора до пола, центрифугалне снаге и земљине спљоштености.

Кад би се спљоштеност α односила на површински слој течности, добила би се следећа једначина, у којој све вредности одговарају раније изнесеним вредностима на страни 39—41:

$$\alpha + \frac{g_{90} - g_0}{g_0} = 2{\cdot}5\,\frac{f_0}{g_0}$$

Из те једначине се види, да је *спљоштеност и прираштај теже од екватора до пола, подељен са тежом на екватору, једнак двоструком и по односу између центрифугалне снаге и теже на екватору.*

Спљоштеност Земље је према томе:

$$\alpha = 2{\cdot}5\,\frac{f_0}{g_0} - \frac{g_{90} - g_0}{g_0} = 2{\cdot}5\,\frac{f_0}{g_0} - \frac{\kappa}{g_0} = \frac{2{\cdot}5 \times 33{\cdot}9}{9780{\cdot}46} - \frac{51{\cdot}86}{9780{\cdot}46} =$$

$$= \frac{32{\cdot}89}{9780{\cdot}46} = \frac{1}{297{\cdot}4}$$

Ова формула даје врло приближну вредност истини.

---

[1]) *Maupertuis*, La figure de la terre. — Paris. 1748.

[2]) *Clairaut*, Théorie de la figure de la terre, tirée des principes de l'hydrostatique. — 1743.

Мерење париског меридијана и постанак природних мера за дужине. — Од половине XVIII. столећа степенска су мерења учестала, не само у Европи, него и у другим континентима. Овде није место да се о њима опширније говори, али се ипак мора споменути новије мерење париског меридијана, јер су се њиме требале одредити нове мере за дужине.

Тежња за проналаском природних мера за одређење дужина, могла је да се испуни тек приликом француске револуције, која је у свима правцима кидала са старим обичајима. На предлог *Таиерана* (Talleyrand) Конвенту, изабран је одбор најпознатијих научењака, који је требао да изнесе начин, како да се промене систем мерења дужина и тежина. 1791 год. је поднесено мишљење, да се париски меридијан премери најтачнијом триангулацијом од Динкерка до Барцелоне и да се 1/40 000 000-ти део целог меридијана или 1/10 000 000-ти део квадранта узме као јединка будућег мерила дужина. Та дужина да се назове *метар*, а већи и мањи делови да се одреде према децималном систему, и то, да се већи делови назову грчким именима (дека-, хекто-, кило-), а мањи латинским именима (деци-, центи-, мили-).

Рад је почео 1792. године. Геодетско премеравање су вршили *Деламбр* и *Мешен*, и 1799. год. је геодетско мерење било завршено, али не и обрађено. Премеравање је било сигурније од свих ранијих мерења, јер су за мерење базе узета биметална мерила система *Борда*, којима је утицај температуре на ширење метала био изолиран.

Пошто Конвент није могао да дочека крај тих великих радова, узето је, да је париски меридијански квадрант дугачак 5 130 740 тоаза. На основу тога је, законом од 19. фримера у VII. години (10. децембра 1799.), утврђено, да је дужина нове јединке, т. ј. 1 метра = 443 линије и 296 хиљадитих делова перуанске тоазе при температури $13^0 R =$ 0·513074 француске тоазе. Прототип овог мерила је „Mètre des Archives“, који се чува у подруму париске опсерваторије. Он је начињен од иридијума и платине.

Цео рад овог триангулационог мерења је описао *Деламбр*[1]). Доцније су *Био* и *Араго* продужили ово мерење до острва Форментера, у Балеарским Острвима[2]) и на тај начин су добивене сигурне геодетске основе за одређење земљиног облика.

---

[1]) *J. B. J. Delambre,* Base du système métrique décimal ou mesure de l'arc de méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone. — I. Tome 1806., II. Tome 1807., III. Tome 1809.

[2]) *Biot — Arago,* Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques, exécutées par ordre du bureau des longitudes de France. — Paris 1821., као IV. свеска горњег дела.

Главни резултати целог овог мерења су ово:

место	географска ширина	степенска разлика	дужина једног степена	
			у тоазама	у km.
Dunkerque	51° 2′ 8,50″		57 087,68	111,266
Pantheon (Paris)	48° 50′ 49,37″	2° 11′ 19,13′	57 069,31	111,230
Evaux	46° 10′ 42,54″	2° 40′ 6,83″	56 977,36	111,051
Carcassonne	43° 12′ 54,30″	2° 57′ 48,24″	56 960,46	111,018
Montjouy	41° 21′ 46,58″	1° 51′ 7,72″	56 955,38	111,008

Резултати мерења са секундном шеталицом.

Паралелно са умножавањем геодетских података за сфероидан облик Земље, умножавали су се и докази с помоћу мерења шеталицом. Та мерења су чињена на свим географским ширинама и јасно су потврдили, да дужина шеталице са сваком повећаном географском ширином бива све већа. Ако се као јединица узме дужина шеталице у Паризу (1,00000 = 994 mm), све остале дужине шеталица означиће се у односу према париској шеталици. За разлике у географским ширинама од 10°, добивени су у XVIII. столећу следећи резултати:

посматрач	место	географска ширина	дужина секундне шеталице
Bouguer	на екватору	0° 0′ 0″	0,99669
„	Порто Бело (Ј. Бразилија)	9° 32′ 56″	0,99689
„	Гоава (Острва Хаити)	18° 27′ 0″	0,99828
La Caille	Рт Добре Наде (Ј. Африка)	33° 55′ 16″	0,99877
Bouguer	Париз	48 50′ 2″	1,00000
Mallet	Петроград	59° 56′ 24″	1.00101
„	Понои (Лапланд)	67° 4′ 37″	1,00148

Прираштај у дужини шеталице од екватора до 67° је 0,00479 односно 4.79 mm.

На основу свих тих података *Лаплас* је добио за земљину спљоштеност вредност $\alpha = \frac{1}{335.78}$, која је сувише мала, јер у горње податке није унео потребне редукције, нарочито редуцирање на морски ниво.

Геодетска мерења у XIX. столећу.

Још много интензивније је рад на премеравању Земље настављен у прошлом столећу. У њему се обратила пажња и једном другом питању, о коме се до тада није водила брига. Мерења су вршена у главном дуж меридијана, јер се уопште веровало, да су степени дужине на истом паралелу једнаки. Али још *Ла Кацј* и *Д'Аламбер* су држали, да северна и јужна полукугла Земље не одговарају истом сфероиду. Према томе се показала потреба, да се врше и мерења дужинских степена, јер се с помоћу њих може доказати истински земљин облик.

С тога је на подстак *Лапласа*, у 1811 год., почето дужинско мерење од ушћа Гароне до Јадранског Мора код Ријеке, по 45° географске ширине, и у том раду су учествовале све заинтересоване државе. С друге стране су вршена премеравања на 52° сев. геогр. ширине, од Велике Британије до граница Сибирије.

Доцније је, на предлог *Бајера*, основано предузеће средњеевропског степенског мерења, 1861 год., коме су на брзо приступиле Шпанија, Португалска и Русија, и тада се претворило у удружење европског степенског мерења. Цела Европа је била преплављена мрежом троуглова. Шпањолска триангулација је била спојена са алжирском, а италијанска, из Сицилије, са Тунисом, с помоћу светлосних сигнала.

Прва конференција научењака одржана је у Берлину 1867. год. Доцније конференције су се састајале неколико пута у разним варошима. На париској конференцији, 1875. год., основан је међународан сталан биро за мере и дужине. 1883. год. је конференција у Риму решила питање о почетном меридијану и увођењу општег светског времена — Гринвички меридијан и време — [1]) и утврђено је, да незадовољавајућу дефиницију о морској висини не треба тражити у несавршености спомоћних средстава, него у факту, да сва мора немају исте нивоске површине.

Тиме су створене основе за модеран прецизијони нивелман. Првобитни циљеви су се сада знатно проширили. Предузећу су прилазиле и државе са других континената, у круг рада су ушли сви главнији проблеми геофизике и више геодезије. Кад су овом раду пришле Енглеска и Сједињене Државе (1886 год.) предузеће се претворило у удружење међународног мерења Земље.

IV Земља као геоид.

Са исто толико интензивности, као код геодетских мерења, показује се и интензивно усавршавање физичких метода рада, нарочито у прецизирању редукција и тачнијим подацима о земљиној спљоштености. Вредности су се све више гомилале око 1/296 до 1/300. С тога се могло очекивати, да ће се доцнији резултати све боље подударати, и што је већа прецизност у раду, да ће се боље поклапати са резултатима геодетских мерења. Али се догодило обрнуто. Показивала су се извесна одступања између једних и других мерења, за које се раније мислило да су рачунске грешке.

Међутим, физичке су се методе толико усавршиле, и рачунске грешке се свеле на минимум, да се од половине прошлог столећа све више учвршћавало мишљење, да Земља нема облик тачног, геометријског ротацијоног сфероида. Стекло се јасно уверење, да та одступања леже

---

[1]) види поглавље *Разлике у времену на разним местима Земље.*

у природи земљиног облика, и да неправилна подела разно густих маса у земљиној кори има велики утицај на облик математичне земљине површине. Пре свега долазе у обзир разлике између континената и океана.

Поремећаји теже. — Неједнака подела маса мора имати за последицу неједнаку величину теже на разним местима Земље. Још *Њутн* је прорачунао, да би полукружна планина, са три миље висине и шест миља ширине, скренула висак из вертикалног правца за 1′18″. *Буге* и *Ла Кондамен* су приликом премеравања у Перуанским Андима мерили ово скретање, под утицајем Чимбораса, и показали су, да се зенити удаљују на обе стране планине, т. ј. да се повећава разлика у ширинама, ако се планина пружа од Истока на Запад, или разлика у дужинама, ако је оријентирана од Севера ка Југу. С тога се почело избегавати, да се крајње тачке степенских мерења стављају у близину планина. Доцније је скретање виска доказано и код многих других планина. Тако је на пр. у Алпима скретање виска 12″ до 13.″ На јужној страни Кавказа висак скреће за 18·3″ од вертикалног правца, а на северној страни 35·7″. Утицај маса се често осећа и доста далеко од њиховог подножја у слабом скретању виска према тим масама[1]).

Појам о величини поремећаја теже добија се из упоређења астрономских и триангулацијоних мерења. То се може показати на примеру за Анде, где је премеравање вршила перуанско-боливијска гранична комисија. На платоу Пото био је почетак ширинског мерења, и претпостављено је, да на њему нема поремећаја теже, т. ј. померања виска, и да је према томе астрономска и триангулацијона ширина једнака. Даље разлике између астрономских и триангулацијоних вредности показују величину померања виска или т. зв. *дефлексију гравитације*. Добивени резултати су ово[2]):

место	висина	астрон. шир.	тринанг. шир.	разлика Δ
Пото	4637 m	14° 40′ 35.33″	—	—
Саки	4455	14° 30′ 33.7″	14° 31′ 4.24″	— 30.54″
Врх 43	2335	14° 18′ 32.8″	14° 18′ 49.76″	— 16.96″
Врх 44	1489	14° 1′ 2″	14° 1′ 14.58″	— 12.58″
Суток Ланза-Тамбопата	805	14° 0′ 48.6″	14° 1′ 3.15″	— 14.55″
Марте	435	13° 40′ 20.13″	13° 40′ 44·1″	— 23.97″

Из ових негативних вредности се види да је висак померен према Југу, т. ј. према снежном пределу и платоу пампаса.

С друге стране је *Сеги* 1842 год. указао на факт, да тежа, мерена секундном шеталицом, показује веће вредности на океанским острвима или оба-

[1]) Начин, на који се одређују скретања виска, изнесен је у одељку *Геофизике*, у поглављу *Земљина густина*.

[2]) *C. F. Close,* Gravity Deflexions in the Andes. — The Geographical Journal 1916, June, стр. 464—467; види и *R. D. Oldham, Gravity Deflexions in the Andes.* — The Georg. J., August, стр. 181—182.

лама него код станица у унутрашњости копна на истој географској ширини и под истим другим условима. Доцније је *Стокес* покушавао да одреди колико се морска површина диже на копненим обалама, под утицајем теже, и износи, да се у Европи диже за 36 m., у Северној Америци за 144 m., а у Јужној Америци за 172 m. изнад нормалног нивоа[1]). *Фе* је, опет, покушавао да на основу геолошких закључака докаже, да је под океанима хлађење Земље брже него под копном, и да је због тога земљина кора испод океана дебља. Океани, према томе, треба да имају већу привлачну снагу него копнени предели.[2])

Много раније је теоријски доказано, да тежа расте са квадратом синуса географске ширине ($g_\varphi = g_0 + k \sin^2\varphi$) и према томе би линије једнаке теже морале бити паралелне круговима географских ширина. Али је још у *Штајнхаузеровој* карти са линијама истих дужина шеталице (1876 год.) указано на знатна одступања од тога.

Појам геоида. — Сви ови разлози доводе до закључка да земљин облик одступа од ротацијоног сфероида. Чак ни морски ниво није прави представник идеалне земљине површине. Према тим разлозима је *Листинг* дао нов појам о земљином облику.[3]) Према њему би земљин облик имао ону нивоску површину, која би се добила у случају да су сви континенти у свим правцима просечени дубоким каналима, који непосредно комуницирају са свима океанима. Главна особина те водене нивоске површине је, да у свакој тачки стоји нормално на правцу теже и она је истински представник земљиног облика. *Листинг* ју је назвао *геоид*.[4]) Прави математичан облик земљине површине не да се лако изразити. Геоидска површина је неправилна и не може бити одређена никојом методом аналитичне просторне геометрије. Она је са свих страна искривљена, али тако, да према васиони никад не показује конкавну страну. Одступање геоида од сфероида види се из скице 30.

Скица 30.

Теоријски се геоидова површина не може никако представити; она се може добити једино из многобројних појединачних мерења. *Брунс* је у томе питању изнео јасно мишљење, да ниједна засебна метода није сама за себе довољна да по-

[1]) *Stokes*, On the Variation of Gravity at the Surface of the Earth. — Cambridge 1849.

[2]) *Faye*, Sur les variations séculaires de la figure mathématique de la Terre. (Compt. rend. de l'acad. franç. Vol. XC. 1880. стр. 1185—1191.).

[3]) *Listing*, Ueber unsere jetzige Kenntnis von der Gestalt und Grösse der Erde. „Nachrichten v. d. k. Ges. d. Wiss. zu Göttingen." — 1873.

[4]) према грчком γεοειδής = сличан Земљи.

каже земљин облик.[1]) Тачан појам о њеном облику даје тек заједнички рад астрономских, геодетских и геофизичких посматрања.

Прво приближење геоидном облику даје елипсоид, који мање више одступа од облика геоида. *Хелмерт* је пре неколико година одредио на геоиду три осовине.[2]) Прва је ротацијона осовина и њезин полупречник је b. На екватору има геоид две различите осовине. Ако је екваторијалан полупречник елипсоида a_0, биће

већи екват. полупречник геоида $a_1 = a_0 + 115$ m. са правцем 17^0 зап. дуж. Gr.
мањи „ „ „ $a_2 = a_0 - 115$ m. „ 73^0 ист. дуж. Gr.

Велика екваторијална осовина је управљена према Атлантику, а мала екваторијална осовина према Предњој Индији.

Одступања геоида од елипсоида не износе више од ± 115 m, и према томе *Хелмерт* закључује, да је земљин облик ближи ротацијоном елипсоиду, него елипсоиду са три осовине.

IV. Земљине димензије.

Пошто је геоид веома сличан ротацијоном елипсоиду, могу се с помоћу те сличности одредити и приближне димензије геоида, под условима које је поставио *Хелмерт:* 1.) ротацијони елипсоид треба да има исти волумен као и геоид; 2.) његово геометријско средиште треба да пада у тачку земљине теже; 3.) његова мања осовина треба да је једнака ротацијоној осовини Земље; 4.) сума квадрата удаљења код ротацијоног елипсоида и геоида треба да показује минимум. Такав елипсоид је *Хелмерт* назвао *земљин елипсоид.*

Димензије земљиног елипсоида. — У тежњи да се одреде димензије земљиног елипсоида чињени су многи покушаји, али без довољно успеха. Разлике у димензијама код разних научењака настајале су у главном услед разлика у материјалу, који је узет за основу прорачунавања.

Када се говори о земљиним димензијама у истини се говори о димензијама земљиног елипсоида. Опште је примљено, да се половина велике и мале земљине елипсоидне осовине означују са a и b, спљоштеност са e, а ексцентричност са ε. Спљоштеност означава разлику између половине велике и мале осовине, подељене са половином велике осовине, $e = (a - b) : a$. Ексцентричност се изражава формулом $\varepsilon = \sqrt{(a^2 - b^2)} : a$ и показује разлику између земљиног елипсоида и правог круга.

---

[1]) *Bruns,* Die Figur der Erde, ein Beitrag zur europäischen Gradmessung. — Berlin. 1876.

[2]) *Helmert,* Neue Formeln für den Verlauf der Schwerkraft im Meeresniveau beim Festlande. — Sitzber. d. Akad. d. Wiss. Berlin. XLI.—1915.

Први је одредио димензије земљиног елипсоида *Валбек* 1819 год., на основу дотадашњих радова, али чисто на математичној основи, без обзира на физичка посматрања.

Доцније је *Бесел* предузео теоријско испитивање о облику и величини Земље с помоћу методе најмањих квадрата[1]). За то је употребио резултате свога мерења у Пруској и резултате десет других степенских мерења, која је сматрао да су исто толико тачна као и његова. *Кларк* се бавио истим питањем у два маха. Прво дело му је изашло 1858 год., а 1880 год. је, на основу енглеског, француског, руског, скандинавског и индијског мерења, изнео нове константе. То су доскора били најбољи и најсигурнији резултати и употребљавају се још данас у свим научним делима. Главни резултати су ово:

	Bessel 1841.	Clarke 1858.	Clarke 1880.
спљоштеност	1 : 299,1528	1 : 294,979	1 : 293,5 ± 1.1
половина велике осовине	6377,39716 km.	6378,20651 km	6378,253 ± 75
„ мале осовине	6356,07896 „	6356,58388 „	6356,521 ± 14
екваторијалан квадрант	10017,596 „	10018,862 „	
1° на екваторијалном кругу	111,3066 „	111,3207 „	
меридијански квадрант	10000,85576 „	10001,887 „	
средњи меридијански степен	111,121 „	111,132 „	

Доцније је *Хелмерт*, 1901 год., понова прорачунао величину земљине спљоштености, на основу неколико стотина мерења дужине секундне шеталице на копну, и добио је вредност $e = 1 : 298{,}3 \pm 1{,}1$. Осим тога је из меридијанских и паралелских премеравања у Европи, Азији и Африци одредио величину екваторијалног полупречника са $a = 6378{,}192$ *km*.

С друге стране је *Хефорд* употребио најновије радове из Северне Америке и добио је ове вредности: за екваторијалан полупречник $a = 6378{,}388 \pm 35$, за поларан полупречник $b = 6356{,}909 \pm 72$. Те вредности је париска конференција астронома 1911 год. усвојила као нове константе за астрономска мерења и на основу њих је *Хелмерт* прорачунао друге елементе[2]):

спљоштеност . . . . . $e = 1 : 296{,}96 \pm 08$
дужина меридијанског квадранта . . $Q = 10\,002\,286 \pm 78$ km.
земљина површина . . . . $4R^2\pi = 510{,}1008 \pm 0{,}0071$ мил. km.^{2}

Велиш је с помоћу горњих, Хелмертових и Хефордових вредности, извео нове константе земљиног елипсоида[3]), дајући Хефордовим вред-

---

[1]) *Bessel*, Bestimmung der Achsen des wahrscheinlichen Rotations-Sphäroides der Erde. — Astronomische Nachrichten. 1841.

[2]) *R. F. Helmert*, Geoid und Erdellipsoid. Zeitschr. d. Gess. f. Erdkunde zu Berlin. 1913. стр. 17—34.

[3]) *S. Wellisch*, Neue Konstanten des Erdsphäroids. — Astronom. Nachrichten № 4822, CCI. 1915.

ностима четири пута већу важност него Хелмертовим, и препоручио је да се на основу њих прерачунају све географске ширине и дужине на Земљи. Његови резултати су ово:

половина велике осовине	a	=	6378,372 km
половина мале осовине	b	=	6356,896 „
разлика између обе	a—b	=	21,476 „
спљоштеност	e	=	1 : 297,07
квадрат ексцентричности	e^2	=	0.00672267
меридијански квадрант	Q	=	10.002,269 km

Ако се ови резултати упореде са Беселовим, видеће се, да је према новим вредностима дужина земљиног елипсоида око 1/7000 део већа, површина је за 1/3500 део већа, а волумен за 1/2000 део. Дужина екваторијалног полупречника треба да се повећа скоро за 1 km.

Спљоштеност и ексцентричност дају појам о облику земљиног елипсоида. Данас је тај облик много боље познат, јер стоје на расположењу око 3000 релативних одређења теже с помоћу разних апарата, тако, да физички резултати дају много сигурније вредности него степенска мерења. *Хелмерт* је на основу копнених посматрања теже понова прорачунао спљоштеност (1915 г.) и добио је вредност e = 1 : 297,7 ± 0,6[1]). *Хефордов, Велишев* и *Хелмертов* најновији резултат се врло добро подударају и према њима се може закључити да је земљина спљоштеност 1 : 297.

Однос земљине величине према мерама за дужине. — Са обимом земљине површине стоји у вези и постанак двеју географских миља. Пре више од четири столећа узети су извесни делови земљиног обима за веће јединке мера за дужине. Једна од њих је т. зв. *немачка географска миља*, која је тек у XVIII. столећу названа општим именом *географске миље*. Њезина дужина одговара петнаестом делу екваторијалног степена или дужини од четири екваторијална минута. Пошто је 1° екватора = 111307 m (према Bessel-овим вредностима), *дужина географске миље је* 111307 : 15 = 7420,4 метара.

Друга је енглеска *морска миља*, коју данас називају и „*geographical mile.*“ Њоме се још и данас рачуна у свим наутичким круговима, јер она одговара шесдесетом делу средњег меридијанског степена, или т. зв. степенском минуту средње ширине, и стоји у директним везама са метарским системом. Пошто је дужина средњег меридијанског степена 111121 m, дужина морске миље је 111121 : 60 = 1852 m.

Десети део морске миље је т. зв. *наутична дужина кабла,* 185.2 m. Морнари са Јадрана ју зову *уза* или *гумина.* — Основна морнарска мера

---

[1]) У Neue Formeln и т. д. 1915.

за дубине је т. зв. *хват* или у енглеском *„fathom“*. Дужина му је 1,828 m, која отприлике одговара 100-ом делу енглеске морске миље.

Димензије земљине кугле. — Величина земљине спљоштености пружа доказ да се земљин елипсоид не удаљује много од облика кугле. С тога се у већини практичних случајева, где се поступа елементарно, може елипсоид заменути куглом. У том случају је потребно да се нађе најпогоднији полупречник за ту куглу, јер је он основа за све даље рачунске операције. Земљином елипсоиду може најбоље одговарати кугла, која има исти волумен као и земљин елипсоид.

Пошто је волумен елипсоида $V_E = \frac{4}{3} a^2 b \pi$, а волумен кугле $V_K = \frac{4}{3} R^3 \pi$, треба да постоји однос

$$\frac{4}{3} R^3 \pi = \frac{4}{3} a^2 b \pi$$

и према томе је

$$R^3 = a^2 b, \quad \text{а } R = \sqrt[3]{a^2 b}$$

Полупречник те земљине кугле назван је *средњи земљин полупречник.* Према *Беселовим* димензијама он је дугачак 6370,283 *km*. Ако се средњи полупречник прорачуна из *Велишових* константа, дужина му се повећава скоро за један километар; $R = 6371{,}259$ *km*.

Површина круга се добија из четвороструке кружне површине према формули $4 R^2 \pi$, а волумен или запремина према формули $\frac{4}{3} R^3 \pi$.

Да између земљиног елипсоида и кугле не постоје сувише велике разлике види се и из дужине степена на разним паралелима или упоредницима, које су изнесене у приложеној таблици. Разлике не износе више од 0.1 до 0.2 km. Али ако се узме у рачун обим целога круга, показује се разлика од 36 до 72 km.

паралели географске ширине	дужина 1°		разлика
	на елипсоиду	на кугли	
0°	111,3 km.	111.2 km.	— 0.1 km.
20°	104,6 „	104.5 „	— 0.1 „
40°	85,4 „	85.2 „	— 0.2 „
60°	55,8 „	55.6 „	— 0.2 „
80°	19,4 „	19.3 „	— 0.1 „

У картографији се ова грешка може опростити, ако је слика природе врло смањена, бар на 1 : 500.000. Код топографских карата већих размера мора се рачунати са сфероидним вредностима. Осим тога се, у свим радовима, где се прорачунавају површине, увек мора полазити од сфероидних вредности. Код површина су разлике много веће, јер у рачун улази други степен земљиног полупречника.

Утицај земљине конфигурације на општи облик Земље. — На први мах би могло изгледати да разноликост облика на земљиној

површини, са изразитим висинским и дубинским разликама, може имати јачи утицај на општи облик Земље. Те разлике су у истине велике. Највиши планински врх Гаурисанкар (или Еверест) диже се 8839 m изнад морске површине. Највеће удубљење океана, источно од Филипинских Острва, стушта се до 9780 m испод морске површине. Нивоска разлика између та два екстрема је 18619 m.

Али, ма колико упадали у очи облици земљине површине, они су, према целој Земљи, веома мајушни. Кад би се могли посматрати с врло удаљених места, ти облици би потпуно нестали. Земљина површина би показала само незнатна одступања од теоријског земљиног облика. То је, међутим, сасвим јасно, кад се зна да је земљин полупречник већи од 6370 km. Горња разлика од 18.6 km стоји према земљином полупречнику у односу као 1 : 345. Сићушно зрнце песка на великом глобусу земље не би показивало јачу промену на облику глобуса, него што најизразитији облици земљине површине мењају њен општи облик.

Оријентација на земљиној површини.

Пошто Земља није равна, као што се у Старом Веку држало, мора се оријентација према хоризонту непрестано мењати. С тога је настала потреба да се и на Земљи установи оријентација, која је независна од места појединих посматрача. Али и за то су потребне извесне тачке или линије, којих на земљиној површини нема. То је разлог што су још у Старом Веку небесни кругови пренесени и на земљину површину. То пренашање се може учинити тим пре, што се Земља стављала у средиште небесне кугле.

Постанак географских координата. — Поред три постојећа оријентацијона система на небу, најзгоднији за примену на Земљи је систем екватора. Пошто је Земља у средишту небесне кугле, мора небесна осовина пролазити скроз кроз Земљу и њено средиште. На местима, где та идеална осовина додирује земљину површину, налазе се земљини полови. По своме положају је одређен и земљин екватор, јер раван небесног екватора просеца земљино средиште и дели ју на две једнаке половине, на северну и јужну полукуглу.

Сваки највећи круг, који пролази кроз земљине полове, одговара небесном меридијану, па се и на Земљи зове *меридијан* или *подневак*. Сва места која су на истом меридијану имају исто време, али на једној половине Земље, од северног до јужног пола, то време има дневне часове, док на другој половини Земље има одговарајуће ноћне часове.

Али, док је за мерења на небу почетан меридијан у пролетњој тачки, на земљином екватору нема истакнуте тачке, која би се могла узети за почетан меридијан. Према томе је избор почетног меридијана

на Земљи сасвим произвољан и тиме се може протумачити што се он више пута мењао. *Птоломеј* га је поставио на Канарска Острва, за која је држао да су оријентирана у правцу С — Ј. Средњи век је у главном рачунао са јерусалимским меридијаном, а доцнији картографи су га померали час на Азорска, час на Капвердијска, час на Канарска Острва. Да би се постигло јединство *Ришелие* је сазвао конгрес, и 1634. год. је решено, да почетан меридијан буде онај меридијански круг, који пролази кроз најзападније канарско острво Феро. На тај начин је принципијелно одређен међународан почетан меридијан, али тешкоћа је била у томе, што је био далеко од европских звездарница, те се њиме географске дужине нису могле тачно одређивати. С тога је у првој половини XVIII. столећа *Де л'Ил* (1720 год.) дошао на идеју да прогласи као почетан меридијан париски меридијан, који по њему лежи 20° источније од Фера, и ако је у истини још око 20 km источније. Немци су се, међутим, и даље држали ферског меридијана, а Енглеска и њене колоније су рачунале по гринвичком меридијану. — Тек од када је развијен модеран светски саобраћај осетила се потреба дужинске унификације и као почетан меридијан је опште примљен гринвички меридијан. Прорачунавања једних вредности у друге лако се могу чинити, јер је париски меридијан 2°20′14″ источно од Гринвича, а ферски око 17°39′46″ западно од Гринвича.[1])

Земљин екватор и гринвички меридијан су главне оријентацијоне линије на земљиној површини. Лучним удаљењем сваке поједине тачке од ових основних кругова одређен је положај те тачке. То су географске координате ширине и дужине. *Географска ширина* је удаљење сваког места од екватора, а *географска дужина* је његово удаљење од почетног меридијана.

Називи дужина и ширина потичу из Старог Века, када се прелазило од појма да је Земља плоча ка новијем појму о земљиној кугли. Екумена је добијала облик куглиног трапеза (в. ск. 31), који је много дужи у правцу З — И, него што је широк у С — Ј правцу. Зато се први правац и означавао *дужинама*, а други *ширинама*.

Скица 31.

Подела Земље у зоне и климате. — С погледом на привидно кретање Сунца по небу, могу се извесни кругови његове путање пренети и на земљину површину. *Етиус* у својим „Епитоме“ износи да су још *Талес* и *Питагора* делили Земљу на пет зона, али *Посидоније* тврди да је то учинио *Парменидас* (око 520 до 450 год. пре Хр.), поделом земљиних појасева према температурама. Ти појасеви су и на Земљи били

[1]) *Geographisches Jahrbuch XXIX.* 1906. стр. 462.

ограничени повратницима и стожерницима, и били су подељени на један тропски, два умерена и два поларна појаса или зоне. Али се веома дуго веровало да су само обе умерене зоне настањене, док се за тропску зону тврдило да је сажежен појас. Први, који је посумњао у ову тврдњу, био је *Страбон* (у I. стол. пре Хр.), а *Птоломеј* у својој „Географији" нарочито указује, да трговачких насеобина има и јужно од северног повратника. Па ипак је још до XV. столећа постојало веровање, да су тропски и поларни појасеви ненастањени, први због своје топлоте, а друга два због хладноће.

О становницима умерених зона постајала су три појма. Једни су били *антеки*, становници на истом меридијану, али на истој географској ширини друге земљине полукугле; други су били *перитеки*, становници на истој географској ширини, али на супротном меридијану (на удаљењу од 180°); трећи су били *антиподи*. Код њих су спојена оба појма; они су били на истој географској ширини друге земљине полукугле и на супротном меридијану. Појам о њима се добија из скице 32. У њој је круг $PMAP_1CBP$ меридијански круг. M је место посматрача на извесној географској ширини умерене зоне. Полукруг $PMAP_1$ је меридијан посматрачевог места, а полукруг $PBCP_1$ је супротан меридијан (на удаљењу од 180°). Линије MB и AC су исте географске ширине северне и јужне полукугле. Према томе су за становнике у месту M становници у A антеки, становници у B перитеки, а становници у C антиподи.

Скица 32.

Поделу Земље на климате поставио је вероватно *Еудокс* (око 409 до 356 год. пре Хр.), али је по њему појам климата био однос између дужине дана и ноћи у оном дану, кога Сунце има највишу кулминацију на дотичном месту. Према томе се говорило о климату од 13 часова, о климату од 16 часова и т. д. Доцније је овај појам примио и *Ератостен*, али је он додао чисто астрономском одређењу и физичко-географске моменте и дао отприлике онакав појам о климату, који одговара данашњем појму.

Мрежа паралелних и меридијанских кругова. — И ако је екватором и почетним меридијаном свака тачка на Земљи тачно одређена, ипак, на највећем броју географских карата, та два круга нису уцртана. Зато су још стари географи, при цртању географских карата, уносили систем спомоћних кругова, који се секу под правим угловима и којима је положај одређен екватором и полом. На земљи има *179 ширинских или паралелних кругова (упоредника)*, који се од екватора према половима смањују и на половима имају вредност нуле. Паралелни кругови се зову с тога, што су паралелни са екватором. Поред њих

има *360 меридијанских* или *подневачких кругова*, који полазе од полова и под правим угловима секу паралеле.

180-ти део меридијана је *један степен ширине* или *меридијански степен*, а 360-ти део паралела је *један степен дужине* или *паралелски степен*. Мерење географских ширина почиње од екватора и свршава на половима. На екватору је географска ширина 0^0, а на половима 90^0. Према томе се говори о мањим географским ширинама, које су ближе екватору, и о већим географским ширинама, које су ближе половима.

Мерење географских дужина почиње од гринвичког меридијана, па се рачуна до 180^0 на Исток и на Запад. Први су степени источне дужине, а други степени западне дужине. На гринвичком меридијану је географска дужина 0^0, а на супротном 180^0.

Иста мрежа паралелних и меридијанских кругова постоји, дакле, и на Земљи, као и на небесној кугли.

Удаљење места на сферној земљиној површини. — При оријентацији на хоризонту није тешко одредити удаљење двају места на Земљи. Ако се посматрач крене с једног места *A* и хоће да најкраћим путем доспе до другог места *B*, а да не мења правац, пут ће му бити означен азимутом и ићи ће правом линијом. Када би Земља била равна, био би угао између правца кретања (у овом случају линија *AB*) и између географских ширина увек исти и према томе би било $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$ (ск. 33.). Међутим, на округлој Земљи то није случај. Код округле Земље је најкраћи пут од места *A* до места *B* по највећем кругу, који пролази кроз та два места и кроз земљино средиште тако, да лук *AB*, на највећем кругу, одговара траженом удаљењу. Тај правац се зове *ортодрома*.[1] Али, при ортодромском правцу пловљења азимут се непрестано мења; он бива на примеру у скици 34. од мањих према већим географским ширинама све мањи тако, да је $\alpha > \alpha_1 > \alpha_2$. То је узрок што морнари радије узимају правац, који ће их непромењеним азимутом довести крајњем циљу. На тај начин они секу све меридијане под истим угловима и крећу се косим правцем. Тај правац означава *локсодрому*[2]. У том случају су углови од места *A* до места *B* исти, азимут је $\beta = \beta_1 = \beta_2$, али је лук *AB* дужи.

Скица 33.

Скица 34.

[1]) Према грчком ὀρθός = прав и δρόμος = ток, правац.

[2]) Према грчком λοξός = стрм, кос.

За места, која су на истом меридијану, локсодрома и ортодрома су исто; за удаљена места на истом паралелу, разлика им је највећа. Морнари под „правцем лађе“ (курс) увек мисле на локсодрому, па су и географи свикли да међусобан положај места на земљиној површини одређују по локсодромском правцу. С тога се каже за места, која су на истом паралелу, на коме је посматрач, да су источно или западно од њега, али то вреди само у локсодромском смислу, а у ортодромском смислу не вреди.

Та разлика има и значај за удаљење двају места. Морнари га увек схватају у локсодромском смислу, али географи у том случају мисле на најкраћи пут, т. ј. на лук највећег круга између та два места.

Док се узима да је Земља кугла, удаљења се могу прорачунати с помоћу сферне тригонометрије. У скици 35. је AA_1 земљин екватор, B и C су места чије се удаљење тражи, кружни делови PB_1 и PC_1 су меридијани тих места, PA_1 је почетан меридијан, а $BC = \Delta$ је тражено удаљење. Геогр. ширина места B је лук $BB_1 = \sphericalangle BOB_1 = \varphi_1$, а места C је лук $CC_1 = \sphericalangle COC_1 = \varphi_2$; геогр. дужина места B је лук $A_1B_1 = \sphericalangle A_1PB_1 = \lambda_1$, а места C је лук $A_1C_1 = \sphericalangle A_1PC_1 = \lambda_2$.

Скица 35.

Из сферног троугла ΔPBC може се добити следећа формула

$$\cos BC = \cos(90^0 - \varphi_1)\cos(90^0 - \varphi_2) + \sin(90^0 - \varphi_1)\sin(90^0 - \varphi_2)\cos(\lambda_1 - \lambda_2)$$

и даље

$$\cos \Delta = \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2)$$

Када се у овој формули прорачуна $\cos\Delta$, треба лук $BC = \Delta$ претворити у дужину, а то се може учинити према познатом односу, да удаљење двају места према земљином обиму стоји у правом односу лучног угла између та два места према 360^0, дакле је

$$BC : 2R\pi = \Delta^0 : 360^0$$

и

$$BC = 2R\pi \frac{\Delta}{360}$$

Тиме је лук BC изражен у метарском систему.

Појам хоризонта (видика) на сфероидној Земљи. — У поглављу о доказима за земљину округлину је указано, да се хоризонт са висином повећава и да је то могуће само код сфероидне Земље. Али, у томе случају видик има више значења. Те разлике у појму видика могу се графички најјасније протумачити (скица 36.). Нека је посматрач на планинском врху A, на висини h изнад морске површине; видик ће за њега бити ограничен кругом A_1A_2, и та површина је при-

родан хоризонт посматрача у A. Видик ће бити све већи што је веће узвишење и ближиће се све више прáвом хоризонту.

Скица 36.

Услед преламања зракова кроз атмосферу теоријски односи се мењају[1]). Око преноси предмете у правац онога дела зрака, који је до ока директно доспео, преноси га, дакле, у правац тангенте. С тога су предмети привидно пренесени на веће висине. Ако је посматрач на висини A, а предмети на земљиној површини ако су B, C, D, E и F (скица 37.), посматрач их због преламања зракова преноси у тачке B_1, C_1, D_1, E_1. Сви зраци AB, AC, AD и AE су конкавни према земљиној површини, а њихове тангенте су AB_1, AC_1, AD_1 и AE_1. Због преламања зракова и оптичке варке изгледа, да се предмети налазе на већим висинама и да су ближи тако, да земљина површина не изгледа конвексна (испупчена), него конкавна. То се нарочито опажа при пењању у ваздушним лоптама, а ређе на високим планинама: У место да се са удаљењем од Земље ивице хоризонта спуштају, оне се са посматрачем дижу, и хоризонт B_1B_1 привидно остаје увек у висини очију, а земљина површина добија облик шупље полукугле. С тога се овај видик B_1B_1 зове *привидан хоризонт*.

Скица 37.

Угао између равни привидног хоризонта и тангенте, која ограничава природан хоризонт, $\sphericalangle B_1AA_2 = x$ (ск. 36.), зове се *дубина видика* или *депресија хоризонта*. Ако је познат земљин полупречник R и висина h може се лако одредити и дубина видика као и даљина догледа.

Даљина догледа $AA_1 = AA_2$ добија се из троугла AOA_2 према следећој формули

$$\overline{AA_2}^2 = \overline{AO}^2 - \overline{A_2O}^2$$

$$= (R+h)^2 - R^2$$

$$\text{а} \quad AA_2 = \sqrt{R^2 + 2Rh + h^2 - R^2}$$

Пошто се оба R^2 униште, и пошто је h према R толико мало да нема значај за резултат, може се h^2 избацити и тада се добије приближна формула

$$AA_2 = \sqrt{2Rh},$$

[1]) Значај преламања је опширније изнесен у поглављу *Преламање зракова (рефракција)* стр. 61—63.

а пошто је $\sqrt{2R} = 3.57$ km

биће $AA_2 = 3.57\sqrt{h}$ (h у метрима).

Због преламања зракова потребно је урачунати и рефракцијони коефициент, $\kappa = 0.06$ до 0.07, и тада је

$$AA_2 = (1 + \kappa) \,.\, 3{\cdot}57\sqrt{h}$$

Даљина догледа се мора, дакле, повећати за 6 до $7^0/_0$, или AA_2 помножити са 1·06 или 1·07.

Код одређења *дубине видика* треба знати $\sphericalangle AOA_2$. Из ск. 36. се види да је $\sphericalangle AOA_2 = \sphericalangle B_1AA_2 = x$. Величина лука, који том углу одговара, може се приближно изједначити са тангентом $AA_1 = AA_2$. Према томе је $CA_2 = AA_2$, а пошто је $AA_2 = \sqrt{2Rh}$, биће и $CA_2 = \sqrt{2Rh} = 3{\cdot}57\sqrt{h}$. Ако је потребно да се та величина изрази у лучним минутима, мора се узети формула, по којој је један степенски минут $[2R\pi : (360 \times 60)] = 1852$ m

и према томе је $x = [(3{\cdot}57\sqrt{h}) : 1852] = 1{\cdot}926\sqrt{h}$ (у степ. мин.)

Пошто због преламања зракова угао постаје мањи $(1 - \kappa)$ треба са $(1 - 0{\cdot}065) = 0{\cdot}935$ помножити, и тада је права дубина видика

$$x = 1{\cdot}779\sqrt{h} \text{ (у степ. мин.)}$$

За сфероид су све ово само приближне вредности, али се за практичне сврхе могу увек употребити.

Напослетку, код сфероидне Земље постоји и трећи хоризонт. Он се добије на тај начин, ако се паралелна раван са привидним и природним хоризонтом провуче кроз земљино средиште. Та раван математички дели небо у једну видљиву и другу невидљиву полукуглу, а Земљу на две једнаке половине. Она означава *прави хоризонт* HH_1 у скици 36, који би се добио у случају кад би посматрач био неизмерно далеко од Земље.

Географско одређење места на Земљи.

Познато је да је положај сваке тачке у простору одређен трима координатама: дужином, ширином и висином.

Према величини земљиног обима, облици њене површине не одступају много од нивоске површине и с тога се правилан облик њене површине замењује са идеалном површином, која се може простом математичном формулом изразити. Ту идеалну површину земљине кугле означава ниво океанских пучина, продужен кроз све континенте. Али за такву површину је положај места одређен првим двема координатама: дужином и ширином.

Да би се географске дужине и ширине могле прорачунати, морају се вршити астрономска одређења места с помоћу небесних тела, наро-

чито на океанским пучинама где друге методе мерења нису употребљиве. На копну се, међутим, могу одређивати координате и геодетским мерењем углова и удаљења.

Али, за географа има нарочити значај мерење треће координате или висина. Његов задатак је да тачно зна баш неправилности земљине површине, које настају услед неједнаких висина, и да на основу тих неправилности изводи научне закључке. С тога је потребно изнети методе мерења за све три координате.

Пре него што се уђе у посматрање разних метода мерења, треба изнети општи значај преламања зракова или рефракције, која долази у обзир при свим научним мерењима.

Преламање зракова (рефракција). — Због неједнаких густина ваздуха, који је све тањи што су слојеви виши, зраци при проласку кроз ваздух подлеже преламању и одступају од свога правца. Око, до кога ти зраци доспу, одбацује их натраг у правој линији. Једино кад зраци долазе из зенита они нису преломљени и само се такви предмети виде на правом месту. У свим другим случајевима је сваки предмет на Земљи померен на друго место. Преламање зракова је такво, да је увек њихова конкавна страна окренута према земљиној површини, с тога се сваки предмет види на вишем месту. Што су зраци ближи хоризонту тим је преламање јаче и тим већма су предмети померени из правог правца.

То је главан узрок што при свима научним посматрањима морају бити унесене исправке услед преламања светлости.

Код астрономских посматрања зраци долазе са небесних простора, пролазе кроз све слојеве ваздуха и на целом путу се преламају. Ако се посматрају разни предмети на Земљи, зраци се ломе у самом ваздуху и преламање се догађа само у извесним слојевима. Између те две врсте преламања постоје само принципијелне разлике, али се ипак у првом случају говори о *астрономској рефракцији*, а у другом случају о *терестријској рефракцији*.

Да би се добио појам о *астрономској рефракцији* треба поћи од претпоставке да је ваздушна лопта састављена из концентричних кугала, и да је у свакој вишој кугли густина у истом односу смањена. Ако зрак долази са звезде L (скица 38.) он ће у тачки A доспети до горње границе ваздуха, у њој ће се преломити и поћи у правцу AB. Кад доспе до површине слоја B он ће се понова преломити и поћи у правцу BC и т. д. Око посматрачево из E одбациће га у правој линији и изгледаће му да зрак долази из тачке L_1.

Према *Снелиусовом* закону о преламању зракова биће односи за поједине границе слојева ови:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin a} = n_1, \quad \frac{\sin \beta}{\sin b} = n_2, \quad \frac{\sin \gamma}{\sin c} = n_3, \quad \frac{\sin \delta}{\sin d} = n_4$$

У тим формулама су n_1, n_2, n_3, и n_4 коефицијенти преламања; сви они су већи од 1 и према томе преломљена линија $LABCDE$ мора према земљиној површини да је конкавна.

Скица 38.

Ако се претпостави, што је у истини тачно, да је звезда L огромно далеко од посматрача у E, може се од тачке E повући паралелна линија са AL, дакле $EL_2 \parallel AL$ и сматрати да се обе скоро поклапају, т. ј. да су скоро иста линија. Пошто је са HH_1 означен хоризонт, биће $\sphericalangle L_2EH_1$ *права висина* звезде L, а $\sphericalangle L_1EH_1$ *промењена висина* звезде услед преламања зракова.

Пошто је $\sphericalangle L_1EH_1 > \sphericalangle L_2EH_1$, може се поставити правило, да рефракција повећава висине, а смањује зенитално удаљење. У почетку XIX. столећа је *Бредли* основао теоријску и емпиријску науку о преламању зракова, а доцније су томе раду приступили и многи други научењаци. Њиховим формулама је дата могућност да се из свих измерених астрономских координата елиминира утицај рефракције. Њезина величина расте од зенита, где јој је вредност нула, према хоризонту, као што се види из следеће таблице:

висина звезде	90° зенит	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	15°	10°	5°	3°	1°	40′	20′	0 хор.
рефракција	0″	10″	21″	34″	48″	1′ 9″	1′40″	2′37″	3′34″	5′16″	9′47″	14′15″	24′25″	27′70″	30′52″	34′54″

При одређењу места на земљиној површини долази у обзир само *терестријска рефракција*, јер се зраци преламају у одређеним слојевима ваздуха и не пролазе кроз целу ваздушну лопту.

Утицај терестријске рефракције се показује тако, што се права линија визирања AB (скица 39.) при проласку кроз ваздух претвори у благ кружни лук, чији су углови δ δ. Према томе посматрач са A види тачку B на висини B_1, јер је померена из свога правца за $\sphericalangle \delta$; посматрач из B види тачку A на висини A_1, јер је и она померена за $\sphericalangle \delta$.

Из скице се види да је линија AO земљин полупречник и да је према томе $AO = R$. Али кругу, чији је лук означен са AB, одговара много дужи полупречник. Ако се са крајњих тачака кружног лука AB повуку нормалне линије на ниже, оне би се секле у тачци O_1, која би

била средиште тог круга. Његов полупречник је $AO_1 = R_1$. Експериментално је доказано да је тај полупречник R_1 око осам пута већи од земљиног полупречника R. Према томе се из односа ова два полупречника добија *рефракцијони коефицијент ваздуха* к, према формули

$$к = R : R_1$$

Пошто је $R = 1$, а $R_1 = 8$ биће

$$к = 1 : 8 = 0{\cdot}125$$

Рефракцијони коефицијент ваздуха је, дакле, 0·125. Доцније ће се утицај терестријске рефракције показати и на примеру.

Скица 39.

Методе за одређење географских ширина.

Раније је изнесено, да је земљина површина подељена меридијанима и паралелима у мрежу сферних трапеза, и да су њене координатне осовине екватор и почетан меридијан.

Географска ширина извесног места M на земљиној површини може се дефинирати као меридијански лук између тога места и екватора, дакле лук MM_2, или за место N лук NN_2. (скица 40.) Али облик, у коме је дата горња дефиниција, не може се употребити у пракси, јер је она везана само за Земљу. Међутим, раније је показано, да између оријентације на небу и на Земљи постоје сличности и поклапања. Из тога поклапања се може извести правило, да је *географска ширина и поларна висина (или висина пола) истога места иста*, као што се из скице 41. јасно види.

Скица 40.

Скица 41.

У њој је $a\,p\,a_1\,a$ земљина кугла, а APA_1A небесна кугла. Средиште земљине и небесне кугле је O, p и P су земљин и небесни пол, aa_1 и AA_1 земљин и небесни екватор, а M је место на извесном меридијану на Земљи. Према томе је лук $Ma_1 = \sphericalangle MOa_1 = \varphi$, дакле географска ширина места M. Пошто хоризонт места M (HH_1) лежи нормално на линији, која је провучена од земљиног средишта кроз место M на зенит Z, поларна висина места M ће одговарати небесном луку $PH = \sphericalangle POH = \varphi$; поларна висина ме-

ста M је, дакле, једнака његовој географској ширини. Та једнакост излази из факта што су углови

$$\sphericalangle MOa_1 + \sphericalangle MOp = \sphericalangle HOP + \sphericalangle ZOP = 90^0$$

а пошто је $\sphericalangle MOp = \sphericalangle ZOP,$

мора бити и $\sphericalangle MOa_1 = \sphericalangle HOP = \varphi$

То је разлог што се одређења географских ширина увек чине с помоћу поларне висине места. За то одређење има више различитих метода од којих су најважније ове:

Метода циркумполарних звезда. — Метода циркумполарних звезда је још арапским астрономима била позната и њу су употребили за одређење географских ширина. Одређење помоћу те методе је веома лако. Ако је O место посматрача (скица 42), N и S ако је северна и јужна тачка хоризонта, а PO небесна осовина, тада ће се циркумполарна звезда L кретати у кружној линији око небесне осовине. Горња ће јој кулминација бити у тачки L_1, а доњу кулминацију ће имати у тачки L_2. Пошто је раван њене путање нормална на правац небесне осовине, пол ће лежати у средини између горње и доње кулминације звезде.

Скица 42.

Ако посматрач одреди углове горње и долње деклинације, може добити поларну висину свога места из формуле:

$$[(\sphericalangle L_1ON + \sphericalangle L_2ON) : 2] = \varphi$$

а то је и географска ширина места.

Дужину лука PN, или одстојање места од земљиног екватора, може добити из формуле $[(L_1N + L_2N) : 2] = PN$, ако узме у помоћ познату формулу $PN : 2R\pi = \varphi : 360^0$.

2. **Метода звезданих кулминација.** — Географска се ширина може одредити и са сваком другом звездом, ако јој је позната деклинација δ, т. ј. звездано удаљење од небесног екватора. Начин одређења је изнесен у скици 43. У њој је са AA_1 означен небесни екватор, са Z је означен зенит, а остале ознаке су исте, као у скици 42. У скици је кулминациона висина звезде изнад хоризонта $LS = h$, деклинација је $LA = \delta$, а поларна висина посматрачевог места је $PN = \varphi$.

Скица 43.

Пошто је $\sphericalangle PON = \sphericalangle ZOA = \varphi$, јер је $AZ + ZP = ZP + PN = 90^0$, јасно је да је лук $ZA + AS = 90^0$ и према томе је

$$AS = (90^0 - AZ) = (90^0 - \varphi)$$

Даље се види да је $(90^0 - \varphi) = (LS - LA) = h - \delta$

из чега излази да је $\varphi = 90^0 + \delta - h$

Морнари се најчешће служе овом методом, а за звезду посматрања увек узимају Сунце.

Поступак тога мерења је изнесен у скици 44., у којој је правцем AH означен посматрачев хоризонт. С помоћу инструмента са огледалом се одреди удаљење горње или доње сунчеве ивице од тангенте хоризонта. Али, пошто огледало под истим углом одбаци слику сунчеве ивице, добије се као резултат двострука висина те тачке. У скици је посматрана доња ивица Сунца, која са хоризонтом затвара угао $S_1AH = \alpha$, а угао који се покаже у огледалу је $S_1AS_2 = 2\alpha$. Тиме је добијена кулминацијона висина Сунца изнад хоризонта. Сунчева се деклинација нађе у астрономском алманаху и тиме је дат сав материјал да се поларна висина места на морској пучини може одредити. Али, у овај рачун се морају унети неколико разних корекција. Прво се мора мерење свести на сунчево средиште, осим тога се мора унети сунчева паралакса и напослетку утицај рефракције. Ипак то није тешко учинити јер се све те корекције налазе у таблицама за разна времена дана и године.[1])

Скица 44.

На примеру се поступак показује овако. Нека се посматрање врши 21. априла. Удаљење доње сунчеве ивице S_1 од њезине тачке у огледалу S_2 показује угао од $110^0 17' 30'' = \sphericalangle S_1AS_2 = 2\alpha$. Сунчева висина је према томе $h = 110^0 17' 30'' : 2 = 55^0 8' 45''$. Тога дана је сунчева деклинација $\delta = +\ 11^0 34' 12''$, сунчев полупречник је $15' 56''$, паралакса $8.''_{80}$, а рефракција $1' 40''$. Сада се од сунчеве висине одузме износ рефракције, а дода се величина паралаксе и полупречника, дакле

$$55^0\ 8' 45'' - 1' 40'' + 8.''_{80} + 15' 56'' = 55^0\ 23' 9.''_{80}$$

То је величина за h. Ако се од ње одузме деклинација добије се комплементаран угао за φ. Дакле је

$$h - \delta = 55^0 23' 9.''_{80} - 11^0 34' 12'' = 43^0 48' 57.''_{80} = (90^0 - \varphi)$$

и према томе је географска ширина тога места на морској пучини

$$\varphi = 90^0 - 43^0 48' 57.''_{80} = 46^0 11' 2''_{20}$$

3) **Метода мерења сенке.** — Ова метода је принципијелно истог значаја као и горња метода. Она се нарочито употребљава кад нема при руци никаквог астрономског инструмента. У том случају је потребан само *гномон*. С помоћу њега треба одредити најкраћу сенку, која

---

[1]) Величина сунчевог полупречника је изнесена у поглављу о *карактеристици планетарних путања*, величина сунчеве паралаксе код *мерења удаљења небесних тела* (метода планетарних пролаза), а величина рефракције на стр. 62.

настаје при сунчевој горњој кулминацији и која означава правац меридијана на том месту.

Правац меридијана се може одредити овако: На хоризонталној површини HH_1 уцрта се један круг. У његово средиште C треба углавити гномон CD, усправно на површину HH_1. (Скица 45). Тада треба на обиму круга означити тачке у којима га врх гномонове сенке додирује.

Скица 45.

Када се Сунце налази на висини S_1, врх сенке ће додирнути обим круга у тачци A. После извесног времена Сунце ће се попети до тачке S_2, а врх сенке ће у том тренутку пасти у унутрашњост круга, у тачку N_1. То је тренутак сунчеве кулминације кад је сенка најкраћа. После извесног времена Сунце се спусти до тачке S_3, а врх гномонове сенке додирне обим круга у тачци B. Од S_1 до S_2 прође исто онолико времена колико од S_2 до S_3. Ако се, дакле, права линија AB преполови, добиће се правац Севера. Линија CN_1 означава, према томе, подневачку линију или правац меридијана.

Када је одређен врх сенке при сунчевој кулминацији, може се одредити и висина Сунца h, јер је дужина сенке $CN_1 = l$, а дужина гномона $CD = d$. Те две дужине показују овај однос:

$$tang\ h = d : l$$

Логаритмичким рачуном се одреди вредност h. Поларно одстојање Сунца је $(90^0 - h)$, а пошто је оно једнако географској ширини и она је тиме одређена.

4. Метода Horrebow—Talcott-a. — На ову методу мерења је указао Данац *Хоребов* још у XVIII. столећу, али се њоме почело више служити тек кад је Американац *Талкот* изнео њезине предности. У досадашњим методама увек су се мериле поларне висине, или њихови комплементарни углови, т. ј. зенитална удаљења. *Талкот* се, међутим, приликом премеравања америчких обала, задовољио да их одреди разликом између два зенитална удаљења двеју циркумполарних звезда, од којих једна кулминира северно, а друга јужно од зенита. За ова одређења је удешен нарочити апарат, т. зв. зениталан телескоп. Зенитално удаљење звезда мери се микрометром, а телескоп је тако удешен, да се може померати чак према зениту. Осим тога је у пољу догледа један покретљив кончић, који са утврђеним кончићем остаје увек паралелан.

За посматрање се узму две звезде, које су по могућству на истом небесном меридијану и које су што ближе зениту. Према томе је њихова деклинација веома блиска вредности φ.

У скици 46. је кружни лук PLM небесни меридијан на коме су звезде L и M. Обе су у близини зенита Z. Горња кулминација звезде L је у тачци L_1, а звезде M у тачци M_1. Према томе је деклинација звезде M означена са $\sphericalangle M_1OA = \delta_1$, а деклинација звезде L је $\sphericalangle L_1OA = \delta_2$. С помоћу покретног кончића се одреди зенитално удаљење звезде M, дакле лук $M_1Z = z_1$ и зенитално удаљење звезде L, т. ј. лук $L_1Z = z_2$.

Скица 46.

Из скице се види да је $z_1 = (\varphi - \delta_1)$ и да је $z_2 = (\delta_2 - \varphi)$ [1])

Према томе је

(1.) $\varphi = z_1 + \delta_1$

(2.) $\varphi = \delta_2 - z_2$

Ако се саберу формула (1.) и (2.) добиће се:

$$2\varphi = z_1 + \delta_1 + \delta_2 - z_2$$

и тада је (3.) $\varphi = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) + \frac{1}{2}(z_1 - z_2)$

Ако је γ угаоно удаљење оба положаја покретног кончића при мерењу кулминација звезде M и L, свакако је $\gamma = \frac{1}{2}(z_1 - z_2)$ и према томе је

$$(4.) \quad \varphi = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) + \gamma.$$

5. **Метода с помоћу мерења времена.** — Једна од најстаријих метода за мерење поларних висина почива на мерењу видљивог сунчевог лука, т. ј. оног времена за које је Сунце изнад хоризонта. Изгледа, да се већ *Еудокс* служио овом методом, а њоме се и доцније служило, јер је врло једноставна. За њу је потребно само тачно одређење времена, осим тога да је позната деклинација Сунца или ма које звезде за онај дан кога се чини посматрање.

При овом мерењу треба утврдити тренутак сунчевог рађања и захода, или изласка и заласка ма које звезде, и одредити разлику у времену, T. Она је пропорцијонална дневном луку т. ј. $2t_0$, који је са географском ширином везан геометријском формулом

$$tg\,\varphi = -\cos t_0 \; cotang\,\delta \qquad \text{(в. стр. 20)}$$

---

[1]) За звезду L нису унесене вредности јер би скица била претрпана и не би била довољно јасна. Али се може повући права линија L_1O и тада ће се видети да $\sphericalangle L_1OA = \delta_2$, лук $ZL_1 = z_2$ и да је $z_2 = \delta_2 - \varphi$.

У њој је φ геогр. ширина, t_0 часовни угао, а δ деклинација. Ако се унесу потребне корекције (рефракција, полупречник и паралакса) добију се прилично тачне вредности.

II. Методе за одређење географских дужина.

Географска дужина означава екваторијалан лук између тачке почетног меридијана и тачке у којој се меридијан места сече са екватором. Према томе су географске дужине за места M и N (у скици 40. стр. 63.) A_2M_2 односно N_2A_2. Али, пошто сви делови паралелних кругова између два иста меридијана имају исте углове, и ако су им дужине различите, ($\sphericalangle M_2PA_2 = \sphericalangle MPM_1$ или $\sphericalangle N_2PA_2 = \sphericalangle NPN_1$), може се као географска ширина узети и лук паралелног круга од места M или N до почетног меридијана, дакле M_1M односно N_1N.

Проблем одређивања географских дужина своди се на одређење времена. Пошто је привидно дневно обртање небесне кугле једнолико, без убрзавања и успорења, и пошто се звезда са небом у току дана једанпут обрне, може се поставити правило: *Дужинска разлика између два места на земљиној површини стоји у правом односу са разликом њихових локалних времена.* Потврду тога даје позната формула: Ако се дужинска разлика од места M до места N (скица 40) означи са $\sphericalangle MPN = \lambda$ а њихово линеарно, меридијанско удаљење означи са луком $M_2N_2 = \Delta$ у часовима, добија се однос

$$\lambda : 360^0 = \Delta : 24^h$$

Према томе је $$\lambda = \frac{360\,\Delta}{24} = 15\,\Delta^0$$

И за одређење географских дужина има већи број различитих метода, али за географа су најважније методе с помоћу локалних времена.

1. **Метода с помоћу сигнала.** — Најједноставније се може одредити разлика у географским дужинама ако се посматрања чине са две истакнуте тачке, са којих се могу видети места A и B. Тада посматрач из A да светлостан сигнал посматрачу у B, и оба истовремено, кад је светлост пуштена, одреде на својим часовницима локално време. То се врши неколико пута у краћим размацима. Затим посматрач из B даје сигнале посматрачу у A, и опет се увек бележе локална времена. Када се добијени резултати упореде, и из свих опажања изведу средње вредности, разлика у времену ће дати разлику у географској дужини. Ту методу су употребили *Пикар* и *Ремер* још 1680 год. при одређењу географских дужина у Данској.

2. **Метода телеграфисања.** — Проналаском електричних телеграфа и подморских каблова локално се време са једног места могло врло брзо преносити на друго врло удаљено место. *Вилкес* је још 1844

год. указао на предност телеграфске методе и она се од тада почела свугде примењивати. Та метода је била тим више за препоруку, што је брзина пропагације галванског надражаја једнака брзини светлости. Ако се са станице *A* телеграфски јави локално време t_1, и ако је у том тренутку на станици *B* локално време t_2, временска разлика између та два места ће бити, према оријентацији Истока и Запада, $\pm (t_1 - t_2)$. Али, једно једино одређење није довољно, јер тиме тачност није постигнута. С тога астрономи на видном пољу својих меридијанских телескопа поставе на истим удаљењима исти број паралелних кончића (скица 47.) и са два разна места *A* и *B* посматрају једну исту звезду и тренутке њене кулминације, кад она пролази кроз сваки од тих паралелних кончића. У сваком тренутку проласка звезде кроз кончић посматрач у *A* да на електричном хронографу сигнал посматрачу у *B*. Ови апарати су толико савршени да дају разлике и у разломцима секунада. Али, да се и грешке, које потичу од личног посматрања, избаце, посматрачи се мењају. Посматрач са станице *A* долази на посматрање у станицу *B*, а посматрач са ове станице одлази у станицу *A*.

Скица 47.

3. Хронометарска метода. — Још из Средњег Века потиче метода хронометарског одређења географских дужина. Холанђанин *Гема Фризиус* је 1530 год. указао, да се часовницима, који су у то доба пронађени, може решити проблем о одређењу географских дужина.[1]) Полазећи од претпоставке, да часовник у истом тренутку дана показује увек исто време, *Фризиус* је дошао до закључка, да ће часовник у месту *A* показивати у подне време t_1, а у исто доба ће на месту *B* показивати t_2, јер је сунчева кулминација на томе месту за $t_1 \pm t_2$ раније или доцније.

И ако је ова метода била теоријски тачна, она није пружила оно што се од ње очекивало. Чак и онда, кад је *Хаигенс* (око 1660 год.) поставио теорију о часовнику са шеталицом, часовници су и даље остали несавршени. Али после 70 год., када је енглески парламент одредио награду од 20 000 фуната за конструкцију тачног часовника, који ће на морском путу од 60 дана дати у географској дужини грешку највише за 30', *Харисон* је после многобројних покушаја створио први хронометар 1749 год. У њему је био елиминиран утицај температурних промена. Његов хронометар је на путу од Портсмуса до Барбадоса (острва у Малим Антилима) показао грешку од 43 сек. и он је добио половину награде, јер је испунио већину услова. Доцније га је непрестано побољшавао и отштампао принцип свога „time-keeper"-а (чувар времена)[2]).

---

[1]) *Gemma Frisius*, De principiis astronomiae et cosmographiae. — Antwerpen.

[2]) *Harrison*. Principles of Time-Keeper. — London 1767.

Од тада је часовничарска уметност прошла кроз много тешкоћа док нису пронађени прецизни хронометри, који не показују никакав поремећај ако се наизменично мећу у кључалу и ледену воду. С помоћу њих се могу вршити веома детаљна одређења географских дужина.

Али при одређењу дужина на океанској пучини било је све до скора готово немогуће да се употребе методе локалних времена. На њој се морнар мора ослањати о небо и једино астрономским посматрањем могу се добити тачне разлике у географским дужинама, било да се ослања на астрономско мерење времена, било да се упоређују појаве на небу са хронометрима. И само небо пружа довољну могућност да се с помоћу светлости, односно помрачења, одређују разлике у географским дужинама. Та помрачења се виђају на Сунцу, Месецу и на планетарним месецима.

Принцип свих астрономских метода за одређење географских дужина своди се на ово: Једна иста звезда кулминира на два разна меридијана у разна времена дана. Ако се унапред прорачунају постепени положаји звезда у времену почетног меридијана (Гринвича) и унесу у астрономске алманахе, онда ће морнар у сваком тренутку знати координате звезде (њен положај на небу) у гринвичком времену. Ако морнар на непознатом меридијану морске пучине одреди координате исте звезде, знаће да прорачуна одговарајуће време у Гринвичу, и пошто му је познато локално време, одредиће из разлике у времену и географску дужину.

Тај принцип се у пракси употребљава на више начина, с помоћу апсолутних координата: ректасцензије, деклинације, астрономске дужине и ширине, или с помоћу диференцијалних координата, као што је удаљење Месеца од звезда или од планета, т. зв. лунарне дистанције, које се много чешће употребљују јер се лакше елиминирају различите грешке. Најважније астрономске методе су ово:

4. **Метода месечевих помрачења.** — Ова метода је најстарија од свих метода за одређење географских дужина. *Хипарх* је први указао да се помрачења Месеца могу употребити за одређење географских дужина, али тек *Клаудиус Птоломеј*, у првој књизи своје „Географије“, износи ову методу, с помоћу које је одредио разлику у географским дужинама између Картагине (на СИ. врху Африке) и Гаугамеле (данашње Арбеле у Асирији, ЈИ. од Ниниве).

Тренутак, у коме земљина сенка падне на Месец, исти је на целој Земљи, и према томе, кад се са два разна места посматра почетак или свршетак помрачења, они ће показивати разлике у времену. Та разлика у временима означава уједно и разлику у географским дужинама. Ако два посматрача на разним меридијанима у тренутку почетка помрачења забе-

леже локално време, временска разлика ће бити пропорцијонална разлици између географских дужина.

У Картагини је помрачење Месеца почело око 2 часа по поноћи, а у Арбели око 5 часова. Пошто разлика од 3 часа одговара разлици од 45^0, *Птоломеј* је закључио да је разлика у географским дужинама 45^0. Ово одређење је било и сувише смело, јер је дужинска разлика у истини тек 34^0 или $2^h\ 16^m$.

Сигурнија су се одређења могла чинити тек много доцније, када су облици месечеве површине изнесени у фотографијама. Од тада се могао рачунати почетак помрачења од оног тренутка кад врх одређене планине на Месецу почне да се помрачује. *Рише* је на тај начин још 1672 године одредио да је Кајена $54^0\ 30'$ западно од Париза[1]) и вредност му одступа од истине само за $10'$.

5. **Метода сунчевих помрачења.** — Сунчевим помрачењима се могу такође одређивати разлике у географским дужинама, али је том методом много теже њихово прорачунавање. Пошто је Месец, у односу према Сунцу, несрављено ближи, месечеви пролази преко сунчеве плоче неће се са свих места на Земљи истовремено видети. Почетак сунчевог помрачења падаће на разним местима у разна времена и с тога су формуле овог прорачунавања много компликованије. То је разлог што се овом методом почело служити тек у Новом Веку.

Кеплер је методом сунчевих помрачења одредио разлику у географској дужини између Граца и Ураниенбурга, чију географску дужину је раније одредио *Тихо Брахе*. Крајем XVII столећа је *Доминико Касини* посматрао ово питање са методског гледишта и на основу својих резултата је одредио географске дужине неколиких вароши у Немачкој. Доцније се ова метода у пракси мало употребљавала и с тога је за географа од мање важности.

6. **Метода месечевих кулминација.** — У Средњем Веку су се разни научењаци бавили мишљу, да разне дане у години, у којима Месец кулминира на меридијану места, бележе у таблицама. Када се упореде временске разлике између месечевих кулминација на два разна места, добиће се разлика у географским дужинама. Али Месец није непомична звезда. Он показује изразито ректасцензијоно кретање, које треба одредити. У астрономским алманасима се могу наћи вредности, колико се Месец помери у одређеном дану у противном правцу од небесног кретања.

Ако је у месту A време месечеве кулминације t_1, а у месту B време t_2, могла би се разлика у географским дужинама изразити формулом $\pm (t_1 - t_2)$, према томе да ли је место B источно или западно од места A. Али то би се могло учинити само у случају да се Месец креће као и звезде

[1]) *Jean Richer*, l. c.

Пошто се Месец за то време померио на небу у луку, који одговара $\measuredangle \alpha$, временска разлика ће бити $\pm (t_1 - t_2) : \alpha$.

Овом методом се први послужио познати испитивач поларног предела *Бафин*, 1612. год., када је хтео да према Лондону утврди место на коме му се замрзла лађа у леду. Грешка му је износила свега 1^0, што је за оно време било веома тачно.

7. **Метода помрачења планетарних месеца.** — Већина планета нашег сунчаног система има своје месеце, као и наша Земља. Сунчевим помрачењима се тешко врше мерења, месечева помрачења се јављају само на једном појасу Земље, тако, да се ове методе тешко могу применути на целу Земљу. Планете су, међутим, толико удаљене, да се помрачења њихових месеца виде истовремено са целе Земље. Али опажање месеца код планета је већином веома тешко; да би се могли опазити потребни су врло јаки телескопи. Једино се Јупитерови месеци виде и обичним телескопима.

Галилејево откриће Јупитерових великих месеца (1610. год.) и њихова помрачења пружила су прво практично и тачно астрономско средство за одређење географских дужина на Земљи. Али, пре практичне употребе, било је потребно да се унапред прорачунају сва будућа помрачења. То је учинио *Доминико Касини* (1661 год.) и кретања Јупитерових месеца изнео је у таблицама. Тиме је дата могућност за примену ове методе и од тада су настале многе експедиције ради одређења географских дужина тако, да су за кратко време нестале са географских карата многобројне грешке којих је до тада било.[1])

Овом методом је одређење географских дужина постало толико сигурно као и одређење географских ширина.

III. Геодетско одређење географских координата.

Поред астрономских и физичких метода за одређење географских координата, постоји и геодетска метода, о којој је у ранијем излагању нешто опширније говорено.

Геодетска одређења координата врше се на континенталним деловима земљине површине. За мања, локална мерења увек се може узети да је Земља равна. Али, то вреди само за предео од 100 км² или за круг са полупречником од 5 км. Код свих осталих мерења улази у рачун и сфероидан земљин облик.

На видику је положај свакога места одређен азимутом и правим удаљењем. То је поларан координатан систем, у ком је меридијан осовина. Код одређења места на Земљи, као целини, узимају се правоугаоне

---

[1]) У источним деловима Азије било је грешака до 27^0.

координате X и $У$. (скица 48.) У том систему X означава правац меридијана или правац С — Ј, а $У$ правац паралела или оријентацију И — З. $+X$ је окренуто Северу, $-X$ је окренуто Југу, $+У$ означава источни правац, а $-У$ западни правац.

Скица 48.

Натрашке

Ако је посматрач на месту O, а известан удаљен предмет на месту A, тада је $\sphericalangle XOA = \alpha$ азимут или угао правца, а $AO = d$ право удаљење предмета A од посматрачевог места или од нуле координатног система.

Према томе је $\frac{x}{d} = \cos\alpha$, а $\frac{y}{d} = \sin\alpha$

и тада је $x = d\cos\alpha$, а $y = d\sin\alpha$.

Ако је географска ширина и дужина места O позната, може се према овим формулама одредити и географска ширина места A, коју означава величина x, као и географска дужина, коју означава y. Те вредности се имају додати односно одузети од координата места O.

Геодетским се премеравањем може прећи преко почетног природног видика, али само до удаљења где се правци појединих предмета могу бар угловима одредити и везати са одређеним тачкама. Тако се могу одредити и координате неприступачних места преко мореуза или планинских врхова, до удаљења од 300 км.

Главна разлика између геодетског и астрономског одређена места је у томе, што се код геодетских метода мора прво измерити удаљење два места на Земљи, па тек онда, с помоћу одређења углова, прорачунавати положаје других места, на дугом ланцу повезаних станица.

Триангулација. — Метода геодетског мерења је *триангулација.* Главна идеја тог принципа је изнесена напред, у поглављу о *Снелиусовој методи триангулације.*[1]) Први, најтежи и најзаметнији посао целе триангулације је одређење базе или основне линије. Дужина ове базе може бити различита, али није већа од 5 до 10 километара.

Раније је изнесена предност *Бординог* система биметалних летава, с помоћу којих се мери триангулацијона база.[2]) Али тај систем има и непогодности, прво, што је платина веома скупа, а осим тога, што рад веома споро напредује, највише 300 метара на дан. С тога је *Једерин*, проф. политехнике у Штокхолму, 1885 год. предложио, да се мерења базе не врше кратким и тешким летвама, него дужим и лакшим металним жицама, које су увек једнако затегнуте; једна од њих је од челика, а друга од месинга. Али су и те жице веома осетљиве на промене спољашњих

[1]) в. стр. 34—35.

[2]) в. *Мерење париског меридијана и постанак природних мера за дужине,* стр. 45.

температура и не дају сигурне резултате. *Гијом* (Guillome) је доцније пронашао *инвар*, смесу од 64% гвожђа и 36% никла. Жица од инвара се под утицајем топлоте 10 пута мање растеже него платина, а 20 пута мање него месинг. Она има и друге предности јер слабо оксидира, мека је, хомогена и није много скупа, а што је најважније за сат се може премерити са десет помагача дужина од 500 метара. Таква жица за мерило има већином дужину од 24 m. и на крајевима је затегнута теговима од 10 kg. али се за мерења преко река узимају и жице од 200 m. дужине. Њима се врше модерна премеравања база и њима је одређена триангулацијона база при најновијим премеравањима на Шпицбергу, у Перуу, Северној Америци и Африци.

Сферни ексцес. — Триангулацијона прорачунавања нису тешка док се узима да су троуглови равни. Али Земља има сфероидан облик и свака страна троугла је крива линија. Сума углова у сферном троуглу је с тога увек већа од 180°. Тај претек или сферни ексцес на површини од 3.5 км² одговара једној степенској секунди (1″).

Осим тога, ни крајње тачке ових троуглова нису на истом нивоу и увек се морају редуцирати на један исти ниво. Због тих многобројних разних редукција и због тешкоће око прорачунавања, рад тачне триангулације је веома отежан. То је узрок што радови геодетских премеравања трају више десетина година.

Фотограметрија. — У новије време се одређења висина врше с помоћу *фотограметрије* или фотографских снимања истог предела са разних места. Тада се према геометријским формулама могу утврдити положаји удаљених и неприступачних тачака.

Досадашњим излагањем је у главном речено све о географском одређењу места, у колико је то за географа потребно. Ипак се мора додати, да раније дефиниције географских координата не вреде за сва места. У њима се полази од претпоставке, да су сва места на Земљи на морском нивоу, међутим то је редак случај.

Осим *угаоних координата*, које су до сад одређене, долазе у обзир и *линеарне координате*, т. ј. удаљење места од земљиног средишта. То удаљење одговара двема вредностима: земљином полупречнику и висини места изнад или дубини испод морског нивоа. Према томе се та вредност додаје земљином полупречнику или се одузима од њега. Начин о одређењу земљиног полупречника изнесен је раније, а у даљем излагању ће се изнети методе о одређењу висина.

IV. Методе за одређење висина.

За одређење треће координате или апсолутне висине извесне тачке на Земљи има неколико разних средстава. Апсолутна висина се може

одредити директним мерењем, ако се на планинском нагибу одреде висинске разлике појединих делова и сви ти делови се сумирају. Може се поћи од једне раније одређене тачке и од ње мерити извесни углови, из којих ће се моћи прорачунати висина. Висина се може прорачунати и с помоћу дужине барометарског стуба, јер се зна, да она са висином, према извесном закону, опада. Напослетку, може се употребити и течност, одређивањем тачке врења, јер и њезина температура са висином опада.

Према избору ових средстава добијају се разне методе: метода нивелмана, тригонометријска, барометарска и термометарска метода за мерење висина.

Код прве две методе је главно спомоћно средство теодолит, с тога је потребно да се прво изнесе принцип теодолита.

Теодолит. — Теодолит је телескоп са преломљеном призмом. Ту измену на телескопу унео је *Рајхенбах*, 1815 год., да би се посматрања могла лакше вршити, јер иначе би покрети главе били веома отежани. Од тада је теодолит постао најглавнији и општи инструмент за сва геодетска мерења. Етимологија теодолита је несигурна, као год и време када је тај назив постао.[1]) Теодолит је у главном веза између два круга, од којих један лежи хоризонтално, а други у вертикалном положају.

Пресек догледа на теодолиту показује скица 49. На горњој површини догледа, на равни AB је окулар, а на равни CD требао би да је објектив. Али, да би се мерења олакшала, унесена је у унутрашњост догледа призма PRQ тако, да су странама догледа AB и BD окренуте две једнаке стране призме, које стоје под углом од 90^0, док су два друга угла једнака, сваки по 45^0. Светлостан зрак са тачке L подлегне на површини призме PQ тоталној рефлексији и под углом од 90^0 скрене на површину RQ. Према томе се посматрачу у O зрак из тачке L показује у тачци L_1; окулар је, дакле, пренесен у правац O.

Скица 49.

Шематска слика теодолита је овака (ск. 50): На подножју теодолита pp има три ослонца са шарафом. Са ослонца се диже вертикална осовина t, о коју је учвршћен хоризонталан круг aa_1, а на његовој ивици је унесена степенска подела. Са овим кругом је концентричан круг bb, који је у истој равни hh као и круг aa_1. Али, овај круг bb је покретан на све стране у хори-

[1]) Појам *теодолита* је вероватно постао из грчких речи: θέα = моћ виђења, визирање, ὁδός = пут, и λίτος = раван.

зонталном правцу и обрће се око осовине *cz*. На крајевима тога круга, на растојању од 180⁰, унесене су две *нониј*е, да би се добили што тачнији резултати.[1])

Скица 50.

На покретан круг *bb* учвршћене су две ручке *dd*, о које се ослања хоризонтална осовина *ee*. Та осовина је паралелна равни *aa*, односно равни *hh*. Око осовине *ee* покреће се доглед *o* у свима правцима, од зенита до надира. Да би се и у тим правцима могла чинити тачна мерења, учвршћен је на крају осовине *e* вертикалан круг *g*. Он је прорезом кроз средиште везан са догледом *o* тако, да се истовремено помера са њим за исти угао. На ивици вертикалног круга *g* је такође степенска подела, која показује висинска удаљења од 0⁰ до ± 90⁰. И крај тога мерила је нониус, опет ради прецизнијег мерења, али он је на овом месту непокретан.

И код вертикалног и код хоризонталног мерила су изнад нонија постављени микроскопи, да би се могле утврдити и најмање разлике.

---

[1]) *Нониус* је апарат за мерење разломака степенске поделе. Тај апарат је добио своје име по португалском геодету *Nunez-у*, латинизирано у *Nonius*. У скици 51, а је *AB* део степенске поделе чија је дужина $= n$. Исту дужину има и нониус A_1B_1. Али док је део *AB* подељен на пр. на 6 делова, нониус је подељен на један део мање или више, дакле на $(n+1)$ или $(n-1)$ делова, у овом случају на 7 делова.

Скица 51.

Ако је l дужина једног дела степенске поделе, а l_1 дужина једног дела нониуса, онда је

$$nl = (n \pm 1)l_1 \quad \text{и} \quad l_1 = \frac{nl}{n \pm 1}$$

Ако је при мерењу положаја крај нониуса A_1 пао у тачку степенске поделе *M* (ск. 51, b.), тада поклапање оба мерила пада у тачку *N*. Према томе је

$$MN = 3l_1 = \frac{3nl}{n+1} = \frac{18}{7}\,l$$

а

$$PM = 3l - 3l_1 = 3l - \frac{3nl}{n+1} = \frac{21l}{7} - \frac{18l}{7} = \left(\frac{3}{7}\right) l$$

Према томе је један степен мерила подељен на седам разломака и дужина *AM* је изражена формулом $AM = \left(9 + \frac{4}{7}\right) l$

Хоризонталан положај теодолита одржава либела (водена вага), која је унесена на површину покретног круга *bb*, а шарафи на подножју *pp* намештени су у том циљу, да се њиховим завртањем и одвртањем теодолит постави у хоризонталан положај.

1. **Метода нивелмана.** — У почетку се методи нивелмана није поклањала онолика пажња колику је заслуживала. Она је пуно право добила тек у другој половини XIX. столећа, када се развила научна геодезија. Принцип нивелмана је веома једноставан и разумљив и *Ричиоли* је, још у половини XVII. столећа, у графичком приказу изнео

Скица 52.

принцип овога рада (скица 52.) Ако је висина извесног брега *AB*, она се може одредити постепеним мерењем од његовог подножја *P* до врха *B*. Али у том случају мерило мора да је под правим углом, т. ј. да је $\sphericalangle cab = 90^0$. За одређење хоризонталног положаја служи либела. Страна мерила *ab* означава одређену висину, а страном *ac* се визира извесна тачка на падини брега.

Да би се та тачка на падини брега могла тачно утврдити посматрач има доглед са укрштеним кончићем и укрштај тада падне на одређењу тачку падине. Мерење при томе се врши летвама за нивелисање. Оне су дугачке око 2·5 метра и имају јасну поделу на центиметре.

При мерењу је посматрачево око у *a* и он са места *P* визира правцем мерила *ac* на тачку падине *Q*. Та линија продужена до Q_1 даје један део висине брега AQ_1. Затим посматрач стави подножје мерила *b* у тачку *Q*, линију *ac* управи на површину падине, одреди јој хоризонталан правац и визира га у тачку *R*, која, продужена до тачке R_1, показује део висине брега Q_1R_1. То се непрестано наставља док се не дође до врха. Тада је релативна висина брега

$$AB = AQ_1 + Q_1R_1 + R_1S_1 + S_1T_1 + T_1U_1 + U_1B.$$

Ако је позната апсолутна висина тачке *A* дода јој се висина *AB* и добије се апсолутна висина тачке *B*.

2. **Метода прецизионог нивелмана.** — Ако су места *A* и *B* толико удаљена да се осећа и утицај земљине кривине, потребно је

визирање из средњег положаја C према тачкама A и B (скица 53.) У том случају се мерење врши овако: Ако се од тачака A и B продужи земљин полупречник према зениту, и ако се из тачке A повуче концентричан круг са морским нивоом A_1B_1, видеће се, да ће тај круг пресећи продужен полупречник B_1E у тачци K. Ако се исти такав круг повуче из тачке C он ће пресећи линију B_1E у тачци L, а продужен полупречник A_1D пресеће у тачци L_1. Према томе је висинска разлика тачака A и B, $AB = BK = BL + LK = BL + L_1A$.

Скица 53.

На тачкама A и B су вертикално постављене нивелацијоне летве. Посматрач из тачке O визира теодолитом према летви код A тачку D, а према летви код B тачку E. Тада је $AD = h_1$, а $BE = h_2$. Ако се и у овом случају повуче концентричан круг из тачке O, он ће сећи оба продужена полупречника у тачкама F и G. Према томе је

$$h_1 = AL_1 + L_1F + FD$$

а

$$h_2 = BG + GE$$

Ако је место C отприлике у средини између крајњих тачака A и B, може се без предрасуде узети, да је $FD = GE$, и тада разлика висина на летвама, $h_1 - h_2 = AF - BG$, даје истинску разлику у висинама BK.

Дакле је $BK = AF - BG$.

Тиме је потпуно елиминиран утицај земљине кривине, али у исто време и утицај рефракције. Услед рефракције би се тачка F помакла према тачци D, а тачка G према тачци F. Пошто је O приближно на средини између те две тачке, и величина рефракције ће на оба места бити иста.

Такво мерење из средине је *метода прецизионог нивелмана*, којом се почело мерити тек од друге половине XIX. столећа и која је за геодезију и физичку географију од највећег значаја. И само име показује да је и то геометријско нивелисање, али са што већом вештином и најсавеснијим премеравањем.

Код прецизионог нивелмана се тражи да се што више грешака избаци. С тога се при премеравању великог предела узме неколико главних крајњих тачака мерења, које представљају ћошкове полигона, у коме је премеравање чињено. Ако се нивелира цео периметер, т.ј. обим тога полигона, дуж делова AB, BC, CD, DE, EF, FG и GA у њему би била почетна тачка мерења A уједно и крајња тачка мерења (скица 54.) Ако у мерењу нема никакве грешке морала би при крају мерења да

се у тачци *A* покаже иста висина, која је при почетку мерења одређена. Другим речима *крајња грешка* требала би да има вредност нуле.

То се готово никад не може догодити, јер је периметар често дугачак до 2000 км. С тога се увек мора узимати у обзир и крајња грешка. Њезина величина даје мерило о сигурности рада. Ако је код полигоновог периметра *P* величина крајње грешке *C*, онда је средња грешка нивелмана за 1 км. граничне линије $C : \sqrt{P}$. Дозвољено је, да та грешка сме износити ± 3 мм. за 1 км. дужине.

Скица 54.

Осим тога се код теорије обичног нивелмана полази од претпоставке да су нивоске површине паралелне, концентричне кугласте површине. Код прецизијоног нивелмана, међутим, мора се узети у обзир да такав паралелитет не постоји. Али, при свем том што паралелитет не постоји, одступања сфероидних нивоа од кружних нису никако велика. Две нивоске површине, које би на екватору имале висинску разлику од 100 м, биле би на половина удаљене за 99.5 м. Из ова два податка се види, да за мале висинске разлике сфероидан облик нема никакав значај, али код високих планинских система, као што су Хималаје, Анди, Алпи мора се и на њега обратити већа пажња.

Напослетку долазе у обзир и *атракцијоне грешке нивелмана.* Док се утицај рефракције може потпуно елиминирати погодним местом мерења, неправилну поделу маса у земљиној унутрашњости није могуће искључити. Утицај привлачења појединих земљиних маса прорачунат је тек у најновије време и показало се, да подземно нагомилавање или разређеност маса може да створи код нивелманских резултата грешке до ± 0.5 м. И из тога се види да се утврђен ниво, на који се своде све надморске висине, може добити само слободним споразумом. Средња водена стања на морским обалама нису истинске нивоске површине.[1])

3. **Тригонометријска метода.** — Код тригонометријског одређења висина главну улогу има теодолит. Овом методом се могу одређивати висине удаљених планинских врхова, код којих се не може применути метода нивелмана.

Врло је редак случај да две истакнуте тачке на земљиној површини леже на истом нивоу. Већином визирна линија стоји према равни хоризонта под извесним углом који је назван *висински угао,* $\sphericalangle BAD$ (скица 55 а.) Основна једначина за одређење висине је

$$(1.) \quad BD = AD \ tang \ \alpha.$$

---

[1]) В. стр. 49.

Код неприступачних места није могуће директно одредити величину AD и с тога се мора узети у помоћ нека трећа тачка C. (скица 55 b.)

Скица 55.

Она треба да има згодан положај, да је по могућности на истом нивоу са тачком A, и да се са ње виде обе тачке A и B. Тада се линија AD може тригонометријски прорачунати.

У троуглу ABC (скица 55 b.) AC је основна линија триангулације и она се мора директно премерити. Теодолитом се из тачке C одреди $\sphericalangle ACB$ и непосредно се може редуцирати на хоризонт, јер је $\sphericalangle ACB = \sphericalangle ACD = \gamma$. То исто се учини и са тачке A, тако да је $\sphericalangle BAC = \sphericalangle DAC = \beta$.

Према томе је $\sphericalangle ADC = [180^0 - (\beta + \gamma)] = \delta$.

Из синусног правила излази да је:

$$(2.) \quad AD : AC = \sin\gamma : \sin\delta$$

или

$$AD = AC \frac{\sin\gamma}{\sin\delta}$$

Ако се у горњу формулу (1.) унесе AD из формуле (2.) видеће се да је

$$(3.) \quad BD = AC \frac{\sin\gamma}{\sin\delta} . \tan\alpha$$

Али, овај поступак вреди само за мања удаљења; у свим другим случајевима се мора прорачунати и утицај земљине кривине. Да би се то могло учинити потребно је подножје тачке D повећати са $DE = p$ (скица 56.), т. ј. DE се мора додати одређеној висини DB. С друге стране се мора унети и утицај преламања зракова $BF = q$. Његова величина к је око 0·125 земљине кривине, и мора се од резултата одузети.

Скица 56.

Према томе се формула (1.) мења и добија нов облик

$$(4.) \quad BD = FD + DE - BF = AD \tan\alpha + p - q.$$

Вредност p и q дају се одредити с помоћу следећих једначина:

$$p : AD = AD : (2R + p),$$

јер је лук AE према земљином пречнику $2R$ веома мали и с тога се може узети да је $AE = AD$; с друге стране се види, да је у последњем

члану p према $2R$ незнатно и да се може избацити из рачуна тако, да остаје једначина

$$p = \frac{\overline{AD}^2}{2R}$$

На исти се начин одређује и вредност q, јер је и тада у последњем члану q неурачунљиво према величини $2R$. Према томе је

$$q = \frac{\overline{AD}^2}{2R} \cdot \kappa$$

С тога формула (4.) добије нов облик

$$(5.) \quad BD = AD \; tang\, \alpha + \frac{\overline{AD}^2}{2R} - \frac{\overline{AD}^2}{2R}\kappa = AD \; tang\, \alpha + \frac{1-\kappa}{2R} \cdot \overline{AD}^2$$

У тој формули се фактор $\frac{1-\kappa}{2R}\overline{AD}^2$ зове *корекција хоризонта.*

Код земљиног полупречника са 6371 km и рефракцијоног коефицијена са 0·125, корекција хоризонта је доста велика. За удаљења од 1 km величина јој је 7 cm, за удаљења од 10 km 7 m, за 20 km 27 m, а за 50 km 170 m. Пошто је корекција хоризонта са удаљењем све већа, удаљени, високи планински врхови не би се могли одређивати тригонометријском методом. С тога се при брижљивим мерењима уносе и даље корекције рефракције, према разној густини ваздушних слојева.

Тачан *утицај терестријске рефракције* може се одредити овако: Нека су два места A и B на разним висинама и нека им је морски ниво у тачкама C и D. (скица 57.) Апсолутна висина места A нека је раније одређена са $AC = h$.

Скица 57.

Ако се тригонометријским нивелманом одреди висинска разлика између места A и B, тада је $AB = FB = h_1$, а $FD = AC = h$, јер је $AF \parallel CD$ и с тога је апсолутна висина брега B

FD + BF = h

$$BD = FD = BF + h + h_1$$

У троуглу AOB (ако су линије AC и BD продужене до земљиног средишта) познате су линије $OA = R + h$ и $OB = R + h + h_1$, као и $\sphericalangle AOB = \gamma$. Према формули равне тригонометрије могу се одредити углови: $\sphericalangle BAO = \alpha$ и $ABO = \beta$, ако се узму у обзир ове две једначине

$$(\alpha + \beta) = 180^0 - \gamma$$

и $$tang\frac{\alpha-\beta}{2} = \frac{R+h+h_1-R-h}{R+h+h_1+R+h}\, tang\frac{\alpha+\beta}{2} = \frac{h_1}{2(R+h)+h_1}\, cotang\frac{\gamma}{2}$$

Њих није тешко одредити ако се премери угао између зенита и оба места посматрања. На месту A је зенит у Z_1, а на месту B у тачци Z_2. Према томе би прáва зенитна удаљења била: за место $A \sphericalangle Z_1AB = z_1$, а за место $B \sphericalangle Z_2BA = z_2$.

Тада се може одредити да је $z_1 = 180^0 - \alpha$ или $\alpha = 180^0 - z_1$

а $z_2 = 180^0 - \beta$ или $\beta = 180^0 - z_2$

Али су зенитална удаљења због терестријске рефракције померена из B у B_1, а из A у A_1 и посматрач ће добити друкчије углове између зенита и оба места посматрања. Услед рефракције је

$$\sphericalangle Z_1AB_1 = \zeta_1, \text{ а } \sphericalangle Z_2BA_1 = \zeta_2$$

Те величине се добијају директним мерењем, док се z_1 и z_2 добијају прорачунавањем. Пошто је сума висина, $[h + (h + h_1)] = 2h + h_1$, према земљином полупречнику R веома мала, добију се за величину рефракције ове једначине:

$$\Delta\zeta_1 = z_1 - \zeta_1; \quad \Delta\zeta_2 = z_2 - \zeta_2$$

$$z_1 + z_2 = 180^0 + \gamma; \quad - tang\ \frac{z_1 - z_2}{2} = \frac{h_1}{2(R+h) + h_1}\ cotang\ \frac{\gamma}{2}$$

Пошто су вредности $R, h, h_1, \zeta_1, \zeta_2$ и γ познате, може се терестријска рефракција обичним мерењем и рачуном врло тачно одредити.

4. Барометарска метода мерења. — Много лакше је одређивати висине с помоћу барометарске методе, јер не тражи никаквих већих тешкоћа; ипак се тачност ових мерења не може мерити са сигурношћу тригонометријског мерења и прецизионог нивелмана.

После *Торичелиев*ог експерименталног доказа о ваздушном притиску (1645 год.) и *Вивиан*ове конструкције барометра са живом, *Паскал* је 1648 год. дошао до закључка, да се тај инструмент може употребити за одређење висина. Први закон о опадању ваздушног притиска са висином изнео је *Боил* 1661 год., а доцније је *Мариот* на париској опсерваторији утврдио *барометарски висински степен*, по коме једном милиметру спуштања живе у барометру одговара висина од 9·05 м. Али се овим степеном може приближно служити само за мале висинске разлике.

Прву логаритмичку формулу за одређење висине с помоћу барометра са живом дао је *Халеи* 1686 год., а доцније су се ове формуле све више исправљале и прецизирале. О њима се овде не може опширније говорити, јер су за географа од важности само практичне формуле.

Најједноставнија је *Кепенова* формула, која има овај облик:

$$(1.)\ h = 73{\cdot}74\ (250 + t + 0{\cdot}663\ cos\ 2\varphi)\ log\ (B_1 : b_2)$$

У њој је h висина, коју треба одредити, t средња температура ваздуха од доње до горње станице, B_1 ваздушни притисак на доњој станици са

познатом висином, b_2 ваздушни притисак на горњој станици, φ географска ширина места. У овој формули је ваздушни притисак на обема станицама редуциран на температуру од 0°C. Та формула је у толико уједностављена, што је корекција теже сједињена са корекцијом температуре.

Члан $0{\cdot}663 \cos 2\varphi$ има у разним географским ширинама следеће вредности:

ГЕОГРАФ. ШИРИНА	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$0{\cdot}663 \cos 2\varphi =$	0·66	·62	·51	·33	·12	—·12	—·33	—·51	—·52

тако, да се за географске ширине од 20° до 80° може доста тачно узети да је

$$0{\cdot}663 \cos 2\varphi = [(45^0 - \varphi) : 50]$$

и према томе се горња формула може изразити овако:

$$(2.)\ h = 73{\cdot}74\ [250 + t + (45 - \varphi) : 50]\ \log (B_1 : b_2)$$

Али, цео овај посао је много олакшан барометријским таблицама, у којима су унесене величине појединих корекција.

Хан је дао још много једноставнију формулу за приближно мерење висинских разлика, у којој је главни фактор *висина хомогене атмосфере*, т.ј. она висина, коју би имала цела ваздушна лопта кад би јој густина била свугде иста, ваздушни притисак 760 mm, а температура 0°C. Одређено је, да би висина хомогене атмосфере била 7991 метар, али формулу није потребно износити, јер је за практичне сврхе сасвим довољно ово: Прво треба одредити ваздушан притисак на доњој станици b_1 и притисак на горњој станици b_2. Њихова средња вредност је $(b_1 + b_2) : 2$. Осим тога, треба одредити у тренутку посматрања температуру доње станице t_1 и горње станице t_2. Ако је средња температура тога слоја $[(t_1 + t_2) : 2]$ већа од 0°C, тада се за сваки 1°C повећа вредност средњег ваздушног притиска за 0·4%, а ако је средња температура ваздушног слоја испод 0°C тада се за 0·4% смањује.

Ако се висина хомогене атмосфере подели са средњим ваздушним притиском добије се вредност барометарског висинског степена при 0°. Та вредност се мора помножити са процентом температурног утицаја, чиме се добије исправљен висински степен. После тога се барометарска разлика између доње и горње станице помножи са исправљеним висинским степеном и добије се висинска разлика у метрима. Ако се тој вредности дода и апсолутна висина доње станице, одређена је и апсолутна висина горње станице.

На примеру се то показује овако: Нека је апсолутна висина доње станице $M = 250$ m. Нека је на њој у извесно време дана ваздушан притисак $b_1 = 739{\cdot}8$ mm, а температура $t_1 = +\ 14{\cdot}5^0$C а у исто време нека је на горњој станици, N, $b_2 = 626$ mm, а $t_2 = +\ 7{\cdot}5^0$C, тада је средњи барометарски притисак $(739{\cdot}8 + 626) : 2 = 682{\cdot}9$ mm, а вредност барометарског висинског степена $(7991 : 682{\cdot}9) = 11{\cdot}70$ m. То значи, да се у том ваздушном стубу за 1 mm спуштања живе висина повећа за 11·70 m. Сада се прорачуна средња температура целог слоја $(14{\cdot}5 + 7{\cdot}5) : 2 = 11^0$C и одреди величина њеног утицаја, т. ј. 1·044, и тада је исправљен висински степен $11{\cdot}70 \times 1{\cdot}044 = 12{\cdot}21$ m.

Пошто је барометарска разлика између M и N $(739{\cdot}8 - 626) = 113.8$, висинска разлика ће бити $113.8 \times 12{\cdot}21 = 1389{\cdot}5$ m, а апсолутна висина места N је $250 + 1389{\cdot}5 = 1639{\cdot}5$ m.

За мање висинске разлике, од 100 до 200 m, резултати су доста тачни, нарочито ако се врши неколико истовремених мерења или бар у мањим размацима дана.

Барометарски висински степен са висином расте или, што је исто са ваздушним притиском опада. При температури од 0^0C добијају се следеће вредности:

вазд. притисак mm	760	700	650	600	550	500	450	400	350
вис. степен m	10·5	11·4	12·3	13·3	14·5	15·9	17·8	20·0	22·8

т. ј. при средњем ваздушном притиску од 760 mm одговара опадању од 1 mm притиска разлика у висини од 10·5 m, док при средњем вазд. прит. од 450 mm истом опадању притиска одговара разлика од 17·8 m.

Мерење висина с помоћу анероида. — При екскурзијама је теже носити барометре са живом, јер су прилично гломазни, него *металне барометре* или *анероиде*[1]), који су лакши. Анероид је пронашао *Види*. Анероид је безваздушан металан цилиндер, који је са горње стране затворен еластичном плочом. При нормалном ваздушном притиску ова плоча стоји у хоризонталној равни. Али, ако се ваздушан притисак повећава она се удубљује, а ако се притисак смањује она се испупчи. Наизменично кретање у средини те округле, еластичне плоче оцртава се у кретању сказаљке дуж кружне скале. Она је са средином плоче везана покретном полугом, и према величини угла на сказаљци може се одредити приближна јачина тренутног ваздушног притиска. Али, скала анероида се никад не одређује теоретским прописима науке о еластичности, него се увек упоређује са барометром са живом.

Доцније је пронађено и неколико других, побољшаних начина за што прецизније мерење, али принцип је већином исти. На некима је

[1]) Појам анероида је постао од грчког νηρός = влажан са α приватвним; дакле означава барометар без течности.

један крак полуге врло кратак и њим се мере колебања нивоа, док је супротан крак много дужи, тако, да се и незнатно колебање веома јасно показује. Пошто овде није место да се улази у историју анероида, потребно је само споменути, да се сви инструменти, који почивају на овом принципу, зову *анероиди*.

Ма да је рад с анероидом знатно олакшан, он подлежи много већем броју грешака (са изузетком инструмента пуковника Gaulier-а) него барометар са живом, или којом другом течношћу, и с тога нивоске разлике излазе сувише велике. Ипак анероиди имају једну предност што не подлеже утицајима теже, али се с друге стране морају доста често упоређивати са барометрима са живом, јер се еластичност метала под великим разликама притисака и током самог времена мења.

Пре десетак година је *Берже*[1]) дао врло једноставну барометарску формулу за мерење висина, било барометрима са живом или прецизним анероидима. Грешка у његовој формули одговара тек 1/500-итом делу истинске нивоске разлике. Та формула изгледа овако:

$$Z = 30 \frac{D}{h} (t + 269);$$

у њој је Z тражена нивоска разлика, D разлика у ваздушном притиску између доње станице H_0 и горње станице H_1, h средња вредност притиска на те две станице, дакле $[(H_0 + H_1) : 2]$, а t је средња ваздушна температура, између Θ_0 на доњој станици и Θ_1 на горњој станици, дакле $[(\Theta_0 + \Theta_1) : 2]$. Тако на пр. ако је за Puy de Dôme $H_0 = 738{\cdot}7$ mm, $H_1 = 647.8$ mm, $\Theta_0 = 11{\cdot}5^0$ C, $\Theta_1 = 7{\cdot}1^0$ C, тада је $Z = 1092$ метра, а с помоћу интернационалне барометарске формуле, која је доста компликована, одређено је да је $Z = 1089$ метара.

Термометарска метода мерења. — Експериментало је доказано да се тачка врења код течности са висинама смањује. Док вода на морском нивоу ври при температури од 100°C, на Mt. Blanc-у, на висини од 4480 метара, ври при температури од 85.5°C.

Тачка врења свакако зависи од отпора, који течност при своме загревању мора да врши на супрот притиску. При загревању се молекили течности у близини површине толико јако крећу, да показују тежњу да се од ње одвоје. Али то одвајање је отежано притиском ваздуха, који лежи над течношћу. Што је мањи ваздушан притисак тим лакше вода прелази у врење, и према томе се може закључити, да температура врења пружа мерило за одређење јачине ваздушног притиска, а посредно и апсолутних висина.

У тим случајевима се ваздушан притисак мери термометрима,

---

[1]) *Alphonse Berget, Formule barométrique simplifiée pour la mesure des altitudes.* — Comptes rendus de l'Academie des Sciences 30. Juin 1913. — стр. 2031.

али се такви термометри зову *термобаромешри*. Они су у истини термометри, којима се веома прецизно одређују температуре од 80° до 101°C. Кад се у таблицама унесе температура врења и напон водене паре, т. ј. одговарајуће вредности ваздушног притиска, може се непосредно из одређења тачке врења одредити и апсолутна висина. Најопштији преглед даје следећа таблица:

температура врења °C	100	98	96	94	92	90	88	86	84
ваздушни притисак mm	760.0	707.3	757.7	611.0	567.1	526.0	487.3	451.0	417.0
разлика у вазд. прит. за 1°C	26.3	24.8	23.3	21.9	20.6	19.4	18.2	17.0	
апсолутна висина m	0	570	1150	1740	2340	2940	3550	4170	4800

Теоријски однос између ових величина *Рењол* је изразио овако: Ако је на двема станицама непозната висинска разлика h, а тачке врења ако су t_1 и t_2, треба у таблицама тражити одговарајуће ваздушне притиске b_1 и b_2 и тада је приближна висина у метрима

$$h = 18382\ (log\ b_2 - log\ b_1).$$

Предност ове метода је у том што ни она не подлежи утицају теже. Она је много сигурнија од мерења с анероидом, али ипак не пружа онолико сигурности као пажљива мерења са барометрима са живом.

Појмови о светском систему.

После ових посматрања о Земљи треба понова обратити пажњу небу, да би се могао добити појам о положају Земље у светскоме систему.

Стари народи су створили појмове о светском систему полазећи од оријентације на небу и на свом видику. Према својој околини је сваки стари народ имао и посебну идеју о облику светског система.

Први народи, који су основали Астрономију, били су, вероватно, Калдејци и Асирци. Тако су на пр. у Ниниви, на реци Тигру, нађени остатци глиновитих таблица са записима о изгледу разних сазвежђа, о тренутку изласка звезда изнад видика, о њиховим кретањима и свим другим небесним појавама. То су остатци дела *Саргона I.*, у коме је изнео тадашње знање о појавама на небу и које вероватно потиче из 38. столећа пре Христовог рођења.

Код Калдејаца је постојало веровање да се Земља од својих ивица постепено диже и да је у њеној средини планина из које извире Еуфрат. О неприступачне земљине ивице ослања се металан небесни свод, на коме се ноћу засветле безбројне звезде, а дању се одбија блесак сунчеве светлости. Земља са небесним сводом плови по вечним водама, а небо је на две супротне стране просечено двема вратницама, које воде у не-

видљиву пећину. Једна од њих је на Истоку, а друга је на Западу. То је пут којим пролази Сунце. Оно се вози кочијама у које су упрегнути дивљи магарци. Кочије се сваког јутра појављују на источној вратници и тада засија пламени котур са точка сунчевих кочија. Кочије се до поднева пењу на више, а после поднева се спуштају, док на западној вратници не уђу у пећину, кроз коју се идућег јутра понова појаве на источној вратници. На исти начин се тумачи и кретање Месеца као и осталих звезда.

Нешто друкчији појам имали су Египћани. За њих је Земља била елиптична, равна плоча са високим планинама на Северу. Сунце се возило у барки, која је пловила по небесној реци и дању се стрмо пењала од Истока према Југу, а потом се спуштала према Западу. Али, у добу, када небесна река набуја и када се излије, барка изађе из корита и приближи се Египту. Кад река почне да опада, барка се понова повуче у корито и удаљи се од Египта. С тога је Сунце у летњој половини године ближе Египту, него у зимској половини. У овом веровању је најјасније истакнуто колико географска средина утиче на појам о светском систему. Привидно кретање Сунца по небу и небесну реку Египћани доводе у везу са речним стањима Нила. Он почне да буја око почетка јуна, при почетку октобра достигне највиши ниво, од тада река опада и при крају маја се речни ниво највећма снизи.

У времену *Александра Великог* астролошка наука је пренесена у Грчку, али је још неколико столећа пре тога у Грчкој било мислилаца, који су одбацивали суштину астролошке науке, као н. пр. *Анаксимандар* и *Анаксагорас*. Доцније је већи број грчких филозофа стварао идеје о светском систему, као *Питагора*, *Филолеј*, *Платон*, *Еудокс*, *Аристотел*, *Калип* и други.

После великих ратова против Сирије, Перзије и Египта, *Александар Велики* је основао Александрију и померио је центар грчке науке из Атине у њу. Тиме је развитак Астрономије убрзан и Александријска је Школа успела да, на основу тачних посматрања, дâ базе за небесну механику. У тој школи су били *Аристарх*, *Хипарх*, *Ератостен*, *Птоломеј* и *Еуклид*, као и многи други.

Овде није место да се изнесу сва мишљења о светским системима, него ће се изнети неколико најглавнијих хипотеза.

Питагорин систем. — И ако од *Питагоре* није сачувано ни једно дело, његов је рад ипак познат, јер му је идеје много доцније изнео *Филолеј*, који је, по свој прилици, учинио неке измене у Питагорином систему.

Питагора је био један од првих филозофа, који је веровао да у свету постоји ред и да се привидне неправилности природних појава

могу протумачити непроменљивим законима. Питагорин свет је ограничен небесном куглом, а у њеној средини је централна ватра.

Али, пошто је Питагора сматрао, да је број 10 свети број, требало би да и светски систем има 10 тела. С тога је *Филолеј* поред Земље, централне ватре и седам познатих планета, међу којима је Сунце и Месец, унео још једно тело. То је звезда са противне стране Земље и с друге стране централне ватре; то је ἀντίχθων, звезда у супротности света.

Скица 58.

У овом светском систему се у средини небесне кугле налази централна ватра. Око ње кружи Земља са свих седам познатих планета. Иза свих планета лежи небесна кугла са непомичним звездама. Она се са свим звездама окреће око централне ватре, као и остале планете. Пошто је земљина настањена полукугла увек управљена према небесној кугли, виде се све звезде и планете, али се централна ватра и антихтон никада не могу видети.

По Питагори је Земља за један дан обишла око целе централне ватре и с тога се виде разни предели неба и јавља се разлика између дана и ноћи. Кретање Сунца се споро помера између непомичних звезда и због своје нагнутости према небесном екватору настају разлике у годишњим временима.

Удаљења звезда и планета показују известан ред. Основне идеје Питагориног система своде се, према томе, на двоје: све је број и све бива у хармонији, односно у извесном реду. Он је музичку скалу пренео и на небо и сматрао је седам небесних планета као седам златних жица небесног хептакорда.[1]) Он је једним (пуним) тоном упоређивао удаљење Месеца од Земље и узео је да та јединка одговара дужини од 126.000 стадија.[2]) Према томе су небесна тела у овим размацима

	♁ Земља	☽ Месец	☿ Меркур	♀ Венера	☉ Сунце	♂ Марс	♃ Јупитер	* Звезде
у тоновима		1	1/2	1/2	1 1/2	1	1/2	1
у 1000 стадија		126	63	63	189	126	63	126
апсолутна удаљења у 1000 ст.	0	126	189	252	441	567	630	756
апсолутна удаљења у km		22428			78500			134606

Приписујући Земљи револуцију, *Питагора* је поколебао веровање о земљиној непомичности и отворио је пут мислиоцима, који су много

[1]) *Хептакорд* означава седам тонова у скали, без осмог, основног тона. У њему има пуних тонова и полутонова.

[2]) 1 стадијум тадашњег доба имао је дужину од 177·6 метара.

доцније доказали годишње кружење земљино око Сунца. Постављајући принцип кружног кретања свих небесних тела, *Питагора* је увео примену рачуна у Астрономију и дао основе за математичну Астрономију.

Еудоксов систем. — *Еудокс* (409 до 356 год. пре Хр.), *Платонов* ученик, износи да је Земља округла, да је непомична и постављена у средишту света. Свака звезда или планета везана је извесним бројем кругова, који су врло блиски један другом. Сваки од тих кругова има друкчију брзину кретања, а заједничким њиховим деловањем настану кретања звезда и планета. На свако кретање небесних тела делује један, два или више кругова. Да ли је *Еудокс* замишљао да су ти кругови стварни или да су идеални, не може се ништа рећи. Ипак, да би се овај систем могао јасније приказати треба поћи од претпоставке да су кругови реални.

Једно заједничко кретање имала су сва небесна тела, јер је свако од њих у току од 24 часа окружило око Земље. Али, једино су непомичне звезде имале само један круг, само по једно кретање. Код Сунца и Месеца су са тим кругом везана још два круга, а све остале планете су везане са још три круга. Сваки од тих кругова има нарочити утицај, а њихово заједничко деловање показује се у неправилним курвама, којима се крећу Сунце, Месец и поједине планете.

Скица 59.

Код Сунца први круг има исти значај као и код звезда, т. ј. он показује дневну револуцију Сунца око Земље. Други се круг креће веома споро, у правцу небесних знакова, дакле са Запада на Исток, око једне осовине, која је благо нагнута према полу еклиптике. Трећи круг се креће у истом правцу око осовине еклиптике, али једно кружење око Земље траје му једну годину. Према овом назору први и трећи круг показују дневно и годишње кретање Сунца, док други круг одговара померању сунчевих кулминација северно и јужно од екватора. Са истим бројем кругова и на сличан начин тумаче се и кретања Месеца.

Код планета има четири активна круга. И код њих се први круг окрене једанпут у звезданом дану око небесне осовине. Други круг код планета тумачи њихову револуцију по еклиптици. Код горњих се планета (Марса, Јупитера и Сатурна) ово кружење подудара са кружењем звезда, док код доњих планета (Меркура и Венере) одговара годишњем кружењу, као у свим геоцентричним системима. Трећим и четвртим кругом се тумаче аномалије у односу према Сунцу: конјукција и опозиција, ретроградација (кретања у противном правцу од небесног кретања) и одступања у астрономској ширини.

Баш тај компликован систем показује *Еудокс*ову духовитост, кад је, при онолико ограниченом знању, и без икаквих спомоћних средстава, могао да одреди та врло неправилна кретања. Његови резултати су релативно тачни: за револуције планета, које трају 116 до 584 дана, они показују грешке тек од неколико дана.

Доцнији филозофи су подржавали ову хипотезу, али су је и побољшавали додавањем још већег броја кругова. Док је у *Еудокс*овом систему било 27 кругова, *Калип* је унео 33 круга, а *Аристотел* 55 кругова. Тиме су кретања планета заиста постајала истинитија, али у исто време — и све заплетенија.

Код свих ових система кругова прва аномалија, или неједнакост у кретању планета, треба да означи неједнаке величине звезда у разним годишњим временима (нарочито код Сунца, Месеца, Венере и Марса), а друга неједнакост да означи ретроградацију и стацијонарно стање планета.

Хипархов систем, комбинован са Птоломејевим системом. — После *Еудокса* се појавио највећи астроном Старог Века *Хипарх*. Он се родио у Никеји, у Битинији, али тачно време његовог рођења и смрти није познато. Зна се једино то, да је на Родосу чинио астрономска опажања 128 год. пре Хр. И ако су његова дела изгубљена, *Птоломеј* је три века доцније изнео целу Хипархову теорију и његова астрономска открића у знаменитом делу „Алмагесту."

Хипарх је најистакнутија личност старовековне науке. Готово је непојмљиво да је сам један човек био способан да за време свога живота учини толико огроман рад. Хипарх је оснивач сферне тригонометрије, с помоћу које је устостручена могућност рачунских операција. На основу своје теорије прорачунао је кретања звезда, одредио је закон о привидном померању Сунца и Месеца, успео је да предскаже сунчева и месечева помрачења, осим тога је уредио пажљиво израђен списак звезда, који је модерним научењацима од велике користи. Својим открићем прецесије еквинокција *Хипарх* је дао основу за прорачунавање звезданих координата, за које било доба; то је његово најумније и најзнаменитије откриће, јер периода кружења пролетњег чвора траје 26000 година. Према томе се може с правом рећи да је Хипарх истински оснивач математичне Астрономије.

Баш због тога је чудновато, да *Хипарх*, поред толико знаменитих открића, није дошао на идеју о хелиоцентричном систему. И он је у свом систему стао на геоцентричко становиште. Главна му тежња је била да објасни прву неједнакост Еудоксовог система. Да би ју тачније протумачио узео је за доказ Сунце, јер се код њега ови односи најјасније показују. Он је с једне стране хтео да и даље одржи кружно кретање небесних тела, а с друге стране опет да објасни разлике у вели-

чини сунчеве плоче, јер је сунчев пречник најмањи кад је око сазвежђа близанаца, а највећи је кад је у близини сазвежђа стрелца. *Хипарх* је с тога помакао Земљу из средишта небесне кугле и тиме је дао појам о *ексцентричном кругу,* који је доцније назван *деферентан круг* или *деферент.*

Појам о овом назору даје графичан приказ, који је изнесен у скици 60. У њој је спољашњим кругом означена небесна кугла, на коју су пројицирани знаци зодијака. Средиште небесне кугле лежи у тачци T, али средиште сунчеве путање не може лежати у тој истој тачци, јер би тада његова плоча била увек једнака. Пошто је она променљива, средиште ће морати бити ближе сазвежђу близанаца него сазвежђу стрелца. Средиште сунчеве путање T_1 може се одредити, ако се места, на којима је сунчева плоча највећа и најмања, споје правом линијом AP. Али, средиште T_1 мора остати празно, јер је Земља у средишту небесне кугле, т. ј. у тачци T.

Скица 60.

Да би одредио положај тачке T_1, Хипарх је пошао од годишњих времена. Познато је било да годишња времена нису једнака. Од пролетње тачке S_1 до летње тачке S_2 прође $94^1/_2$ дана, од летње тачке до јесење тачке S_3 прођу $92^1/_2$ дана, од јесење до зимске тачке S_4 прође 88 дана, а док Сунце доспе од зимске до пролетње тачке треба 90 дана.[1]) Према томе ће се добити ова пропорција:

$$\sphericalangle S_1T_1S_2 : \sphericalangle S_2T_1S_3 : \sphericalangle S_3T_1S_4 : \sphericalangle S_4T_1S_1 = 94{\cdot}5 : 92{\cdot}5 : 88 : 90$$

Хипарх је на основу те пропорције одредио удаљење геометријског средишта T од кинетичног средишта T_1, или, према садашњем изразу, *линеарну ексцентричност,* према формули

$$e = \frac{1}{24} R,$$

ако је $$R = T_1S_1 = T_1S_2 = T_1S_3 = T_1S_4.$$

Према томе, ако је Земља у средишту T, а Сунце се креће путањом $S_1\,S_2\,S_3\,S_4$, сунчева плоча мора бити најмања кад јој пројекција падне у тачку A, а највећа кад јој падне у тачку P.

Много доцније је тачка T_1 названа *punctum aequans* или *екванш.*

На сличан је начин *Хипарх* одредио и ексцентричност Месеца и осталих пет планета, и тиме је дао јасан доказ за прву неправилност у кретању небесних тела.

Теорију планета *Хипарх* није могао основати, јер су му мањкала

[1]) Ова дужина годишњих времена односи се на Хипархово доба и не треба је мешати са данашњом дужином годишњих времена.

потребна посматрања, али је од великог значаја што је одредио периоде неједнакости код њихових кретања. Оне су толико тачне, да много тачније нису биле ни у *Кеплеровом* добу, после пуних 17 столећа. Он је показао, да свака планета има две неправилности, једну у односу према Сунцу, а другу у односу према зодијаку (или еклиптици).

Рад *Клаудија Птоломеја* пада у доба од 127. до 141. год. по Хр. Он је скупио резултате целе дотадашње астрономске науке и својих личних назора и изнео их у Μεγάλη Σύνταξις, које су Арапи назвали *Алмагест*.

Главна *Птоломеј*ева заслуга је, што је у својој теорији о *епициклосима* јасно протумачио другу неједнакост код кретања планета. По *Птоломеј*евом се назору планете не крећу по обиму деферентних кругова. У њима је само средиште ἐπίκυκλος-а, т.ј. средиште споредног круга по коме планета *M* кружи (скица 61.). Курва планетине путање се мења према брзини кружења по епициклосу и према брзини кретања тачке *C* по деферентном кругу. При својој револуцији планете показују веома велике неправилности; оне се некад крећу све брже и брже, некад успоравају кретање, некад стоје на истом месту, а кадикад се крећу и унатраг, описујући по небу чудноване коврчице.

Скица 61.

Ако се кретање планета посматра дуже време, заиста ће се показати да се крећу по вијугастој линији, која је увек у близини њиног ексцентричног круга, али се стално помичу час на једну, час на другу страну. Опште кретање планете по епициклосу има исти правац кретања као и ексцентричан круг, али се код тог кретања брзина стално мења. Појам о теоретском кретању планета добија се из скице 62. Велики кружан

Скица 62.

лук одговара деферентном кругу, а мали кругови означују епициклос у разним стадијима кретања. Од стадијума 1. до стадијума 6., или до тачке *A*, кретање је нормално, т. ј. планета се креће у правцу кретања деферентног круга, али јој је брзина кретања у разним стадијима различита. Од стадијума 1. до 3. показује се све јаче убрзавање, а затим до стадијума 5. све веће успоравање. У стадијуму 6., или у тачци *A*, планета стане и од тада се до стадијума 8. креће у ретроградном правцу, дакле супротно кретању деферента, правцем *BC*. Исто се тако показује да

је од стадијума 1. до стадијума 5. планета изнад деферентног круга, а од стадијума 5. до 8. испод деферентног круга. Од стадијума 8. почиње исто кретање као у стадијуму 1.

Утисак који се добија на небу показује скица 63, у којој је PP_1 правац кретања ексцентричног круга, а вијуге означују кретање планете. Из скице се види да се она од A до B креће нормално, од B до C привидно стоји, од C до D се креће у ретроградном правцу, а од D до E понова у нормалном правцу. Због тога чудноватог кретања стари Грци су их називали именом *блудећих оваца.*

Скица 63.

Курве, које епициклос описује, зову се *епициклоиде.* Да би још тачније могао одредити одступања у кретању планета, *Птоломеј* је, према разним облицима кретања, унео на сваки епициклос споредне епициклове, са све мањим полупречницима. Ти епициклови се крећу око својих епициклова, а сви заједнички око деферентног круга, али је код свих кругова кретање у истом правцу.

Птоломеј је, осим тога, објаснио и разлику између кретања доњих и горњих планета. За доње две планете револуција епицикличног средишта по деферентном кругу одговара сунчевој години, с тога Меркур и Венера увек прате Сунце и ако се периодично крећу наизменично, изнад и испод сунчеве путање. То је разлог што им је кретање час директно, час ретроградно према кретању звезда.

Ако је у скици 64. Земља означена са T, C ако је средиште епициклоса, S Сунце, ESD сунчева путања, а V Венера, и ако Сунце, Венера и Земља стоје у правој линији SV_1T, тада ће центар епициклоса C непрестано остајати у правцу линије ST, пошто је његова револуција једнака сунчевој револуцији. Док се Венера креће по делу GV_1F свога епициклоса кретање ће јој бити у истом правцу сунчевог кретања SD, али ће на другом делу њезине путање FV_2G изгледати, да јој је кретање, у односу према Сунцу, ретроградно.

Скица 64.

Сасвим друкчије је код горњих планета. Горње планете окруже око епициклоса у једној сунчевој години, али је револуција епициклосовог средишта C једнака звезданој револуцији планете, која је дужа од сунчеве револуције. Ако је у скици 64а. T Земља, S Сунце, M Марс, и ако је Марс у опозицији са Сунцем, т. ј. у супротном правцу Сунца према Земљи, биће радијус вектор Сунца TS_1 паралелан радију вектору Марса C_1M_1, јер је $\sphericalangle C_1TS_1 = 180^0$. После извесног времена Сунце ће се

померити до тачке S_2 своје путање, а Марс до тачке M_2 свога епициклоса. Пошто је кружење Марса око епицикличког средишта једнако сунчевој револуцији мора бити и $\sphericalangle S_1TS_2 = \sphericalangle M_1C_2M_2$. Али, по деферентном кругу се средиште епициклоса доста мање померило него $\sphericalangle S_1TS_2$.

Скица 64а.

Док се Сунце по својој путањи померило за $\sphericalangle S_1TS_2$, Марс се померио по своме деферентном кругу тек за $\sphericalangle C_1TC_2$. Пошто је $\sphericalangle S_1TS_2 > \sphericalangle C_1TC_2$ мора и Марсова револуција бити дужа од сунчеве револуције. Тек кад би епициклично средиште марсовог деферентног круга било у тачци C_3 била би марсова и сунчева револуција једнака, јер је

$$\sphericalangle C_3TS_2 = 180^0 = \sphericalangle C_1TS_1, \quad \text{или} \quad C_1TC_3 = \sphericalangle S_1TS_2.$$

Слика *Хипарх*овог односно *Птоломеј*евог система има отприлике облик као што га показује скица 65. Земља је у средишту небесне кугле. Месец, Меркур, Венера, Сунце, Марс, Јупитер и Сатурн описују око Земље кружне, али ексцентричне путање, с тога њихово средиште није у тачци *З* него у тачци *Е*. Осим тога, пет познатих планета имају поред ексцентричног круга разан број епициклоса. Напослетку, далеко иза Сатурнове путање лежи небо непомичних звезда, а с друге, невидљиве стране звезданога неба је *емпирион* или боравак блажених.

Скица 65.

Хераклидов систем. — У науци латинских компилатора се говорило и о т. зв. египатском светском систему, услед погрешног тумачења једног места код *Макробија*, који је тврдио да је Платон следовао науци Египћана. Међутим, тај систем је изнео Хераклид. *Хераклид* (у IV. стол. пре Хр.) био је Платонов савременик, и он је први јасно изнео мишљење да се Земља обрће око осовине. Осим тога је још астрономима у Старом Веку упало у очи, да се Меркур и Венера врло мало удаљују од Сунца и да никад нису са Сунцем у опозицији. Према првој Хераклидовој тврдњи, о земљиној ротацији, познати астроном *Скиапарели* долази до уверења, да је Хераклид иавукао ове две планете из општег система и да их је сматрао као пратиоце Сунца. Али, пошто је он био Платонов савременик, сматрало се, да је и овај назор узет из египатске науке; с тога је тај систем био означен као египатски светски си-

стем. Из *Цицеронов*ог *„Somnium Scipionis“* може се отприлике одредити облик тога система. Износећи да је Сунце звезда, која нам даје светлост и топлоту, Цицерон наводи и ово: „hunc Solem ut comites consequuntur Veneris alter, alter Mercurii cursus.“ Графички је тај систем изнесен у скици 66. Из ње се може јасно видети да се у овом систему показује прво одступање од искључиво геоцентричног система и да *Хераклидов* систем чини прелаз *Тихо Брахеов*ом систему.

Скица 66.

После *Хипарха и Птиломеја,* главних представника александријске периоде, који су достигли врхунац астрономског знања, рад на Астрономији је застао за неколико столећа и цивилизација Истока је сишла са светске позорнице. У веома дугом низу година нити је било знаменитих дела, нити великих људи.

Тек крајем VIII-ог столећа Астрономија је оживела у Арабији. Муслимански покрет, који је почетком VII-ог столећа настао око Медине и Меке, био је полазна тачка овог препорођаја. Арапи су примили астрономске идеје од Грка, али су у науци кренули супротним правцем. Док се грчка Астрономија развијала у тежњи да сазна састав васионе, Арапи су обратили главну пажњу тачном прорачунавању звезданих кретања, јер је арапска наука тежила само једном циљу: сазнању о будућности с помоћу Астрологије. Ипак су, у тежњи да побољшају Астрологију, давали драгоцене податке за Астрономију, али нису чинили никаква открића. Доцније су се Арапи, услед политичких промена, раширили од Индије до Шпаније и отварали су у разним пределима многобројне научне школе.

Око XII-ог столећа, кад је код Арапа настао застој у Астрологији, почео је на Западу интензивнији рад на Астрономији. Астрономи се појављују у Енглеској, Француској, Шпанији и Италији, али су они већином преводили радове Грка и Арапа; једино је на Универзитетима, који су тада основани, почело веће интересовање за научну Астрономију. При свем том су извесни научењаци остали и даље конзервативни и одржавали су старе назоре. Али, после путовања *Христифора Колумба* и *Магелана,* када је доказано да је Земља округла, настао је нов полет у Астрономији, и може се рећи, да су *Колумб* и *Магелан* били претече *Коперника*, који је изнео хелиоцентричан систем.

Међутим, идеја о хелиоцентричном систему поникла је још у Старом Веку. **Аристарх** је, око 100 година пре *Хипарха* (око средине III. столећа пре Хр.), први поставио Сунце у средину света. *Архимед* је

у свом „*Аренариос*“-у изнео суштину Аристархове науке у овим речима: „Ти знаш, краљу Гелоне, да већина астронома под „светом“ подразумева куглу, чије средиште је заједничко са средиштем Земље и „чији је полупречник једнак удаљењу Земље од Сунца. Аристарх са Самоса спомиње ову ствар, али ју обара назорима, које износи против „астронома. По његовом мишљењу је свет много већи него што је напред речено, јер он претпоставља, да су звезде и Сунце непомичне, „да је Сунце средиште око кога кружи Земља, као и кугла непомичних „звезда и да је та кугла толико велика, да обим земљине путање, према „удаљењу непомичних звезда, стоји у истом односу као средиште кугле „према њеној површини.“ Али ова генијална идеја изгледала је бесмислена. *Клеанш* је подигао тужбу против *Аристарха* што „поремећајем земљиног мировања“ хули богове. — *Аристорхова* идеја је брзо прешла у заборав и непомичност Земље је и даље остала непорочан принцип тако, да чак ни *Хипарх* није пришао *Аристарховом* мишљењу.

И доцније је било неколико научењака, који су се дизали против геоцентричног система, као на пр. *Марцијанус Капела* (у V. столећу по Хр.) или *Кардинал де Куза* (1401 до 1464 г.), који је тврдио да Земља кружи око Сунца. Али и те идеје нису биле примљене, и још дуго се, скоро пуних 14 столећа, одржао Хипархов и Птоломејев систем. Посматрачима неба је овај систем света давао јасно објашњење свих небесних кретања тако, да су се против њега мало бунили и да је овај систем тек појавом *Коперника* био уздрман.

Коперников систем. — Око половине XVI-ог столећа изнео је пољски астроном *Николај Коперник* (1473 до 1543 год.) нову теорију о светском систему, у којој обара све дотадашње системе. Њему је компликованост Птоломејевог система изгледала неприродна и почео је да проучава разне туђе назоре о кретању небесних тела, али их је он више проучавао као филозоф, него као математичар. Циљ његовог рада је био да одстрани заплетеност кретања код небесних тела и дошао је до закључка да се то може учинити само тако, ако се Сунце стави у средиште светског система. Основи тога система су објављени још за Коперниковог живота у „Commentariolus“-у, али је цео рад отштампан тек у години његове смрти, у знаменитом делу, које је посветио Папи Павлу III.[1])

У посвети Папи Павлу III. *Коперник* износи на који је начин дошао до идеје о хелиоцентричном систему. Он прво износи разлоге о предности хелиоцентричног система према Птоломејевом геоцентричном систему. Пре свега доказује да постоји светска кугла, а затим, да и Земља има облик кугле. Докази за то су појаве при удаљењу лађе на морској пучини и облик земљине сенке на Месецу, при месечевим помрачењима. И

[1]) *Nic. Coppernicus,* De revolutionibus orbium coelestium libri VI.— Norimb. 1543

он стоји на *Питагорином* принципу, да су кретања небесних тела кружна или састављена од кружних кретања, али одбацује назор о непомичности Земље.

Коперник се о својим идејама изражава отприлике овако: И ако хелионцентрично мишљење може изгледати смешно, ипак пажљиво посматрање показује да је старији назор смео, јер ми расуђујемо само према релативним кретањима и посматрамо небо са Земље. Стара наука је поставила Земљу у средиште света, али се истим правом може мислити и то, да она није у средишту света, него да је, као и остале планете, удаљена од светског средишта. Осим тога, некоји научењаци су мислили да се Земља обрће око своје осовине, али, ако се Земља креће, било би логично да се небо привидно креће у супротном правцу. На тај начин би се добило вероватно објашњење о неједнакостима кретања.

На основу тог размишљања *Коперник* долази до закључка, да Земља, поред обртања око осовине, може имати и друго кретање, слично кретању планета. То доказује фактом, што је Земља само једно зрнце у односу према удаљењу звезда. Ако је тако, тада је природније да се креће Земља, а не кугла непомичних звезда. При томе је *Коперник* дошао до идеје о општој гравитацији. Ако се Земља обрће око своје осовине и ако кружи око Сунца, тада би се због брзине кретања предмети на Земљи растурили, а то се не догађа. И с тога он закључује овако: „Ја мислим да је гравитација извесно природно привлачење, „које је Творац дао свима деловима, да их све спаја уједно и претвара „у кугле. Може се мислити, да исти узрок делује и код Сунца, Месеца и „других планета и да им је он дао „кружан облик, који им не смета у „њиховој разноликој револуцији (кру„жењу)“.

Скица 67.

Напослетку, *Коперник* износи облик свог светског система. Он је поставио Сунце у средиште света, Земљу је уврстио у планете и поставио ју је између Венере и Марса, а за Месец је узео да кружи око Земље. И он је очувао систем кружења, ексцентричних кругова и епициклоса, али је ипак претпоставио да су међусобна удаљења планета све већа, што су удаљеније од Сунца. Осим тога је *Коперник* прилично тачно одредио трајање револуције код појединих планета, јер тек мало одступају од истине.

При свем том Коперников систем није био примљен као доказана истина и признање му је тек делимично дато. Његовим схватањем је примена рачунских метода на одређење небесних кретања заиста знатно

олакшана, али се већина није могла помирити са овим мишљењем, баш због његове једноставности. Њему се замерало што је претпостављао да се Земља креће, а није могао да одреди звездане паралаксе.[1]) Наравно, тада се није знало, да су звезде толико удаљене, да би Земља, према тим огромним удаљењима, изгледала као тачка и да јој се паралакса не би могла одредити. Тек неколико деценија доцније, појавом *Кеплера* и *Галилеја*, победила је истина у свим научењачким круговима.

Тихо Брахеов систем. — *Тихо Брахе* (1546 до 1601 год.) је од детињства заволео Астрономију и као младић је отишао у Немачку ради научних студија. Када се вратио у Данску краљ *Фридрих II.* му је дао острвце Huene, подигао му је опсерваторију, набавио најбоље инструменте и дао му велику потпору да може вршити посматрања. Пуних 15 година је *Тихо Брахе* непрекидно радио и чинио најпажљивија посматрања. Али је по смрти *Фридриха II.* пао у немилост и на позив цара *Рудолфа II.* отишао је у Праг, где је наставио рад.

Незадовољство, које је изазвао Копернихов светски систем, дало је можда подстак *Тиху Брахеу* да постави други систем. И ако је *Брахе* веома ценио *Коперника* ипак је хтео да одржи непомичност Земље, што би с једне стране задовољило папске кругове, а с друге стране остало у сагласности са Генезом Старог Завета. Тај систем је, према томе, требао да ублажи револуцијонаран Коперников систем.

Брахе је намеравао да, према свом систему и својим дотадашњим посматрањима, изда нове индексе планета под именом *Tabulae Rudolphinae*, али је ускоро умро и рад је остао необјављен. Међутим је *Брахе* пре смрти поверио радове свом ученику *Кеплеру* и замолио га да очува и одржи његове хипотезе. Значај његових радова ће се видети доцније при помену *Кеплер*ових закона.

Скица 68.

О *Тихо Брахеовом* систему може се рећи оволико: Осведочен о противљењу, које је изазвао *Коперников* систем и тачно оцењујући значај упрошћавања у томе систему, он је замислио други систем, који је доста сличан *Коперник*овом систему. У Тихо Брахеовом систему се показује доста прегледан распоред небесних кретања, али уједно и тежња да се докази наших чула и даље очувају. По његовом систему је Земља непомична (скица 68.). Директно око Земље се крећу Месец и Сунце у ексцентричним кружним путањама. Све планете круже око Сунца, а Сунце окружи једанпут годишње Земљу. Осим тога Месец,

[1]) в. поглавље *Удаљења непомичних звезда.*

Сунце, планете и звезде се једанпут дневно окрену око небесне осовине и на тај начин дају појаве дневног кретања.

Да је Брахеов систем изнесен пре Коперниковог он би се могао одржати, јер је био јаснији и правилнији од Птоломејевог система, а можда би се и овако одржао, да није тако брзо умро. Извесни доцнији астрономи су Брахеов систем побољшали, јер су признали да се Земља обрће око осовине, али је радовима *Галилеја* и *Кеплера* ова теорија оборена и Астрономија је почела да улази у нову фазу.

Радови Галилеја. — *Галилео Галилеји* (1564 до 1642. год.) је најпризнатији италијански математичар, физичар и астроном. Он је први усавршио телескоп и с помоћу њега учинио је многа знаменита открића. Свој рад са новим телескопом почео је у Падови 1609. год. и у њему је изнео драгоцене доказе за тачност Коперникових назора.

Галилеј је први успео да види појединости на површини разних небесних тела. Он је доказао да на Месецу има планина и прорачунао им је висине. Он је открио пеге на сунчевој плочи, с помоћу којих је одредио трајање сунчевог обртања око осовине и тиме дао први прилог у корист Коперниковог система. Венерине и Марсове фазе револуције такође су му пружиле доказ у корист Коперникових идеја; осим тога, открио је четири Јупитерова месеца, видео је њихова помрачења и доказао њихово кружење око Јупитера. То је био нов аргумент за пријем Коперниковог система.

Ови несумњиви и свима приступачни докази задивили су научењачке духове и, захваљујући Галилеју, Коперникова идеја се почела ширити. Своје назоре о томе Галилеј је изнео у делу *Dialoghi sopra i due sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano,* али је после тога био од папства осуђен, што није хтео да се одрече од „лажне науке о двоструком кретању Земље.“ Тек 1757. год. конгрегација у Риму је скинула забрану са „Списка забрањених књига“, у коме су биле расправе о Астрономији, али са Галилејевог „Диалога“ скинута је тек 1835. године.

Али и доцније су, после Галилејевих открића, чињене разне замерке Коперниковом систему чисто са научног гледишта. Њих је оборио тек *Кеплер* са својим законима и од тада је Коперникова теорија стављена на непоколебљиву основу.

Закони планетарног кретања.

Док се држало да планете круже око Земље, кретања су им била толико компликована, да је било врло тешко, скоро немогуће да се популарно изразе. Међутим, цео систем небесног кретања постаје много јаснији кад

Сунце стави у средиште нашег сунчаног система. *Кеплер* је у својим знаменитим делима[1]) тај проблем решио, али ће се из даљег излагања видети, колико је тешкоћа имао док је дошао до позитивних резултата.

Откриће Кеплерових закона.

Немачки математичар и астроном *Јован Кеплер* (1571 до 1630 год.) био је у Прагу ђак Тихо Брахеа, а после његове смрти је постао астроном и астролог цара Рудолфа II. Кеплер је заједно са својим учитељем радио на проучавању Марсових кретања и знао је са колико је пажње и тачности *Тихо Брахе* вршио посматрања и прорачунавао резултате. Он се и после *Брахе*ове смрти бавио проучавањем Марсових кретања, али је тада дошао до закључка, да се у *Тихо Брахе*овим резултатима налази грешка од 8′ до 9′. Уверен у тачност његових мерења, *Кеплер* је мислио да грешка није у резултату посматрања, него у нечем другом. О томе се Кеплер овако изражава: „Божија доброта је у Тихо Брахеу „подарила толико тачног посматрача, да је грешка од 8′ немогућа. Треба „бити захвалан Богу и извући корист из овога дара; треба открити „грешку у нашим претпоставкама .... Тих 8′, које не смемо пренебрег„нути, пружиће нам средство да преиначимо целу Астрономију.“

И ако је *Кеплер* тежио да одржи своје обећање и очува нетакнуте *Тихо Брахе*ове хипотезе, он је био приморан да се од њих одвоји и да пође за својим идејама.

Кеплер је с тога морао да одбаци *Брахе*ову геоцентричну хипотезу, одбацио је и компликовану *Птоломеј*еву теорију о ексцентричним кружним путањама и епициклосима, и стао је на *Коперник*ово гледиште, али са извесним ограничењима.

По њему је Сунце у средишту светског система, а све планете, заједно са Земљом, круже око Сунца, као што је доказао за Марса. Али, пошто ми посматрамо Марса са Земље, и пошто се Земља креће, мора се прво утврдити кретање Земље, да се дође до тачног појма о Марсовом кретању, а то је тешка ствар. *Кеплер* се тада посветио томе питању.

Први задатак му је био да одреди Земљину путању. То питање је успео да реши с помоћу кретања Марса. Ослањајући се на солидан материјал *Тихо Брахе*а и на своја посматрања, *Кеплер* је претпоставио да Земља *(T)* и Марс *(M)* круже по равни еклиптике око Сунца *(S)* (скица 69.). Та путања је, истина, непознатог облика, али се ради прве оријентације може узети као круг.

Ако је Марс у опозицији са Сунцем све три ће звезде стајати у

---

[1]) *Astronomia nova seu physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus G. V. Tychonis Brahe* (1609.) и *Harmonices mundi libri V.* (1619.)

правој линији STM. Али, Сунце мирује, а Земља и Марс се крећу, и то, Земља се креће много брже по својој путањи TT_1T_2 него Марс по путањи MM_1M_2. Док Земља обиђе целу путању $TT_1T_2T_n\ T$, Марс обиђе тек нешто више од половине своје путање; а, док Марс једанпут сврши своју револуцију и дође у тачку M, Земља је скоро двапут обишла своју путању, и не налази се у тачци T, него у тачци T_n. Обе планете се крећу и даље, али Земља брже него Марс и, после 75 дана, кад Марс дође до тачке M_1 своје путање, Земља га је стигла, и доспела до тачке T_1. Тада је Марс поново у опозицији са Сунцем. Од прве опозиције STM до друге ST_1M_1 прође око 800 дана, од друге до треће опозиције ST_2M_2 прође опет 800 дана и т. д. У првој опозицији, т. ј. на месту STM, Сунце, Земља и Марс се нађу отприлике после 8 марсових и 15 земљиних револуција. Тај однос даје могућност да се одреди трајање марсове револуције. Пошто Земља окружи око Сунца за 365·25 дана, добија се једначина са обрнутим односом, по ком је

Скица 69.

$$8 : 15 = 365{\cdot}25 : x$$

Према томе је $$x = \frac{365{\cdot}25 \times 15}{8} = 686{\cdot}98^{\,d}$$

Марсова револуција, дакле, траје око 687 дана.

Ова вредност има основан значај: Она је непроменљива величина и с помоћу ње се може одређивати удаљење Земље од Сунца при најразличитијим положајима. И ово се може најјасније показати у графичном приказу, који је изнесен у скици 70.

Ако се пође од Марсове опозиције STM, он ће после 686·98 дана поново доспети на исто место M. Земља ће за то време свршити скоро две револуције. Она ће бити у тачци T_1, а према Марсу ће се показати разлика TT_1. Да Земља сврши два кружења треба јој $2 \times 365{\cdot}25$ дана, а она је међутим кружила око Сунца само 686·98 дана, јер та вредност одговара Марсовој револуцији. Према томе је

Скица 70.

$$TT_1 = (2 \times 365{\cdot}25) - 686{\cdot}98 = 43{\cdot}5^{\,d}$$

Лук TT_1 одговара углу $\sphericalangle T_1ST = \sphericalangle T_1SM$.

Величина угла се добија из односа

$$365{\cdot}25^{\,d} : 43{\cdot}5^{\,d} = 360^0 : \sphericalangle T_1ST$$

и тада је $$\sphericalangle T_1ST = \frac{360 \times 43{\cdot}5}{365{\cdot}25} = 43^0 = \alpha$$

Угао $ST_1M = \beta$ може се одредити директним визирањем из земљиног средишта према средишту Сунца и Марса. Ако је $SM = R$, а $ST_1 = r_1$ тада је однос међусобних удаљења изражен формулом:

$$r_1 : R = sin\ [180^0 - (\alpha + \beta)] : sin\ \beta$$

Из ње се добије за $r_1 : R$ одређена вредност.

После идуће Марсове године, т. ј. идућег свршетка револуције, Марс ће понова доћи у тачку M, али ће Земља у то време бити у тачци T_2. Тада је $\sphericalangle T_2SM = 86^0 = \alpha_1$, а $\sphericalangle ST_2M = \beta_1$ и према томе је

$$r_2 : R = sin\ [180^0 - (\alpha_1 + \beta_1)] : sin\ \beta_1$$

Однос $r_2 : R$ и у том случају даје одређену вредност.

Из свих тих релација: $\frac{r_1}{R}, \frac{r_2}{R}, \frac{r_3}{R}, \ldots \frac{r_n}{R}$ може се одредити средња вредност $\frac{r_m}{R}$. У њој је r_m средње удаљење Земље од Сунца.

Ако се сваки појединн однос подели са $\frac{r_m}{R}$, дакле

$$\frac{r_1}{R} : \frac{r_m}{R}, \frac{r_2}{R} : \frac{r_m}{R}, \frac{r_3}{R} : \frac{r_m}{R}, \ldots \frac{r_n}{R} : \frac{r_m}{R}$$

добија се као резултат

$$\frac{r_1}{r_m}, \frac{r_2}{r_m}, \frac{r_3}{r_m}, \ldots \frac{r_n}{r_m},$$

т. ј. свакодневно удаљење Земље од Сунца r, у односу према средњем удаљењу r_m.

Кеплер на основу *Тихо Брахеових* посматрања је прорачунао удаљења Сунца за први дан годишњих месеца, као и угаоне брзине кретања, и дошао је до ових резултата:

положај Сунца	1.I.	1.II.	1.III.	1.IV.	1.V.	1.VI.	1.VII.	1.VIII.	1.IX.	1.X.	1.XI.	1.XII.
удаљење r	0.983	0.985	0.991	1.000	1.008	1.014	*1.017*	1.015	1.008	1.000	0.991	0.986
угаона брзина π^0	*1.020*	1.015	1.002	0.986	0.970	0.957	0.953	0.957	0.969	0.986	1.003	1.015

Ако се на ових 12 праваца, који су један од другог удаљени за 30^0, унесу вредности r, и ако се споје њихове крајње тачке, добиће се облик елипсе, са Сунцем у једној жижи.

Према томе је Кеплер поставио свој *први закон*, који гласи: *Планете описују око Сунца елипсе, у чијој једној жижи је Сунце.*

После серије нових хипотеза, које је *Кеплер* у току свога рада износио, дошао је и до решења свог другог закона. Он је полазио од

претпоставке ексцентричних кругова. Закон о површинама вреди очигледно у случају једноликих кружних кретања. *Кеплер* је видио да се то догађа и код ексцентричног круга, у случајевима, кад је Земља близу афела A и перихела P (скица 71.). Тада су у ексцентричном кругу, на екванту E, угаоне брзине исте, јер је $\sphericalangle AEA_1 = \sphericalangle PEP_1$, али је дужина лукова неједнака, јер је $AA_1 < PP_1$. Из тога је рачунским путем закључио да ће површина ASA_1, са врхом у сунчевој жижи, бити једнака површини PSP_1. Према томе је *Кеплер* мислио да ће исти случај бити и код елипсе, јер је и она ексцентрична.

Скица 71.

Ово се може јасније видети ако се узму у обзир брзине земљиног кретања. Напред су одређене угаоне брзине с помоћу којих се може видети за који се угао Земља у току дана покрене по својој путањи око Сунца. У перихелу, када је полупречник најмањи, угаона брзина има највећу вредност $\vartheta_P = 1.020$; са повећањем полупречника опада и угаона брзина, и у афелу има најмању вредност $\vartheta_A = 0.953$. Пошто је ϑ у обрнутом односу са крадратом r, мора бити $r^2\vartheta =$ *конст.*, тј. непромењљива вредност. А, пошто је $r\vartheta$ пројекција лука, кога Земља пређе у једном дану, мора $r^2\vartheta$ бити двострука површина, коју радијус вектор пређе у току дана. Та површина је, према томе, увек константна ма на ком делу путање била Земља. Према томе се долази до *другог закона* који гласи: *Стално променљива брзина, којом планете круже око своје елипсе је таква, да радијус вектор прелази површине, које су пропорцијоналне времену*, или нешто јасније: *Радији вектори елипсе пређу за иста времена једнаке површине.*

Док је *Кеплер* своја прва два закона изнео још 1609 г., у делу *De stella Martis*, трећи је закон открио тек десет година доцније. *Кеплер* је себи замишљао да је сунчани систем машина и да су сва кретања у вези. Али је тада потребно изнаћи математичан однос између кретања разних планета. Он је приметио да се трајање револуције може довести у везу са дужином путање, јер што је дужа путања, дужа је и револуција. Он је на основу тога закључио да постоји математичан однос, али какав је тај однос није могао да реши. С тога је чинио покушаје. Прво је покушавао са обичним односима између дужине и трајања, затим између њихових квадрата и кубуса. Доцније је покушавао са дужином и кубусом трајања; са квадратом дужина и кубусом трајања, али ни у томе није успео. Покушавао је на све начине; остављао је свој рад и понова га почињао. Једва је, у последњој свесци свога *Harmonices mundi*, поставио *трећи закон*, по коме: *Квадрати револуцијоног времена двеју планета стоје у правом односу са трећим степеном њихових средњих удаљења од Сунца.*

Из ових излагања се види, да је првим законом дефиниран *облик планетарних путања*, да је другим законом одређена њихова *брзина кретања*, док се трећим законом утврђују *везе између разних планета*, с помоћу којих се могу одредити њихова удаљења од Сунца, ако је за једну планету то удаљење познато.

Откриће Њутнових закона.

Доста доцније после математичног облика Кеплерових закона они су добили и физички облик. То је успео да дâ енглески физичар и математичар *Исак Њутн* (1642 до 1727 год.), који је поставио Кеплерове законе на физичку основу. Тражећи њихове узроке и последице, он је скупио сва три Кеплерова закона у један једини принцип, принцип универзалне гравитације. Резултати тога знаменитог рада изнесени су у делу *Principia naturalis philosophiae mathematica*[1]). И ако начин *Њутн*овог рада није нигде изнесен, ипак се, према његовим ранијим радовима, може закључити, какав је био ток његових мисли.

Још 1655. год. Њутн је поставио питање: да ли би исти узрок, због кога тела падају на земљину површину, могао да одржава Месец у његовој путањи кружења? Он је дошао до закључка да је то могућно и хтео је да своје мишљење потврди рачунским доказима. Резоновање у том питању је отприлике овако: Нека је у скици 72. земљино средиште и средиште месечеве путање у тачци T, нека је месечево средиште у L, нека је земљин полупречник $TP = r$, а полупречник месечеве путање нека је $TL = R$.

У једном кратком времену, на пр. у једном минуту, Месец ће на својој путањи прећи пут LB. Ако би хипотетично привлачење Земље престало да делује на Месец у тренутку кад пролази кроз тачку L, он би се даље кретао по правој линији LA, дакле у правцу тангенте, и после једног минута би доспео у тачку A. У истини је он у тачци B, и та разлика AB је земљина привлачна снага, која га је привукла из тачке A у B.

Скица 72.

Даљи задатак је да се упореде две величине: 1. дужина линије AB, која се може геометријским путем прорачунати с помоћу полупречника месечеве путање R, и 2. утицај земљине привлачне снаге на удаљењу Месеца. Ова са удаљењем опада према непознатом закону, кога је потребно утврдити.

Дужина AB може се лако прорачунати, јер се добија из Питагориног правила.

Према њему је (1.) $\overline{AT}^2 = \overline{AL}^2 + \overline{LT}^2$,

[1]) Прво издање је изашло у Лондону 1687 год.

а, пошто је $AT = AB + BT$, а $BT = LT = R$
добија се даља једначина

$$(2.) \quad (AB + R)^2 = \overline{AL}^2 + R^2$$

Али, пошто је време, за које Месец пређе од тачке L до B, веома кратко, може се узети да је лук LB једнак тетиви LB и дужини LA, и према томе се горња једначина мења у облик

$$(AB + R)^2 = \overline{LB}^2 + R^2$$

и даље

$$(2\,a.) \quad \overline{AB}^2 + 2\,AB \cdot R = \overline{LB}^2$$

У формули (2 а.) је AB према удаљењу Месеца од Земље толико мало да се први члан $\overline{AB}^2$ може избацити и тада ће бити

$$(3.) \quad AB = \frac{\overline{LB}^2}{2R}$$

Величине у тој формули су у главном познате. Зна се, да је удаљење R око $60\,r$[1]). Према томе је позната и вредност $2R$. С друге стране је показано да са тетива LB, због краткоће времена, може заменути луком LB. Величина тога лука да се непосредно одредити с помоћу полупречника R и трајања месечеве револуције. На тај је начин одређено, да би се Месец за време једног минута приближио према земљином средишту за 15 стопа, т. ј. за линију AB.

Друго питање је да се одреди, колики је утицај земљине привлачне снаге на удаљењу Месеца. Тај утицај се може одредити према привлачној снази на земљиној површини, која је од земљинога средишта удаљена за $TP = r$. Тело, које пада према земљиној површини спусти се у првом секунду за 15 стопа. Пошто је *Галилеј* утврдио, да се при паду тела дужина пада за сваки идући секунд повећа са квадратом времена, тело ће се за 60 секунада, т. ј. за 1 минут, спустити за 15×60^2 стопа.

Али на удаљењу R, на коме је Месец, привлачна снага мора бити мања. Ако се претпостави да привлачна снага опада у обрнутом односу са другим степеном удаљења, она ће на удаљењу Месеца бити за R^2 пута мања. Пошто је однос $r : R = 1 : 60$, биће земљина привлачна снага на Месец изражена овом формулом:

$$\frac{15 \times 60^2}{R^2} = \frac{15 \times 60^2}{60^2} = 15 \text{ стопа.}$$

Та иста вредност је, међутим, нађена и за величину AB, т. ј. за колико се Месец приближи од правца његове тангенте према Земљи.

Том једнакошћу бројева се потврђује хипотеза, да гравитација опада у обрнутом односу са квадратима удаљења. Доцније је *Њутн* до-

---

[1]) в. одељак *Одређење звезданих удаљења.*

знао за *Пикаро*во степенско мерење у Француској, потражио је његове резултате и с помоћу њих је утврдио да се његов теоријски резултат потпуно слаже са реалношћу. И тада је, у својим *Principia,* у дугом низу повезаних једначина дошао до закључка, да Сунце привлачи све планете и да су привлачне снаге пропорцијоналне њиховим масама, а у обрнутом односу да стоје са другим степеном њихових удаљења. Доцније је, на основу истог закона, показао, да је тежа само особени случај ове гравитације. Идући још даље, *Њутн* је дошао до принципа универзалне гравитације: Када се узме у обзир да су димензије Сунца и Земље, према њиховом удаљењу, толико мале, да се могу сматрати као материјалне честице, може се поставити општи принцип, по коме се *два молекила материје привлаче у правом односу са њиховим масама, а у обрнутом односу са квадратом њихових удаљења.* Тај закон је изнесен у формули, која је позната под именом *формуле централних снага*:

$$G = k\,\frac{m\,m_1}{d^2}$$

У њој је G акцелерација теже или привлачна снага, m и m_1 масе двају молекила, d њихово удаљење, а k интензитет гравитацијоне снаге или интензитет снаге, којом се привлаче две јединке маса на јединици удаљења. Према томе је k гравитацијона константа.

С помоћу овог закона је доказана и тачност Кеплерових закона, али, док *Кеплер* говори о кретањима, *Њутн* употребљава снаге.

Кад неко тело при своме кретању одступа од праве путање и креће се кривом линијом, мора постојати извесна снага, која га скреће са правог пута. Таква снага постоји и код планета, а кретање, где је снага увек управљена према истој тачци, зове се *централно кретање.* За то кретање важи закон о површинама уопште, без обзира на облик путање дотичнога тела. Ако је S тело веће масе, а T тело мање масе (скица 73.), веће тело ће привлачити мање тело. Према томе би, услед гравитацијоне снаге, тело T после кратког времена t доспело до тачке A. Али, пошто се тело креће има и центрифугалну снагу, које делује у правцу тангенте, и због које би за исто време t доспело у тачку B. У истини ће према закону снага доспети у тачку T_1. Према закону инерције тело би се и даље кретало истим правцем, т.ј. линијом TT_1C и брзином $TT_1 = t = T_1C$, кад не би и овде утицала привлачна снага, која га вуче у тачку D. Због обе делујуће снаге тело T доспе после идућег времена t из тачке T_1 до тачке T_2 и т. д.

Скица 73.

Пошто два троугла, са истом базом и истом висином, имају једнаке површине, добиће се следећи односи

$\triangle STT_1 = \triangle ST_1C$, јер је $TT_1 = T_1C$, а висина ST_1 заједничка

и даље $\triangle ST_1T_2 = \triangle ST_1C$, јер је T_1S заједничка база. а $T_1C \# T_2D$

и с тога је $\triangle STT_1 = \triangle ST_1T_2$

Ако је трајање времена t веома кратко, поједине ће се тачке T, T_1, T_2, T_3 и т. д. приљубити сасвим путањи, којом се Земља теоријски креће, и тада ће лук и секанта имати приближно исте вредности. С тога је други Кеплеров закон о површинама тачан.

Њутн је из закона о површинама закључио, да Сунце привлачи сваку планету. Из елиптичне природе планетарних путања и из сунчевог положаја закључује, да привлачна снага Сунца варира у интензитету. Снага је јача кад је тело ближе Сунцу, а слабија кад је тело удаљеније. Интензитет снаге је у обрнутом односу са квадратом планетиног удаљења: ако је удаљење 4 пута веће, снага је 16 пута слабија.

То су два Њутнова закона, која је извео из два Кеплерова закона.

Да би протумачио трећи Кеплеров закон, *Њутн* уводи појам *масе*. Два тела имају исту масу, ако под истим условима и у истом систему снага имају исто кретање. Када би све планете биле једнако далеке од Сунца, биле би снаге које их привлаче Сунцу пропорцијоналне њиховим масама. Сатурн би био привлачен 92 пута јачом снагом него Земља, јер је његова маса 92 пута већа од земљине масе. Али, он би се с тога кретао према Сунцу 92 пута теже, ма да би обе планете пале на Сунце са истом брзином. Према томе би све планете, које су једнако удаљене од Сунца, биле привлачене са истом јачином и у истом тренутку би пале на Сунце. Другим речима, привлачна снага је за иста удаљења иста, ма колике да су масе тела. Та независност од масе била је већ раније доказана познатим *Галилеј*евим опитом на кули у Пизи. Он је спустио са врха куле две оловне кугле, од којих је једна била двапут тежа од друге, и обе су у истом тренутку пале на земљину површину.

Полазећи од тог факта *Њутн* је поставио хипотезу универзалне гравитације, по којој се два разна тела привлаче истом снагом, као што је доказано за магнет и гвожђе. Према томе се сме рећи, да се Сунце и Земља међусобно привлаче једнаком снагом, али, пошто је Земља несравнено мања, подлежна је привлачној снази Сунца и следује јој. Кад не би било центрифугалне снаге, Сунце би се кретало према Земљи, Земља би се кретала према Сунцу. Пошто њихови путеви стоје у обрнутом односу са масама, Земља би имала 330000 пута дужи пут, јер је сунчева маса 330000 пута већа од земљине масе, и спојили би се после 68 дана. Али, ако би Земља од почетка имала импулзију у извесном правцу, на пр.

центрифугалну снагу, она би кружила око већег тела, Сунца, у елиптичном облику.

То исто се показује и код свих осталих планета. И код њих су масе несрављено мање према сунчевој маси. Ако се пође од претпоставке, да су планетарне масе према сунчевој маси M толико незнатне, да се могу изједначити, т. ј. да је $m_1 = m_2 = m_3 = \ldots\ldots$, и да све круже око Сунца, може се добити једноставан и јасан појам о Њутновом доказу III. Кеплеровог зекона.

Брзина планетарног кретања је $v = \frac{2r\pi}{T}$, ако се са r означи удаљење планете од Сунца, а са T време планетарне револуције. Тангенцијалан импулс, односно центрифугална снага, је $f = m\frac{v^2}{r}$, али, пошто је претпостављено да су масе једнаке, може се формула уопштити и добити облик $f = v^2 : r$.

Ако се узму у посматрање две планете, које круже око Сунца, њихове центрифугалне снаге су:

$$f_1 = \frac{v_1^2}{r_1} = \frac{(2r_1\pi : T_1)^2}{r_1} = \frac{4r_1\pi^2}{T_1^2}$$

$$f_2 = \frac{v_2^2}{r_2} = \frac{(2r_2\pi : T_2)^2}{r_2} = \frac{4r_2\pi^2}{T_2^2}$$

Кад би ова снага код обе планете изненадно престала, оне би се радијално кренуле према Сунцу. Пут који би прешла прва планета у првом секунду био би $(4r_1\pi^2 : T_1^2)$, а код друге планете би тај пут био $(4r_2\pi^2 : T_2^2)$. Али, обе ове величине су пропорцијоналне и *Њутн*овим гравитацијоним снагама, која је за прву планету

$$k\frac{m_1M}{r_1^2}, \qquad \text{а за другу} \qquad k\frac{m_2M}{r_2^2}$$

Пошто је претпостављено, да је $m_1 = m_2 = \ldots = m$, гравитацијоне снаге ове две планете су $k\frac{mM}{r_1^2}$ и $k\frac{mM}{r_2^2}$

На основу тога се добија следећи однос

$$\frac{4r_1\pi^2}{T_1^2} : \frac{4r_2\pi^2}{T_2^2} = k\frac{mM}{r_2^2} : k\frac{mM}{r_1^2},$$

а, ако се избаце једнаке вредности, добија се формула

$$\frac{r_1}{T_1^2} : \frac{r_2}{T_2^2} = \frac{1}{r_2^2} : \frac{1}{r_1^2}$$

и даље $$\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2} = \textit{конст.} \quad \text{или} \quad T_1^2 : T_2^2 = r_1^3 : r_2^3$$

То је математичан облик трећег *Кеплер*овог закона, изражен *Њутн*овим законом универзалне гравитације.

Дошавши до тог знаменитог принципа, *Њутн* је доказао не само Кеплерове законе, него је дао и објашњење за велике појаве у сунчаном систему. Он је доказао, да Земља због своје ротације мора да је спљоштена, и одредио је закон промена у тежи на земљиној површини. Он је показао да привлачењем Месеца и Сунца настају периоде приме и осеке. Он је први доказао да је прецесија створена сунчевим и месечевим привлачењем, услед испупчености земљиног екватора. Он је изнео да су и комете праве звезде и да подлеже истим законима као и остале звезде.

Проблем о три тела. — У свом принципу опште гравитације *Њутн* је дошао и до једног даљег закључка, по коме Кеплерови закони вреде само у случају ако делују два тела. Међутим, поред Сунца постоје и друге планете и с тога су Кеплерови закони тек приближни истини. Сва друга тела, осим Сунца, изазивају поремећаје, који се показују у неправилности елиптичних путања. Под утицајем неког трећег тела облик елипсе постаје вијугав и у нормалном елиптичном облику настане *пертурбација*. То је *Њутнов проблем о три тела,* кога је он покушавао да реши, али није успео да га рачунски потврди.

Тек у XVIII. столећу је проблем о три тела донекле решен побољшањем рачунских метода. Тим су се питањем бавили многи научењаци, од којих су најпознатији *Ајлер, Клеро, д'Аламбер, Лагранж* и *Лаплас.* Решење проблема о три тела своди се на интеграцију једног система од шест диференцијалних једначина. При томе се служи методом сукцесивних апроксимација тако, да први резултат даје елиптично кретање, други резултат даје основне пертурбације, а при свакој даљој рачунској операцији облик кретања је све тачније одређен.

Дефинитивно је тај знаменит проблем решен тек у XIX. столећу. То решење је везано за име *Сундмана*, али га је он решио са чисто теоријског гледишта, и на обична се прорачунавања небесне механике не може употребити.

Ипак је још *Лаплас* (1749 до 1823 год.) у својим резултатима доказао постојаност сунчаног система и показао је, да принцип атракције, који се у први мах показује као елемент нереда, осигурава светској машини бескрајно трајање. Своју стабилност дугује наш сунчан систем двема околностима: скоро кружном облику планетарних путања и њиховим слабим међусобним нагибима.

Откриће нових планета.

И ако је основа Коперниковог система и до данас одржана, ипак је тај систем доцнијим проучавањем знатно попуњен.

Још *Кеплер* је, при упоређењу планетарних удаљења од Сунца, закључивао, да полупречници путања расту према једноставном закону, који показује неправилност једино између Марса и Јупитера. Између

њих је веома велик празан простор и вероватно у њему постоји нека невидљива планета. Доцније је на разне начине покушавано да се тај закон утврди, у чему је успео *Титиус*, али је он везан за име *Боде*-а.

Према *Бодеовом* закону треба поћи од броја 3, затим га удвостручити и сваки идући број удвостручавати до 192. Све те бројеве треба исписати један иза другог. Венеру треба означити са 3, а сваку удаљенију планету са све већом вредношћу али тако, да између Марса и Јупитера остане празно место. Затим треба сваком броју, па и Меркуру и неозначеном броју, додати 4 и добијене суме поделити са 10. Тиме се добију планетарна удаљења од Сунца, где је удаљење Земље од Сунца означено са 1.

Ме	Ве	Зе	Ма		Ју	Са	Ур
	3	6	12	24	48	96	192
4	4	4	4	4	4	4	4
0.4	0.7	1.0	1.6	2.8	5.2	10.0	19.6

Пошто је математички облик овог закона потврђивао Кеплерову хипотезу, и пошто добијена удаљења приближно одговарају истини[1]), то питање је дискутовано на астрономској конференцији 1800 год. и решено је да се непозната планета тражи. *Пиаци* је у Палерму већ 1. Јануара 1801 год. опазио малу звезду у сазвежђу Бика, која се идућег дана померила на небу за 5′. Посматрања је вршио неколико дана, али је тада оболео и када је оздравио није могао да ју више нађе. Доцније је *Гаус* пронашао нову рачунску методу за одређење планетарних путања, при кратком времену посматрања, и на основу Пиацијевих проматрања је доказао тачност своје методе. 1802 год. управио је телескоп на небо и нашао је Пиацијеву звезду. Она је према осталим планетама врло мала, удаљена је од Сунца за 2·8 удаљења Земље, а раван њене путање је доста стрмо нагнута према еклиптици. Та звезда је названа *Ceres*. Исте године је *Олберс* у Бремену открио другу, исто толику малу планету, скоро на истом удаљењу од Сунца, али јој је путања доста издужена, а нагиб према еклиптици благ. Олберс ју је назвао *Pallas*.

Али, проналазак ове друге планете стоји у контрадикцији са Бодеовим законом. Да би ју протумачио, *Олберс* поставља хипотезу, да је раније око Сунца кружила планета земљине величине, на удаљењу 2·8 земљине даљине од Сунца. Унутрашњим потресом се она распала на пуно ситних делића, који се повинују првобитној брзини и сунчевој привлачној снази, па с тога круже око Сунца у елиптичним путањама. Место, где се та планета распала је вероватно тамо, где се секу путање познатих делића. За Церес и Палас су та места на небу с једне стране у сазвежђу Девојке, а с друге стране у сазвежђу Кита (Cetus) и *Олберс* је мишљења да на тим местима треба вршити посматрања. На тај је начин 1804 год.

[1]) в. таблицу на стр. 114, колона „средње удаљење од Сунца у даљинама Земље.“

откривена мала планета *Јуно*, а 1807 год. *Веста*. Те сићушне планете су назване *планетоиди* и данас је познато преко 900 таквих звезда. Карактеристично је, да се извесни планетоиди толико приближе Сунцу, да дођу између Марса и Земље, као на пр. планетоид *Ерос*.

Доста раније пре покрића планетоида, *Виљем Хершел* је при посматрању неба 1781 год. открио једну малу звезду плочастог облика и, кад ју је идуће ноћи посматрао, видео је да је променула место. *Хершел* је према томе закључио да је та звезда комета. Астрономи су покушавали да јој одреде путању, али нису успели. Доцније су чињени покушаји са издуженим елипсоидима и тек кад се однос између дужине велике и мале осовине знатно смањио добијен је прилично тачан резултат. Тиме је доказано да је та звезда планета, која је названа *Уранус*. Уранус је много удаљенији од свих познатих планета у Коперниковом систему, јер му револуција траје 84 године и с тога изгледа сасвим мали. Али, због великог удаљења, знатно је отежано одређење елемената код уранусове путање. Тај тежак рад је предузео *Бувар*. Он је одредио елементе на основу дотадашњих посматрања и извео је таблице ураносовог кретања, узимајући у обзир утицај Сатурна и Јупитера. Међутим, резултати доцнијих посматрања су показивали све већа и већа одступања од Буварових таблица.

Доцније је *Ле Верие* понова покушао да прорачуна пертурбације Јупитера, Сатурна и Урануса и дошао је до закључка, да је уранусова теорија немогућа, ако не постоји још једна огромна планета, која је толико удаљена од Сунца, да сатурново кретање не може пореметити на осетљив начин. *Ле Верие* се тада латио неизмерно тешког проблема да одреди елементе непознате планете, употребивши сва помоћна средства анализе. Прво је имао да одреди нагиб путање према еклиптици, чворове између еклиптике и планетарне путање, правац велике осовине, ексцентричност и величину путање, средње удаљење од Сунца и масу непознате планете.

Резултате свог прорачунавања је *Ле Верие* изнео у париској Академији Наука 1845, 1846 и 1847 год. Главан резултат је био да се непозната планета 1. Јануара 1847 год. мора налазити на $326^0 57' \pm 10'$ хелиоцентричне дужине.[1]) *Ле Верие* се у Септембру 1846 год. писмено

---

[1]) *U.-J. Le Verrier, Recherches sur les mouvements d'Uranus.* — Comptes rendus de l'Acad. des Sciences. Tome XXII. Janv.-Juin 1846. Paris 1846. — стр. 907—918. О томе се *Ле Верие* у споменутом изводу изражава овако:

„Да не бих у овај извод уносио свако сувише апстрактно расматрање, ограничићу се да вас упознам са изразом дужине у 1. Јануару 1847. То је најважнији циљ мога рада; то је резултат који ће посматрачима служити као полазна тачка да открију ново небесно тело. Ако је m маса планете, која се односи на десетхиљадити део сунчеве — узете за јединку —, а α неодређена вредност нашао сам да

обратио *Галеу* и молио га да телескопом посматра предео неба, који му је означио. 23. Септембра исте године је *Гале* на потсдамској опсерваторији опазио звезду 8-ог степена, која није била убележена у каталоге. Од означеног места је била удаљена само за $1^0 24'$, а сутрадан се помакла на место које је прорачунао *Ле Верие*. Тиме је истинитост Њутнових теорија непобитно доказана, а Ле Вериеово откриће означава триумф астрономске науке. Левериеова нова планета названа је *Нептун*. Мала Ле Вериеова грешка од $1^0 24'$ може се протумачити тим, што је планета 1840 год. била у најповољнијем положају и што јој је годишње угаоно кретање врло незнатно.

Напослетку, *Ле Верие* и *Тисран* држе да има интермеркуријалних астероида, који су по димензијама слични оном мајушном небесном телу, које је *Лескарбол* видео да пролази испред Сунца. Они држе да је довољно око 20 таквих астероида, који би скупа имали величину Меркура, да се могу протумачити неправилности у меркуровом кретању.

Карактеристика планетарних путања.

Општа карактеристика. — Општи облик планетарних путања је елипса, са Сунцем у једној жижи. Велика осовина у њој зове се *апсидна линија*[1]), јер спаја крајње тачке засвођене елиптичне путање. Сунце је у жижи F_1 (скица 74). Најближа и најудаљенија тачка планетарне путање мора лежати на апсидној линији. Тачка путање која је најближа Сунцу зове се *перихел* P, а тачка у којој је планета најудаљенија је афел A. Мала осовина MM_1 нема нарочито име. Она је ипак од важности, јер линија од тачке, у којој се секу мала и велика осовина до жиже, у којој је Сунце, означава дужину *линеарне ексцентричности*

Скица 74.

$$OF_1 = e = \sqrt{AO^2 - MO^2} = \sqrt{a^2 - b^2}$$

Међутим је за познање облика планетарних путања важнија *нумерична ексцентричност* или однос линеарне ексцентричности према великој осовини, дакле $\varepsilon = e : a$. Она се може прорачунати према величини сунчеве плоче у оним данима, када се планета налази у афелу и перихелу.

је хелиоцентрична дужина планете, изражена у хексагезималним степенима, за 1. Јануар 1847:

$$\nu = 314^0{,}5 + 12^0{,}25\,\alpha + \frac{1}{m}\left\{20^0{,}82 - 10^0{,}79\,\alpha - 1^0{,}14\,\alpha^2\right\}$$

„Претресање ове формуле, с обзиром на границе којима треба m и α да буду обухваћене, ... показује, да, ако се положај планете за 1. Јануар 1847 означи са 325 степена хелиоцентричне дужине, грешка неће бити већа од 10^0.

„Такав је главан резултат до кога сам дошао.“ (стр. 917.)

[1]) ἁψις = лук, свод, спајање.

Величина сунчеве плоче је обрнуто пропорцијонална удаљењу, јер што је Сунце ближе, т.ј. што је мање удаљење, тим изгледа веће. Ако је афел $AF_1 = \alpha$, а перихел $PF_1 = \beta$, и ако је $FO = OF_1 = e$, биће

$$\alpha = a + e$$

$\beta = a - e$, а субтракцијом ће се добити, да је

$$(1.)\ \alpha - \beta = 2e$$

Ако се у формулу $\varepsilon = e : a$ унесе вредност (1) добиће се формула

$$(2.)\ \varepsilon = [(\alpha - \beta) : 2] : a = (\alpha - \beta) : 2a$$

Под претпоставком да је $a = 1$, формула (2) ће добити нов облик

$$(2\ a)\ \varepsilon = \frac{\alpha - \beta}{2} = \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2}\right) = \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha\beta}{\alpha 2}\right) = \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right)\frac{\alpha}{2}$$

За Земљу је привидан сунчев пречник при перихелу $S_p = 32'32''$ при афелу $S_a = 31'28''$, дакле је $\beta : \alpha = 1888'' : 1952'' = 0.967213$

а
$$\left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) = 1 - 0{\cdot}967213 = 0{\cdot}032787$$

Али, пошто се код елипсе са врло малом ексцентричношћу сме узети да је $\alpha = a = 1$, то ће се као прва апроксимација добити једноставнија формула

$$(2\ b)\ \varepsilon = \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right)\frac{1}{2} = 0{\cdot}016393$$

У истини је 1900 год. нумерична ексцентричност била 0·016750.

У средњем удаљењу од Сунца планета се налази двапут годишње[1]), када је у крајњим тачкама мале осовине, дакле на местима M и M_1. Тај положај планета је карактеристичан, јер представља једну особеност планетарних путања. То се може показати с помоћу ових факата. Познато је, да су код елипсе суме радија вектора једнаке великој осовини и с тога ће бити $FP + PF_1 = FQ + QF_1 = FM + MF_1 = 2a$. Даље ће се видети, да је у троугловима MFO и MF_1O висина оба троугла иста, да је $\sphericalangle MOF = \sphericalangle MOF_1 = 90^0$ и да је $FO = FO_1$. Из тога се може закључити, пошто је $FM + MF_1 = 2a$, да је $FM = MF_1 = a$, и затим извући правило: да је *средње удаљење извесне планете од Сунца увек једнако половини апсидне линије.*

Кад је сунчева паралакса и величина привидног пречника у афелу и перихелу позната, лако је одредити све остале вредности, које се тичу облика земљине путање. Према величини сунчеве паралаксе, $\pi = 8{,}8''$, добијају се ове вредности:

средње удаљење Сунца	$F_1M = a$	= 149,481.000 км
апсидна линија земљине путање	$AP = 2a$	= 298,962.000 „

[1]) Сигурније је рећи двапут за време планетарне револуције, јер „године“ код разних планета имају врло неједнаке дужине.

линеарна ексцентричност	$OF_1 = e$	= 2,504.000 км.
удаљење Земље у афелу	$AF_1 = \alpha$	= 151,985.000 „
удаљење Земље у перихелу	$PF_1 = \beta$	= 146,977.000 „
разлика између α и β	$\alpha - \beta = 2e$	= 5,008.000 „
обим земљине путање	$2a\pi\left(1 - \frac{\varepsilon^2}{4}\right)$	= 939,200.000 „

Најглавније елементе планетарних путања и земљиног месеца показује следећа таблица:

звезда	време сидеричног кружења	угаона брзина за 1 дан[1]) у степенима	линеарно кретање за 1 секунду у км.	средње удаљење од Сунца у		ексцентр. путање	нагиб према еклиптици
				даљинама Земље	мил. км.		
Меркур	87^d, 969	4° 2′ 12″	47,3	0,3871	57,9	0,206	7° 0′
Венера	224^d, 701	1° 36′ 8″	35,0	0,7233	108,1	0,007	3°24′
Земља	365^d, 256	59′ 8″	29,8	1,0000	149,5	0,017	0° 0′
Марс	1^a 321^d, 724	31′ 27″	23,7	1,5237	227,8	0,093	1°51′
Јупитер	11^a 314^d, 772	4′ 59″	13,1	5,2028	778	0,048	1°19′
Сатурн	29^a 116^d, 777	2′ 0,″4	9,6	9,5388	1426	0,056	2°30′
Уранус	84^a 4^d, 786	42,″2	6,8	19,1910	2869	0,046	0°46′
Нептун	164^a 286^d, 726	21,″5	5,4	30,0707	4495	0,009	1°47′
Месец	27^d, 3217	13°10′ 35″	1,02	0,00257	0,384	0,0549	5° 9′

Код планетоида је ексцентричност већином већа него код планета, док је код осталих планетарних месеца већином знатно мања него код земљиног месеца, али су и код планетоида и код свих осталих планетарних месеца, са изнимком јупитерових, нагиби према еклиптици кудикамо већи.

О величини појединих планета може се добити појам ако је познат угао под којим се посматрачу са Земље показује њихов пречник при средњем удаљењу Земље од Сунца.

Планетарно кретање према хелиоцентричном систему.

Сва заплетена кретања код планета изгледају много једноставнија и могу се лакше и разумније протумачити ако се стане на Коперниково становиште, а с помоћу Кеплерових закона могу се потпуно доказати: њихово убрзавање и успоравање, као и њихова непомичност и кретање у натраг или ретроградација. Те неправилности су једино последице неједнаких угаоних брзина код разних планета, које су уне-

[1]) Појам *угаоне* или *ангуларне брзине* је ово: Брзина се изражава формулом $v = l : t$, где l означава дужину пута, а t време или трајање кретања. Пошто код кружних кретања дужину означава обим путање, дакле $l = 2r\pi$, а време ротацију или револуцију, биће $v = 2r\pi : t$. У тој једначини је $2\pi : t = \omega$, т.ј. угаона брзина. Она је за сва кружна кретања константна вредност.

сене у таблици на страни 114. Из ње се уједно показује и то, да је угаона брзина тим мања што је време планетарног кружења дуже.

Истинска кретања планетâ и разне појаве, које се виде са Земље, најбоље ће се показати на примеру. Нека је у скици 75. означено Сунце

Скица 75.

са S, Земља нека је означена са T, а једна од горњих планета са P. Њихове револуцијоне путање $T_1T_8T_1$ и $P_1P_8\ldots$ имају скоро кружне облике, и правци њиховог кружења су означени стрелицама, док спољашњи кружни лук означава део небесне кугле. Код земљиног кретања се види, да је време од T_1 до T_2 исто времену од T_2 до T_3, и да је време од T_2 до T_3 исто времену од T_3 до T_4 и т. д. Према томе је

$$T_1T_2 = T_2T_3 = T_3T_4 = \ldots.$$

То исто вреди и за горњу планету P; код ње је

$$P_1P_2 = P_2P_3 = P_3P_4 = \ldots.$$

али је и $$T_1T_2 = P_1P_2 \text{ и } T_2T_3 = P_2P_3 \text{ и т. д.}$$

Међутим, *дужине путева*, које те две планете пређу у истом времену су неједнаке. Јасно је, да је дужина T_1T_2 већа од дужине P_1P_2, дакле је и $$T_2T_3 > P_2P_3 \text{ и } T_3T_4 > P_3P_4 \text{ и т. д.}$$

Том неједнакошћу у дужини путева настају све неједнакости код планетарних кретања, као што ће се видети из даљег излагања. Ако се Земља у извесном тренутку налази у тачци T_1, а планета у тачци P_1, тада ће пројекција планете на небесну куглу пасти у тачку *1*. После извесног времена t Земља ће доћи у положај T_2, планета у положај P_2, а њена ће пројекција на небу пасти у тачку *2*. Из скице се види да пројекција планете показује нормално кретање, у правцу кретања Земље. Али, кад Земља дође у положај T_3, а планета у P_3, њена пројекција на небесну куглу пашће опет у тачку *2*. Другим речима, планета се привидно није померила са места, јер је $2 = 3$. То је *стационарно стање*.

Кад Земља дође у положај T_4, а планета у P_4, пројекција ће бити у тачци *4*, али ће привидно изгледати, да се планета по небесној кугли креће у супротном правцу Земље, као што показује стрелица. Тај појав је *ретроградација*. После времена t Земља је у T_5, планета у P_5, а пројекција у тачци *5*. Планета се понова креће у правцу кретања Земље, али веома споро, као што показује удаљење *4 — 5*. Али од тога тренутка кретање планете се убрзава, што се и из пројекција види, јер је $5-6 < 6-7 < 7-8$. Према овом убрзавању се може закључити, да се планета успоравала у кретању од P_1 до P_2.

Кретања Месеца.

У практичном животу има кретање Месеца доста велики значај, с тога и о њему треба нешто опширније говорити.

Месец је округлог облика са врло изразитим рељефом, који је у главном настао јаким вулканским ерупцијама из месечеве магме. На њему нема воде ни у којем облику, а и ваздух је толико разређен да је скоро неурачунљив, јер су остатци некадашње атмосфере вероватно реасорбирани под утицајем стварања коре. Месец је потпуно хладан, сасвим счврснут, а кора му је распуцана.

Месец је релативно велико небесно тело. Он је нешто мањи од Меркура, јер му је полупречник дугачак 1737 километара, али је само четири пута краћи од земљиног полупречника. Према томе му је површина 38 мил. км². Због његове близине и величине, он је, поред Сунца, привидно највеће небесно тело.

Код Месеца је нарочито карактеристично, да му је трајање ротације једнако револуцији. То је разлог што је према Земљи увек окренута иста месечева страна. Узрок томе појаву је тражио *Лагранж* (1736 до 1813 г.) и по њему је вероватно, да је на Месецу, у ранијој фази живота, било великих количина воде. Под утицајем земљине привлачне снаге стваране су на Месецу плиме, као што их он данас проузрокује на Земљи. Тада су, приликом плиме, настајала нагомилавања маса око његових екваторијалних предела; Месец се брже обртао око своје осовине, али је Земља својом привлачном снагом задржавала воду и успоравала месечево кретање. На крају крајева је Земља успела да га задржи од обртања и од тада он показује увек исту страну. Доцније се почео хладити, стврднуо се и тако је остао.

Револуцијоно кретање Месеца је много компликованије. При његовом кружењу око Земље он врло јако подлежи утицају Сунца, из разлога: што Сунце није сувише удаљено, што је земљина маса, према сунчевој, релативно мала и Месец не добија довољно јак нагон за кретање. Зато су у кретању Месеца дубоки поремећаји, и прорачунавања његових кретања су веома тешка. Код јупитерових месеца тих тешкоћа

нема. Он је много удаљенији од Сунца, а много већи од Земље, и с тога много јаче утиче на своје месеце.

Узроци заплетености месечевог кружења су у овом. Кад би Земља мировала Месец би око ње окружио у року од 27,3217 дана, и према томе би се у току једног дана померио од Запада на Исток за $360^0 : 27{,}3217 = 13^0 10' 35''$. Та периода од $27^1/_3$ дана названа је *сидеричан месец*. Али пошто се и Земља по својој путањи креће средњом дневном брзином од 59′8″, Месецу треба 2,21 дан дуже да поново дође у исти положај према Сунцу и Земљи. Та разлика у једном дану износи око 110 минута, и пошто се небесна кугла привидно креће у правцу од Истока на Запад, Месец ће се сваког идућег дана појавити око 50 минута доцније, а око 50 минута раније ће заћи.

Други узрок заплетености његовог кретања је доста велика ексцентричност његове путање (0.0549), услед чега кружи доста неједнаком брзином; осим тога, он се по небесном простору креће као земљин пратилац тако, да му путања никад не може имати облик затворене елипсе. У том погледу он има, донекле, улогу епициклоса. Његова путања се око земљине путање обвија у вијугастом облику, али му конвексна страна није никад окренута Сунцу. Због своје велике ексцентричности Месец се знатно више приближује и удаљава од Земље, него Земља у односу према Сунцу. Док је месечево средње удаљење од Земље 384.400 км, он се у *перигеуму*, кад је најближи Земљи, приближи за 21100 км, а при *апогеуму* се за исту вредност удаљи. Разлика износи 42200 км, а то је скоро девети део месечевог удаљења од Земље.

Месечеве фазе. — При своме кружењу око Земље, Месец показује разне облике. Ти облици се зову *месечеве фазе*, које су изнесене у скици *76*. У њој је S Сунце, T Земља, круг око ње је теоретски облик месечевог кружења, а кругови на њему означују Месец у разним фазама. Праве стрелице показују правац сунчевих зракова, а стрелице у кругу правац месечевог кретања.

Скица 76.

У скици су изнесени осам главних положаја. Кад су Сунце и Месец у конјункцији тада је Земљи окренута осенчена страна Месеца и то је појава *новог Месеца*. Кад се Месец по својој путањи помери за 90^0 настаје *прва четврт*. Угао Сунце — Земља — Месец је 90^0 и са Земље се може видети половина осветљене и половина тамне површине. Када је Месец у опозицији са Сунцем јавља се *пун Месец*, и тада се на Земљи

види цела осветљена половина Месеца. Када се Месец поново помери за 90° настаје *трећа четврт*. И сад се може видети половина осветљене и половина тамне површине. Али, док је у првој четврти десна половина била светла, а лева половина тамна, у трећој четврти је десна половина тамна, а лева је осветљена.

То су четири главне месечеве фазе. Време конјункције и опозиције су т. зв. *сизигија*[1]) или *мене*, а прва и трећа четврт су *квадратуре* или *уштапи*. Четири положаја, који полове ове праве углове, зову се *октанти*. Од важности су први и трећи октант, јер се Месец тада показује у облику српа. Кад почне да расте он има облик обрнутог латинског *C* (☽), што донекле одговара латинском *D*, кад иде на мањак, после друге четврти, добије облик латинског *C* (☾). Из тог разлога је постала стара пословица, са алузијом на римско *C* и *D*: „Luna est mendax; si crescit, decrescit; si decrescit, crescit.“

У првим данима месечевог растења, или у последњим данима опадања, срп му је веома узан. Тада се у слабој светлости види и цео неосветљен део, т. зв. попуна српа. У тој се фази Месец зове *менискос*[2]). У Астрономији је овај појав светлости назван *пепељавом светлошћу Месеца* и прво његово објашњење дао је *Лионардо да Винчи*. Тај појав се може протумачити овако: Као што Месец добија светлост са Сунца, тако ју исто добија и Земља, и један део своје светлосги рефлектује на Месец. Кад ју Месец одбаци са себе ми тада примамо двапут рефлектовану светлост и зато ју видимо као мутну светлост конвексног дела месечеве површине. Појав мутне светлости је могућан с тога, што је Месец у тим временима толико мало осветљен, да не може уништити утицај рефлектоване светлости.

Из скице 76. се види и ово: При сваком новом Месецу он је најближи Сунцу, док је при пуном Месецу најдаље од њега. С тога се у првој половини месеца, од мене до уштапа, показује успорено кретање Месеца, јер се тада удаљава од Сунца и мора да врши отпор његовој привлачној снази. У другој половини месеца, од уштапа до мене, креће се много брже, јер се приближује Сунцу. Највеће разлике у кретању се показују при квадратурама. При првој четврти је кретање најспорије јер се тада све више удаљава од Сунца а при трећој четврти је најбрже јер се све већма приближује Сунцу. То је главан узрок неједнаком кретању Месеца.

Кретање Месеца по небу и светлосне појаве. — Трајање месечеве светлости је веома различито, што се може најјасније показати на примеру. Нека се пође од пролетње равнодневице и нека је пун Месец. Он се тада јавља са пуном светлошћу на источној страни ви-

[1]) од грчког συν = заједнички и ζύγιον = јарам, веза.

[2]) μηνισκός = мали месец, од грчког μην, μηνος = Месец.

дика, у тренутку кад Сунце зађе за Запад. Тада се обе звезде налазе на удаљењу од 180°. Пун Месец сија целе ноћи; он се постепено пење до меридијанске висине од $37^1/_2{}^0$, затим се постепено спушта и нестане на Западу чим се Сунце роди. Идућег дана Месец око 50 минута доцније изађе на Истоку и око 50 минута раније зађе на Западу, али му је и излазак и кулминација и залазак нешто јужније него прошлог дана. Месец од тада све јужније излази и залази, све краће време светли и све слабија му је светлост.

После седам дана Месец је у другој четврти и десна половина му је мрачна. Месец се тога дана јави тек око поноћи; око рађања Сунца — у 6 часова ујутру — он кулминира, затим почне да бледи и око поднева зађе. Тада је доспео до своје најјужније тачке на небу.

Од тада почиње поновно пењање, и после идућих 6 до 7 дана Месец се појави близу источне тачке, непосредно пре рађања Сунца. Од њега се види само узан срп, али, чим се Сунце роди Месец нестане и онда се извесно време никако не види. Тада излази и залази са Сунцем и услед сунчевог блеска је невидљив. Отприлике два дана доцније, Месец се, после сунчевог заласка, појави на источној страни неба, опет као узан срп. Сваког идућег дана пење се све више и више, све дуже светли и све је унији. У првој четврти се појави око 6 часова у вече и светли све до поноћи, а по истеку 28 дана понова се појави као пун Месец, Али, у том случају се не појави на источној тачци видика као прошлог месеца, него јужније од ње. Земља је тада већ прешла на јужну страну неба и он се са Земљом креће јужно од небесног екватора.

Из овог посматрања се може добити појам, како се Месец креће од дана до дана. При дужем ће се посматрању видети, да појаве, које су се виделе за првих 28 дана, неће бити исте у идућих 28 дана. Да би се добио прави облик месечеве путање, која се привидно показује као увојита линија, треба поступити на исти начин као и код привидног кретања Сунца. Потребно је опет посматрање звезде, која се у извесном дану додирује са извесном тачком месечеве ивице. То посматрање треба вршити периодично, и према разликама у висини дотичне тачке Месеца и звезде упоређења, добија се појам о облику праве месечеве путање. На тај се начин долази до закључка да месечева путања стоји са еклиптивом под углом од 5°9′.

Последњи поремећај у кретању Месеца настаје услед тога, што се положај апсидне линије код његове путање веома брзо мења. Перигеум се годишње помери за 40°40′ са Запада на Исток.

Помрачења.

Кад би месечева путања око Земље и земљина путања око Сунца стајале у истој равни, Сунце би једанпут у месецу било у опозицији са

Месецом, а једанпут у конјукцији. У случају кад би се Земља ставила између Сунца и Месеца, дакле при пуном Месецу, морало би настајати помрачење Месеца, у другом случају опет, кад би се Месец ставио између Сунца и Земље, дакле при новом Месецу, било би помрачење Сунца. Али је напред изнесено да је месечева путања нагнута према еклиптици, т. ј. према земљиној путањи, под углом од $5^{0}9'$ и с тога је Месец доста ретко у конјукцији и опозицији са Сунцем. То је узрок што помрачења настају много ређе него месечеве мене, и што се јављају само тада, кад је Месец при менама близу чворова земљине и своје путање.

Помрачења Месеца. — Помрачења Месеца настају кад је Земља између Сунца и Месеца, т.ј. кад су ова три тела скоро у истој линији и кад Месец уђе у земљину сенку. Ако је у скици 77. S средиште Сунца, T средиште Земље, а спојна линија сунчевог и земљиног средишта или удаљење Земље од Сунца ако је $ST = D$, тада ће две тачке на тој линији K_1 и K_2 имати особене карактеристике. Права линија, која спаја горњу ивицу Сунца A и горњу ивицу Земље B, сече се са правом линијом, која спаја доње ивице Сунца A_1 и Земље B_1, у тачци K_2. Она је карактеристична с тога, што спољашња купа од Земље (BB_1) до тачке K_2 ограничава простор *пуне сенке или умбре*. С друге стране се линија, која спаја горњу сунчеву ивицу A са доњом земљином ивицом B_1 и линија, која спаја доњу сунчеву ивицу A_1 са горњом земљином ивицом B сече у тачци K_1, чија је карактеристика у том, што је она теме унутрашње купе BB_1K_1 и што с друге стране Земље ограничава простор *полусенке* или *пенумбре*. (У скици нису означене тачке A_1 и B_1).

Пошто је помрачење Месеца условљено уласком у земљину сенку, потребно је, пре свега, одредити њену величину[1]). Дужина земљине сенке

Скица 77.

$TK_2 = l$ зависи у главном од величине сунчевог полупречника $SA = R$, земљиног полупречника $TB = r$ и удаљења Земље од Сунца D. Она се може одредити ако се са ST повуче паралелна линија aB и паралелна линија bc; тада ће бити $ST \# ab$, а $TM_2 \# bc$, осим тога ће се добити

[1]) в. детаљније излагање о помрачењима у *Dr. Norbert Herz*, Lehrbuch der mathematischen Geographie. Wien u. Leipzig. Carl Fromme. 1906. — стр. 132—144.

два слична троугла: $\triangle AaB \sim \triangle BTK_2$. У њима се показују овакви односи:

$$TK_2 : TB = ST : Aa$$

или $$l : r = D : (R - r)$$

и тада је $$l = \frac{r \times D}{R - r}$$

Ако се удаљење Месеца M_2 од Земље T означи са $d = M_2T$, а полупречник земљине сенке на удаљењу Месеца ако се означи са $\rho = cM_2$, добиће се из сличних троуглова $\triangle AaB \sim \triangle Bbc$ следећа пропорција:

$$aB : Aa = bc : Bb$$

или $$D : (R - r) = d : (r - \rho)$$

Из ове једначине се добије однос за $(r - \rho)$:

$$(r - \rho) = \frac{(R - r)\, d}{D}$$

и према томе је $$\rho = r - (R - r)\frac{d}{D}$$

У горњим формулама су познате вредности: $R = 109\, r$, $d = 60{\cdot}27\, r$ и $D = 387\, d = 23330\, r$, а с помоћу њих се одреде вредности:

$$l = 216\, r = 1{,}375\,920 \text{ км.}$$

и $$\rho = 0{\cdot}72\, r = 4586 \text{ км.}$$

Од ових двеју вредности је важнија ρ, јер је њоме означена дужина или трајање помрачења. Месечев полупречник има дужину од $r_1 = 1740$ км. а плоча му је 2·63 пута мања од $2\,\rho$ (9172 : 3480), према томе *тотално помрачење Месеца* може настати и ако није у еклиптици, него ако је до 2850 км. (4586 – 1740) изван ње. Другим речима, пошто полупречник земљине сенке, на месечевом удаљењу, одговара углу од 41′.1 геоцентричне ширине, и пошто је месечев полупречник 15′.5, он ће бити помрачен све дотле, док му се средиште не удаљи од средишта сенке преко 25′.5 геоцентричне ширине. Ако се ови односи пренесу на небесну куглу, потпуно помрачење ће трајати дотле, док удаљење месечевог средишта од чворова не буде веће од 4°45′.

Међутим, не треба мислити да је Месец при потпуном помрачењу сасвим таман. Он је и тада видљив и показује се као мрко-сива до затворено сиве плоче.

Чешће се догађају *делимична* или *парцијална помрачења Месеца*, кад само један део месечеве плоче уђе у земљину сенку. То може бити у случајевима, кад је месечево средиште удаљено од еклиптике од 2850 км. до 6326 км. (4586 + 1740) или од 25′.6 геоцентричне ширине до 41′.1 + 15′.5 = 56′.6 геоцентричне ширине. Ако се ови односи пренесу на небо, парцијалних помрачења ће бити све дотле, док се месечево

средиште не удаљи од чворова више од $10^0 32'.2$. При парцијалним се помрачењима показује само на једном делу Месеца таман кружан лук, који доказује округлину Земље. Али је код парцијалних помрачења карактеристично, да Месец изгледа помрачен чим уђе у земљину полусенку. Још чешће се догађа да Месец доспе само у полусенку M_1. У тим случајевима не настаје истинско помрачење, него мање-више интензивно слабљење светлости.

Све што је до сада речено вреди за средње удаљење Месеца од Земље. Али, границе помрачења се мењају, јер се мењају и удаљења. С тога је при перигеуму простор помрачења много већи, јер је Месец ближи подножју купе, него при апогеуму, када је ближи врху. За перигеум ($d_p = 57\ r$) и апогеум ($d_a = 63{\cdot}7\ r$) добијају се ове вредности:

	при перигеуму	апогеуму
полупречник сенке ρ	44′.4	38′.0
тотално помрачење до удаљења од чворова за	6⁰0′	3⁰30′
парцијално помрачење до удаљења од чворова за	13⁰20′	7⁰50′

Помрачења Сунца. — Ако се Месец M стави између Сунца S и Земље T у исту раван њихове спојне линије настаје помрачење Сунца, јер тада месечева сенка падне на известан део земљине површине, за који је Сунце помрачено. И овде је потребно да се најпре одреди дужина месечеве сенке, помоћу које се може добити полупречник месечеве купе, на удаљењу Земље од Месеца. Ове односе показује скица 78. Већина вредности у њој има исте ознаке као у скици 77, али

Скица 78.

је овде са l означено удаљење Месечевог средишта M од врха купе K_2, или дужина купе; дакле је $MK_2 = l$. Пошто је Сунце веома удаљено од Месеца, а још удаљеније од Земље, може се узети да је линија $AS \parallel BM$, и тада се из сличних троуглова $\triangle AaB \sim \triangle BMK_2$ добија следећа пропорција:

$$MK_2 : BM = aB : Aa.$$

У тој формули је $aB = SM$, и пошто је $SM = ST - MT = D - d$, може се горња пропорција изразити овако:

$$l : r_1 = (D - d) : (R - r_1)$$

Из овог се односа може прорачунати дужина сенке, јер је

$$l = \frac{r_1 (D - d)}{(R - r_1)} = \frac{r_1}{(R - r_1)} (D - d)$$

Према раније изнесеним вредностима излази да је $l = 0.00251\ D$, т. ј. да је $= 58{\cdot}43\ r$. Али је у том случају дужина месечеве осенчене купе краћа од месечевог удаљења од Земље, и Сунце се не би могло помрачити; међутим је познато, да је удаљење Месеца променљиво, од $57{\cdot}0\ r$ до $63{\cdot}7\ r$. Из тога се може закључити, да ће у извесним случајевима врх месечеве осенчене купе бити изван антиподне тачке Земље, у другим случајевима да ће бити у унутрашњости Земље или само тангирати њезину површину, док у осталим случајевима неће ни доспети до Земље. На тај се начин стварају разни облици сунчаних помрачења.

Тотална помрачења Сунца настају само у временима, кад је Месец у перигеуму, а Земља у перихелу. Тада је Месец најближи Земљи, а Земља најближа Сунцу, и у том случају би за посматрача са места A (скица 78 а.) цело Сунце било помрачено. Месец се у том случају налази у положају M_1. Тангенте из посматрачевог ока на месечеве ивице падају на сунчеву плочу у тачке bb_1 и тангирају његове ивице. С тога Месец потпуно заклони Сунце и настане тотално помрачење. Оно се никад не види са целе Земље, него је ограничено на веома мален простор. Врх месечеве купе K_2 може у крајњем случају да буде за $0{\cdot}4\ r = 2548$ км. изван антиподне тачке или за $1{\cdot}4\ r = 8918$ км. изван земљиног средишта и тада Земљу осенчи мали круг са полупречником cg (скица 78), у чијем обиму леже земљини предели са тоталним помрачењем Сунца. Величина тог простора, или полупречник осенченог круга на Земљи, добија се из сличних троуглова $\triangle BMK_2 \sim \triangle cgK_2$ у скици 78. Они показују ову пропорцију:

Скица 78 а.

$$MK_2 : gK_2 = BM : cg$$

У тој формули је $gK_2 = MK_2 - Mg$, а $cg = \rho$, т. ј. полупречник осенченог круга на Земљи; али пошто је $MK_2 = l$, а $Mg = MT - gT = d - r$, биће: $gK_2 = l - (d - r)$, и добиће се нов однос, по коме је:

$$l : (l - d + r) = r_1 : \rho$$

Према томе је:

$$\rho = \frac{r_1 \times (l - d + r)}{l} = \frac{l + r - d}{l} \cdot r_1$$

, пошто је $l = 58{\cdot}43\ r$, биће:

$$\rho = \frac{59{\cdot}43\ r - d}{58{\cdot}43\ r} \cdot 0{\cdot}273\ r = 0{\cdot}00467\ (59{\cdot}43\ r - d)$$

Свакако ће осенчен круг имати највећу вредност кад је Месец у перигеуму, т. ј. када је $d_p = 57{\cdot}0\ r$. Тада је

$$\rho = 0.00467\ (59{\cdot}43\ r - 57{\cdot}0\ r) = 0{\cdot}011353\ r = 72{\cdot}33 \text{ км.}$$

У том случају је пречник осенченог круга 144.66 км. а помрачена површина Земље 16436 км². Али, пошто се Земља обрће око своје осовине, привидно ће се кретати и круг сенке. Земља се обрће линеарном брзином од 460 cos φ метара за секунду, са Запада на Исток, а брзина, којом се Месец креће по својој путањи са Запада на Исток, износи око 950 м/сек. Према томе ће се осенчен круг кретати брзином од 950 — 460 cos φ м/сек; на екватору се креће брзином од 490 м/сек., а у нашим географским ширинама ($\varphi = 41^0$ до 46.6^0) брзином од 593 до 606 м/сек. Пошто је дужина осенченог круга $2\rho = 144.66$ км, на екватору ће помрачење трајати $(144660 : 490) = 4$ минута 55 секунада, а у нашим пределима од 4 минута 4 сек. до 3 минута 59 сек. То је, уопште, најдуже помрачење Сунца. — Помрачење ће бивати све краће, т.ј. биће ограничено на све мањи простор, што се врх купе K_2 већма ближи земљиној површини, или тачци g. У последњем случају само једна тачка на Земљи има тотално помрачење, које траје тек један тренутак.

Ако врх осенчене купе не допре до Земље, може бити предела на Земљи, у близини централне линије, т.ј. спојне линије Сунца, Месеца и Земље, на којима се Месец пројицира на сунчеву плочу тако, да око њега остане осветљен круг Сунца. У тим случајевима се појављује *прстенасто помрачење Сунца*, а постанак му се може видети из скице 78 а. Кад се Месец, према Сунцу и Земљи, налази у положају M_2, тада ће посматрач са места A имати пројекцију Месеца на сунчеву плочу у кругу cc_1 и централан део Сунца ће му бити помрачен, а периферни делови ће остати светли. Најмање прстенасто помрачење је у она времена, кад је Месец у апогеуму, а Земља у афелу. При ближењу другом екстрему ће прстен постајати све ужи и све већи ће део сунчеве плоче бивати помрачен.

Изван зоне тоталног помрачења настаје зона *парцијалних* или *делимичних помрачења*. То су најчешћи случајеви помрачења, при којима месечева кугла помрачи само ивичне делове сунчеве плоче. Та зона је ограничена оним делом осенчене купе, чији врх лежи у тачци K_1 (скица 78). За сваку тачку земљине површине у кругу ee_1, известан ивичан део сунчеве плоче помрачен је Месецом. Тај круг је у скици несразмерно увећан према земљином обиму, јер су, због јаснијег прегледа, унесени несразмерни односи између величине и удаљења ових небесних тела. С тога и изгледа да полусенка излази далеко изван земљиних ивица. У истини, због незнатног месечевог пречника, и великог удаљења Сунца, крајеви полусенке падају на извесне делове земљине по-

вршине. Одређено је, да је полупречник полуосенчене купе, $eg = \rho_1$, на земљиној површини при:

$$d_p = 57{\cdot}0\ r \quad \rho_1 = 0{\cdot}2623\ r = 1670\ км$$
$$d = 60{\cdot}27\ r \quad = 0{\cdot}2776\ r = 1770\ „$$
$$d_a = 63{\cdot}7\ r \quad = 0{\cdot}2932\ r = 1870\ „$$

На тим удаљењима од централне тачке могу се појавити парцијална помрачења. Ако се ови односи пренесу на небо показаће се, да сунчево делимично помрачење настаје само у случају ако му удаљење од равни еклиптике није веће од $1^0 30'$. Из овога се види на колико мање су просторе ограничена помрачења Сунца.

Пошто се Месец креће са Запада на Исток, увек ће се прво помрачити западне ивице сунчеве плоче, и постепено ће се помрачавати све источнији делови, При појавама парцијалних и прстенастих помрачења ненаоружано око не види неке нарочите појаве чак ни онда, кад је 11/12 сунчеве плоче замрачено; с тога тотална помрачења настају доста изненадно. Ипак, и у случају тоталног помрачења, настаје осредњи сутон, при коме се могу разазнати доста ситни предмети. С помоћу обојеног стакла, међутим, могу се видети и ивична и прстенаста помрачења.

Одређење звезданих удаљења.

Раније је показано да свако геодетско мерење на земљиној површини почива на основној бази, чија је дужина одређена тачним премеравањем. Сва већа се удаљења добијају визирањем са оба краја базе према одређеним тачкама. Одређењем њихових углова могу се прорачунати непозната удаљења фиксираних тачака с помоћу правила о троугловима.

Исти је принцип примењен и код одређења дистанција недостижних небесних тела. Још у Старом Веку су удаљења мерена с помоћу *паралактичног угла* или *паралаксе.*[1]) Под паралаксом извесне тачке на небу се подразумева онај угао, под којим би се посматрачу са те тачке показао земљин полупречник. Њоме су се нарочито мерила удаљења Месеца и Сунца, а данас се мере и удаљења непомичних звезда.

Појам о паралакси и о могућности њеног одређења може се добити овако: Ако је у скици 79. C земљино средиште, A ако је посматрач на земљиној површини, $AC = R$ земљин полупречник, L извесна звезда, h њезина висина изнад посматрачевог хоризонта, а $LC = D$ уда-

---

[1]) Првобитан појам грчке речи παράλλαξις означава *промену* или *разлику* у правцу. У Астрономију је унео појам паралаксе вероватно *Хипарх.* Корен те речи је παρά = с оне стране, преко и αλλασσω = мењати, променути.

љење звезде од земљиног средишта, добиће се из троугла ACL следећи однос:

$$CA : CL = \sin p : \sin (90^0 + h)$$

т. ј.

$$R : D = \sin p : \sin (90^0 + h)$$

и тада је

$$D = \frac{R \cos h}{\sin p}$$

Угао p, под којим се из средишта звезде види земљин полупречник AC, зове се *висинска паралакса* звезде L.

Скица 79.

Ако се та звезда спусти до хоризонта, у тачку L_1, тада ће бити $\sphericalangle h = 0^0$, а $\cos h = 1$. У том случају паралакса звезде неће бити $\sphericalangle p$, него $\sphericalangle \pi$. Тај угао се зове *хоризонтална паралакса* звезде L и горња формула се мења у облик

$$D = \frac{R}{\sin \pi}$$

Пошто је $CL = CL_1 = D$, оба горња израза су једнака, т. ј.

$$\frac{R \cos h}{\sin p} = \frac{R}{\sin \pi},$$

и између $\sphericalangle p$ и $\sphericalangle \pi$ постоји однос:

$$\sin p = \sin \pi \cos h$$

Пошто су оба угла, p и π, веома мала, може се место синуса узети лук, и тада формула постаје једноставнија, јер је $p = \pi \cos h$.

У пракси се паралаксе морају уносити као корекције код свих посматрања небесних тела, јер су у астрономским календарима (т. зв. ефемеридама) унесене висине звезда не према привидном хоризонту, него према прáвом хоризонту, т. ј. претпоставља се, да се посматрање увек врши из средишта Земље. Из скице се види, да би звезда L, гледана са правог хоризонта, стајала под углом h_1, док са привидног хоризонта, са посматрачевог места, стоји под углом h. Разлика између ових углова даје висинску паралаксу звезде, јер је $h_1 - h = p$.

I. Методе за одређење сунчеве паралаксе.

Да би се могао решити проблем о удаљењу Сунца од Земље, или сунчеве паралаксе, постојале су још у Старом Веку две разне методе, које су биле озбиљне и ако нису дале тачне резултате. Једна је Аристархова, а друга Хипархова метода.

1. Аристархова метода. — *Аристарх* (око половине III. века пре Хр.) је изнео своју методу у расправи „*О величини и удаљењу Сунца и Месеца*," где се, отприлике, изражава овако: У тренутку када је Месец L дихотоман (пресечен на једнаке делове), дакле у првој четврти, ми, који га опажамо са места A, налазимо се на равни круга, који дели Месец на осветљењу и мрачну половину тако, да је у троуглу SLA, где S означава Сунце, угао на Месецу прав, т. ј. 90^0 (скица 80).

Аристарх је тада мерио $\sphericalangle SAL$ и нашао да је једнак четвртини круга мање тридесети део, дакле 87^0, и тиме је одредио сва три угла правоугаоног троугла Да је графички решио проблем морао би доћи до приближне вредности о удаљењу Земља — Сунце. Да је повукао праву линију од L према S, и према тачци T, и да је на тачци A унео $\sphericalangle 87^0$, и одатле повукао праву линију према правцу S, она би се на извесном месту пресекла са линијом LS. Тада би дужина AL, према дужини AS, непосредно показала однос између удаљења Месеца према удаљењу Сунца. Удаљење се може прорачунати и на други начин, с помоћу троугаоног правила, и у том случају ће бити $AS : AL = sec\ \alpha$, а према томе $AS = AL\ sec\ \alpha$.

Скица 80.

Аристарх је, међутим, пошао другим путем и веома дугим геометријским прорачунавањем одредио, да је Земља око 18 до 20 пута удаљенија од Сунца него од Месеца. Тај резултат је сасвим погрешан, јер је око 20 пута мањи од истине. Али, и ако је теоријски ова метода тачна, она се у пракси тешко може употребити, јер је месечева површина неправилна и не може се утврдити тренутак кад је половина Месеца осветљена. Чак и незнатна грешка у одређењу $\sphericalangle \alpha$ знатно мења дужину линије AS.

2. Хипархова метода. — Много већи практичан значај и научну вредност има Хипархова метода, јер се њоме могу одредити апсолутна удаљења тела, док се у Аристарховој методи одређују само релативна удаљења. Предност Хипархове методе је у томе што је унео у рачун паралаксу.

Да би могао решити овај заплетен проблем, Хипарху је било потребно да прорачуна Месечево удаљење или његову паралаксу. Он је пошао

од тренутка у коме почиње помрачење Месеца, дакле од тренутка кад се Земља стави између Сунца и Месеца. Тај положај показује скица 81. У њој је са LL означена месечева путања, са L_1 почетак, а са L_2 свршетак помрачења. Угао Π је хоризонтална паралакса Сунца, а $\sphericalangle \pi$

Скица 81.

хоризонтална паралакса Месеца, кад је у тачци L_1. Ако је $\sphericalangle r$ привидан сунчев полупречник, а $\sphericalangle \rho$ половина месечеве путање у земљиној сенци, или половина трајања помрачења, добиће се између ова четири угла следећи односи:

$$\Pi + \pi + \sphericalangle ATL_1 = 180^0$$
$$r + \rho + \sphericalangle ATL_1 = 180^0$$

дакле је
$$\Pi + \pi = r + \rho$$

Вредност ρ је *Хипарх* приближно одредио са 40′, а за r је узео да је 15′, дакле, да је

$$(1.) \quad r + \rho = 55' = \Pi + \pi,$$

али није познато какав је однос узео за удаљење Месеца од Земље. За удаљење Сунца од Земље узео је средњу Аристархову вредност $TS = 19$, и према томе је јасно, да и однос између углова Π и π мора бити

$$\pi = 19\ \Pi, \text{ или } \Pi = \frac{\pi}{19}.$$

Ако се $\Pi = \frac{\pi}{19}$ унесе у формулу (1.) биће

$$\frac{\pi}{19} + \pi = \frac{20\,\pi}{19} = 55'$$

дакле је
$$(2.) \quad \pi = (55' \times 19) : 20 = 52'$$
а
$$(3.) \quad \Pi = \pi : 19 = 52' : 19 = 2{\cdot}7'$$

У овим вредностима је месечева паралакса приближно тачно одређена, али је сунчева паралакса 18·5 пута већа него у истини.

Апсолутно удаљење Месеца се може прорачунати, ако се узме да је земљин полупречник $TB = R = 1$. Тада је

$$\frac{R}{TL_1} = \sin \pi$$

и према томе
$$TL_1 = \frac{R}{\sin \pi} = \frac{1}{0{\cdot}0152} = 66$$

Месец би, према томе, био удаљен од Земље за 66 *R*, док је фактично удаљење 60·27 *R*. За удаљење Сунца је, међутим, и Хипарх добио скоро исто онолико погрешну вредност као и Аристарх.

И ако ови резултати нису били тачни, ипак су се одржали кроз цео Стари и Средњи Век, све до XVII. столећа. Али, пошто је принцип одређења био у главном тачан по њему се и доцније радило, али са много бољим инструментима и прецизнијим посматрањима. *Кеплер* је у својим „Ефемеридама" за 1619 год. упутио астрономима молбу да телескопима обнове Аристархово мерење. Томе се одазвао Белгијанац *Венделин* и 1650 год. је својим мерењем на острву Мајорки одредио средњу вредност угла α са $89^0 45'$, која је скоро сасвим тачна, јер је у истини $\sphericalangle \alpha = 89^0 50'$.

3. Метода планетарних пролаза. — Десетак година после своје молбе астрономима, *Кеплер* им је обратио пажњу на пролазе доњих планета преко сунчеве плоче, и изнео је рачунске доказе, да ће се Меркур и Венера у извесним временима ставити између Сунца и Земље и да ће помрачити известан део сунчеве плоче. Од тада су астрономи обратили пажњу тим појавама. *Халеи* је 1677 год., при снимању јужног неба, опазио меркуров пролаз између Земље и Сунца и закључио је, да се та појава може употребити за одређење *астрономске јединке мерења* (т. ј. удаљења Сунца од Земље) и тиме указао на важност планетарних пролаза за одређење сунчеве паралаксе. Али се већ тада изразио, да су за то погоднији пролази Венере, јер је много ближа Земљи. Он је прорачунао да ће Венера помрачити Сунце 1761 и 1769 год. и позвао је будуће астрономе да искористе ту прилику и обнове одређење паралаксе.

Одазивајући се *Халеи*-евом позиву, *Руђер Бошковић* је прорачунао које ће станице бити најпогодније за посматрања и објавио је своје резултате пре првог венериног помрачења Сунца.[1]) Тада су све културне државе послале своје астрономе на разне станице и од тада су добијене прве сигурније вредности о сунчевој паралакси. Први ју је тачније прорачунао *Рише*, приликом свог бављења у Кајени. Посматрања су истовремено вршена у Кајени и Паризу и као резултат је добијена вредност $\pi = 9''.5$. У новије доба се већином посматрају пролази планетоида, а нарочито Ероса, који се Земљи приближи за седмину (0.15) сунчевог удаљења.

Принцип горње методе је ово: У временима кад се планета или планетоид посматрања налази у равни еклиптике, т. ј. кад се на истој правој линији стави између Сунца и Земље, два посматрача на разним географским ширинама треба да проматрају пролаз планете преко сунчеве

---

[1]) *R. Boskovich, De proximo Veneris sub Sole transitus.* — Philos. Transactions 1760.

плоче, и да одреде углове. Ако се Венера V (скица 82.) налази у том положају, тада ће посматрач из A пројицирати Венеру на тачку a сунчеве плоче, а пројекција посматрача из B пашће на тачку b. Пошто је посматрач у B на већој географској ширини, за њега ће венерина пројекција при њеном пролазу преко сунчеве плоче, т. ј. линија b_1b_2 бити краћа, него за посматрача из A на мањој географској ширини, где пројекцији одговара линија a_1a_2 (доња скица). Из трајања венериног пролаза на разним ширинама Сунца могу се прорачунати вредности a_1a_2

Скица 82.

и b_1b_2. Њиховом разликом се добије и диференција сунчеве и венерине паралаксе, а с помоћу ње се може прорачунати величина сунчеве паралаксе.

Из приложене скице се види да је сунчева паралакса за посматрача у B $\sphericalangle BCT = \pi$, а венерина паралакса $\sphericalangle BVT = v$. Даље се види да је у $\triangle CBV$

$$\pi + \sphericalangle CBV + \sphericalangle CVB = 180^0$$

а с друге стране да је $\quad v + \sphericalangle CVB = 180^0$;

према томе је $\quad \pi + \sphericalangle CBV = v$

и тада је $\quad \sphericalangle CBV = v - \pi$

У истом троуглу постоје ове пропорције:

$$(1.) \quad CV : CB = \sin(v - \pi) : \sin v$$

$$\text{и} \quad (2.) \quad CV : VB = \sin(v - \pi) : \sin \pi$$

Пошто се код овако малих углова синуси могу заменути одговарајућим луковима, и пошто је према великим удаљењима Сунца и Венере земљин полупречник незнатан, може се узети да је $CB = CT$ и $VB = VT$. Горње две пропорције (1.) и (2.) се према томе мењају у нов облик:

$$(1\text{ a.}) \quad CV : CT = (v - \pi) : v$$

$$\text{и} \quad (2\text{ a.}) \quad CV : VT = (v - \pi) : \pi$$

У овим пропорцијама је непознат угао $(v - \pi)$, који одговара луку Cb. Та вредност се може одредити ако се сунчева плоча посматра са предње стране (скица 82. доле), а одређење се врши на овај начин:

Нека је обим венерине путање U, трајање њене револуције T, а време за које Венера пређе преко сунчеве плоче $b_1b_2 = t_2$. Половина тога пута је $b_1b = bb_2 = \frac{t_2}{2}$, а његова дужина је $l : t$, где l означава брзину. Овде постоји пропорција:

$$bb_1 : \frac{t_2}{2} = U : T$$

дакле је (3.) $bb_1 = \frac{t_2 U}{2T}$

Ако је полупречник $Cb_1 = r$, тада је у троуглу $Cb_1b \sphericalangle Cbb_1 = 90^0$ и према Питагорином правилу је

$$Cb = \sqrt{r^2 - (b_1b)^2} = \sqrt{r_2 - \frac{t_2^2 U^2}{4T^2}}$$

На исти ће начин и посматрач са места A одредити линију Ca, и тада ће цела линија aCb бити изражена формулом

$$(4.) \quad aCb = \sqrt{r^2 - \frac{t_1^2 U^2}{4T^2}} + \sqrt{r^2 - \frac{t_2^2 U^2}{4T^2}}$$

Пошто линија aCb означава уједно и лук a_1b_1 или a_2b_2, или на горњој слици лук aCb, биће вредности углова π и v делом изражене већ раније познатим величинама, делом величинама које се у случају посматрања могу мерити тако, да се из формуле (1 а.) и (2 а.) може одредити π и v.

Огромно велики рачунски рад је утрошен да се с помоћу пролаза планета и планетоида изведу тачне вредности о сунчевој паралакси. Добијено је врло много резултата, који су колебали између две крајње границе од $\pi = 9''.5$ до $\pi = 8''.77$. Средње вредности код сваке планете и планетоида су биле између $8''.79$ до $8''.81$; с тога је интернацијонална конференција астронома 1896 год., на основу *Њукомб*ових разлагања, усвојила, да је величина сунчеве паралаксе $\pi = 8''.80$, и према томе је прорачунато да је Сунце удаљено од Земље 150 милиона километара.

II. Метода за одређење месечеве паралаксе.

Од Старог Века, после Х*ипарх*ове методе, по све до XVIII. столећа није било ниједне нове методе за одређење месечеве паралаксе. Прво тачније одређење предузето је 1751 године и та метода је према посматрачима добила своје име. Пошто је Месец најближе небесно тело и показује известан утицај на Земљу, треба и ову методу опширније изнети.

La Caille-Lalande-ова метода. — Опат *Ла Каиј* се 1751 године бавио у Јужној Африци на Рту Добре Наде ради проучавања месечевог кретања, па је том приликом хтео да одреди и месечеву паралаксу. Пошто су и за то одређење потребна два посматрача на разним географским ширинама, и пошто је Рт Добре Наде скоро на истом меридијану Берлина, *Лаланд* је истовремено предузео посматрања у Берлину.

Метода с помоћу које су одредили месечеву паралаксу није сувише тешка и може се објаснити с помоћу графичког приказа. У скици 83. означује AA_1 земљин екватор, B место посматрача у Берлину, а P место посматрача на Рту Добре Наде. Географска ширина првог места је φ_1, а другог места φ_2. У тачци L лежи средиште Месеца, а у тачци C средиште Земље. Зенитално удаљење Месеца на месту B је z_1, на месту P је z_2, док је висинска паралакса на првом месту p_1, а на другом p_2.

Скица 83.

Према овим ознакама добиће се следећи односи:

У четвороуглу $LBCP$ је

$$(p_1 + p_2) + (\varphi_1 + \varphi_2) + \sphericalangle LBC + \sphericalangle LPC = 360^0$$

Даље се види да је $\sphericalangle LBC + z_1 = 180^0$

и $\sphericalangle LPC + z_2 = 180^0$,

према томе је $\sphericalangle LBC + \sphericalangle LPC + (z_1 + z_2) = 360^0$

Пошто је ова једначина једнака првој, и пошто у обема с леве стране долазе исте вредности $\sphericalangle LBC$ и $\sphericalangle LPC$,

биће (1.) $(p_1 + p_2) + (\varphi_1 + \varphi_2) = (z_1 + z_2)$

и даље (1a.) $(p_1 + p_2) = (z_1 + z_2) - (\varphi_1 + \varphi_2)$

Ако се место висинске паралаксе p унесе хоризонтална паралакса π тада је, према ранијој формули (стр. 126), $p = \pi \cos h$. Месец ће тада за посматрача у B бити у тачци L_1, и тада ће бити $\sphericalangle LBL_1 = h_1$.

Из горње се скице види, да је $h_1 + z_1 = 90^0$, т.ј. да је $\cos h_1 = \sin z_1$ и по томе ће бити $\sphericalangle p = \pi \cos h = \pi \sin z$.

Према томе формула (1a.) добија нов облик, у коме је:

(2.) $\pi \sin z_1 + \pi \sin z_2 = (z_1 + z_2) - (\varphi_1 + \varphi_2)$

или $\pi (\sin z_1 + \sin z_2) = (z_1 + z_2) - (\varphi_1 + \varphi_2)$

и најпосле је (2 а.) $\pi = \frac{(z_1 + z_2) - (\varphi_1 + \varphi_2)}{(\sin z_1 + \sin z_2)}$

z_1 и z_2 може се на месту посматрања одредити, а φ_1 и φ_2 је познато.

У Берлину је $z_1 = 41^0 15' 44''$; $\varphi_1 = 52^0 31' 13''$

на Рту Добре Наде $z_2 = 46^0 33' 37''$; $\varphi_2 = 33^0 55' 15''$

Према томе је $(z_1 + z_2) - (\varphi_1 + \varphi_2) = 1^0 22' 53''$,

а $\sin z_1 + \sin z_2 = 0{\cdot}6595 + 0{\cdot}72612 = 1{\cdot}38562$

и тада је $\pi = \frac{1^0 22' 53''}{1{\cdot}38562} = \frac{4973''}{1{\cdot}38562} = 59' 49''$

Али, Берлин и Рт Добре Наде не стоје на истом меридијану. Ако се унесе у рачун меридијанска разлика и ако се паралакса редуцира на средње удаљење Месеца, добије се за $\pi = 57' 4''.7$. То је резултат *Лакаиј-Лаланд*овог мерења.

Према најновијим резултатима је, међутим, $\pi = 57' 2''.3$, а средње удаљење Месеца као што је напред споменуто 60·27 R = 384100 километара.

III. Методе за одређење звезданих паралакса.

Цео Стари Век, који је дао толико знаменитих открића, био је чврсто уверен да су непомичне звезде на тако великим удаљењима, да је одређење паралаксе немогуће. То је био и у Новом Веку доказ, с којим се хтео оборити Коперников систем и одржати мишљење о непомичности Земље. Али се, после проналаска телескопа, почело озбиљније бавити питањем да ли звезде имају своје паралаксе и при почетку XIX. столећа се већ као сигурно сматрало да таква паралакса постоји, али да је веома мала.

То је у истини случај, јер је Земља према удаљењу звезда толико мајушна да се звездана паралакса не би могла доказати ни са два најудаљенија места на њој. Али, ако се посматрачево место помери огромно далеко, што се догађа при земљиној револуцији, показаће се да се висина исте звезде мења.

1) Одређивање годишњом паралаксом. — Земља је од Сунца удаљена 150 мил. км. и кад се налази на две супротне тачке своје путање, на удаљењу од 180⁰, она ће од првог положаја бити удаљена за 300 милијона километара. Тада ће се у истини показати извесна разлика у висини непомичне звезде. Ако је у скици 84. Сунце означено са S, Земља у афелу са T_1, а у перихелу са T_2, и извесна звезда са L, она ће према Сунцу стајати увек под истим углом

β, јер су и Сунце и звезда непомични. Али за посматрача на Земљи то неће бити случај. Када се Земља на својој путањи налази у тачци T_1, звезда ће према њој стајати под углом β_1, а кад је у положају T_2 угао ће бити већи, т. ј. $\sphericalangle \beta_2$. При положају Земље T_1 звезда је пројицирана на небесну куглу у тачку t_1, а при положају T_2 у тачку t_2. Пошто је земљина путања елиптична, биће и пројекција звезде на небу елиптична, али ће пројекција падати увек на обрнуту страну земљине путање.

Скица 84.

Због земљине револуције постоји, дакле, паралакса звезде; то је т.зв. *годишња паралакса* и под њом се подразумева $\sphericalangle T_1LS = p_1$ или $\sphericalangle T_2LS = p_2$.

Даље питање је ово: колико би морало бити удаљење звезде LT па да $\sphericalangle T_1LT_2$ постане толико мали да је невидљив и неурачунљив? То питање се може решити овако: Ако је $T_1T_2 = 300$ мил. км., и ако је средње удаљење Сунца $TS = d$, средње удаљење звезде $TL = D$, и паралакса звезде p, биће $\frac{D}{d} = \frac{\sin \beta}{0{\cdot}0003\, p}$ (ако се p изрази у степенским минутима). Пошто су вредности d, β_1 и β_2 познате, лако је одредити и непознате вредности β, p, т. ј. $p_1 + p_2$, и D.

2.) **Одређивање релативном паралаксом** — Још *Галилеј* се бавио мишљу, да се код две звезде, од којих је једна сјајнија, а друга тамнија, и које су близу једна другој, могу одређивати њихове *релативне паралаксе*. Вероватно је сјајнија звезда ближа од тамније и према томе прва треба да има већу паралаксу од друге. Тек много доцније је *Бесел*, 1837 и 1838 год., успео да одреди релативне паралаксе дупле звезде 61 Cygni и две блиске, али слабије звезде, употребом *Фрауенхоферовог* хелиометра.

Скица 85.

Ако је у скици 85. светлија звезда L_2, а удаљенија, тамнија звезда L_1, и ако је T_1 афел, а T_2 перихел, тада ће удаљеност звезда у афелу одговарати углу $\sphericalangle L_2T_1L_1 = \alpha$, а у перихелу углу $\sphericalangle L_2T_2L_1 = \beta$. Релативна паралакса звезде L_2 је $\sphericalangle T_1L_2T_2 = \pi_2$, а код звезде L_1 је $\sphericalangle T_1L_1T_2 = \pi_1$. Напослетку је $\sphericalangle L_2MT_1 = \mu = \sphericalangle L_1MT_2$.

Код троуглова $\triangle L_2T_1M$ и $\triangle L_1T_2M$ постоји следећи однос:

$$\alpha + \pi_2 + \mu = 180^0 = \beta + \pi_1 + \mu;$$

према томе је $$\pi_2 - \pi_1 = \beta - \alpha$$

Пошто је π_2 веома мален угао, а π_1 још много мањи, може се узети да је $\pi_1 = 0$ и тада ће бити паралакса звезде L_2 изражена са $\pi_2 = \beta - \alpha$.

На тај је начин *Бесел* одредио да је паралакса дупле звезде 61 Cygni 0″.35.

Доцније су се мерења умножила, али ни код једне непомичне звезде није нађена већа паралакса од 1″. У главном се показало, да паралаксе расту са сјајем звезда, али да има и доста изузетака. Тако су на пр. α Virginis и α Cygni звезде прве величине, а паралакса им се још није могла доказати. Величина звезданих паралакса види се из ових неколико примера:

звезда	величина	$\pi =$
22 H. Camelop	7·3	0″.496
α_2 Centauri	0·4	0″.752
α Canis min.	0·5	0″.334
α Urs. min. (Северњача)	2·1	0″.078
α Orionis	0·9	0″.024
ϑ Urs. maj.	3·3	0″.009
α Lyrae	0·1	0″.082

Паралакса од 1″ одговара удаљењу од 206265 R (земљиних полупречника). Та даљина је названа *даљина звезде*. Светлост са тог удаљења дође до нашег ока после $3^1/_4$ године. Данас се, међутим, удаљења звезда већином рачунају у годинама светлости. *Година светлости* је оно удаљење са кога дође светлост до Земље после једне године; она је 64760 пута већа од удаљења Сунца. У апсолутном износу година светлости одговара удаљењу од 9.5 билијона километара.

Земљина кретања.

После појаве *Коперник*овог система прикупљени су нови докази, којима је потпуно утврђено да Земља није непомична и да се креће у простору васионе. Задатак даљег посматрања је да се покажу све врсте земљиних кретања и да се о њима изнесу непобитни докази. Два основна земљина кретања су њено обртање око осовине или *ротација* и кружење око Сунца или *револуција*. Прво ће се изнети докази за та два кретања, а тек доцније се може прећи на посматрање компликованијих кретања и на њихово тумачење.

Докази за земљину ротацију.

Питање, да ли се Земља обрће око своје осовине, или се небо са планетама и звездама обрће око Земље, доста је тешко решити. Не постоји никакав видљив доказ да се Земља заиста обрће око осовине. Ако се ми не крећемо остаће у главном и наша мртва околина у миру. Ако поједино тело, у односу према нама, мења свој положај, оно се

према нашем појму креће. Ако хоћемо да према томе телу задржимо исти положај морамо се и ми кретати, у истом правцу и са истом брзином.

Према томе, ако хоћемо да добијемо појам о кретању, потребне су две ствари: 1. оно, што се креће и 2. оно, на основу чега се утврђује да има кретања. Кад не би било могућности да се утврди кретање тела, не би се могло закључити, да ли ми мирујемо или се крећемо. То се јасно показује на једном свакидашњем примеру. Кад жељезница јури ми знамо да се са жељезницом крећемо, ма да смо у мирном положају, па ипак нам изгледа да се мртва природа креће у противном правцу.

Исти је однос и између Земље и њене околине. Ми не можемо сигурно тврдити, да ли се обрће Земља или се обрће небо. Ми можемо констатовати само *релативно кретање* и тада оба схватања имају исто право. Чињенице остају исте, било да се узме *Птоломеј*ево или *Коперник*ово становиште. Промена у положају Земље према звезданом небу, наизменичност дана и ноћи, рађање и залазак Сунца промене у дневним температурама, плима и осека — све ове појаве се јављају и нестају на исти начин, у исто време и у истој узајамној вези, ма које гледиште се примило. Тек се на основу нарочитих доказа може прихватити једно или друго мишљење. И тек тада ће се показати, да је опис и тумачење тих чињеница сасвим другачије, ако се стане на прво или на друго гледиште.

У последњим су столећима на самој земљиној површини нагомилавани докази, који подупиру *Коперник*ово мишљење. Ти докази су различити; једни почивају на експериментима, који су добијени на једном и истом месту, а други се добијају упоређењем сличних појава на разним местима. За то ће се изнети неколико најглавнијих доказа.

1. Доказ с помоћу земљине теже. — О овом доказу је говорено већ раније. Још 1671 год., када је *Рише* упоређивао клатење секундне шеталице у Кајени и у Паризу, видео је да шеталица у Кајени заостаје за 147 секунада дневно, и да ју је услед тога морао скратити. Тиме је уједно доказано да је тежа на екватору мања него у већим географским ширинама, а то може бити само у случају ако се Земља обрће око осовине.

2. Доказ с помоћу земљине спљоштености. — *Хаиген*сов и *Њутн*ов доказ о земљиној спљоштености на половима, и о испупчености на екватору, даје уједно нов доказ о земљином обртању. То се доказује тим пре што су и покушаји дали исте резултате. *Плато* је у том погледу чинио покушаје за капљом зејтина, која лебди у течности једнаке густине. Кад је капљица у миру она задржава облик кугле, али ако се присили на кретање, н. пр. да се обрће око осовине, она постепено

прелази у облик сфероида, и што је кретање брже сфероидан је облик изразитији.

3. Доказ с помоћу слободног пада. — *Коперник*ови противници су у ironији говорили да је његов систем смешан, јер, кад би птица одлетела са гњезда на велике висине, она га при слету не би могла наћи, пошто се гњездо измакло услед земљине ротације. Наравно да је то парадокс и ако на први поглед може изгледати да није. У истини се показује, да се у истом односу, у ком се креће птичије гњездо, креће и птица сама, заједно са Земљом.

Међутим се овде и нехотице намеће друга сметња. Ако се Земља заиста обрће од Запада на Исток, требао би камен, који је бачен са торња, да падне на земљину површину западније, док он падне нешто постранце, али источније од места са кога је бачен. То је последица факта, што је место пада на вишој тачци него земљина површина, где је брзина кретања мања. Јер, ако се Земља обрће зависиће и брзина кретања сваке појединe тачке од њеног усправног удаљења од земљине осовине.

Ако је у скици 86. тачком A означен врх торња, а његово подножје ако је у тачци B, ако је висина торња $AB = h$, а земљин полупречник R, тада ће секундна брзина V тих двеју тачака бити изражена формулом $V = l : t$, у којој је l дужина, а t време.

Дужина је у овом случају земљин обим на географској ширини φ, а време је трајање земљине ротације. Према томе је брзина кретања у секунду код тачака A и B

$$V_A = \frac{2(R+h)\pi \cos\varphi}{24.60.60}; \quad V_B = \frac{2R\pi \cos\varphi}{24.60.60}$$

Из ових једначина се види, да је брзина кретања у тачци A већа него у тачци B, јер код тачке A постоји потисак у хоризонталном правцу, чија је секундна брзина

$$V_A - V_B = \frac{2(R+h)\pi \cos\varphi}{24.60^2} - \frac{2R\pi \cos\varphi}{24.60^2}$$

$$= \frac{h\pi \cos\varphi}{12.60^2}$$

Скица 86.

Али за исто време тело из A пређе у вертикалном правцу пут g, који одговара јачини земљине теже.

Пошто тело у тачци A има већу брзину кретања, него у тачци B, оно ће при паду морати истрчавати унапред, испред правца кретања, и док се врх торња A помери до тачке A_1 (скица 86. десно) тело ће пасти на земљину површину не у тачци B_1, која би одговарала правцу према

земљином средишту, него у тачци C, јер је $AO \parallel A_1C$. То је разлог што тело испредњачи на Исток.

Још *Њутн* је указао, да слободан пад пружа доказ о земљином обртању око осовине, и формулисао је ову поставку: сва тела која падају истрчавају на Исток. Експериментално је то доказао *Гуљелми* 1791 год., а много доцније је *Рајх* поновио опите у рударским окнима и показао, да тело на 51^0 географске ширине, са падом од 158·5 метара, испредњачи за 28·4 милиметара на Исток.

4. Доказ помоћу шеталице. — Један од најјаснијих доказа за земљину ротацију даје *Фукалов* експеримент са шеталицом, који је чињен у париском Пантеону 1851 год.[1])

Решење тога питања било би олакшано, кад би се посматрања могла чинити на полу. Кад би шеталица била потпуно затворена и ослобођена од свих спољашњих утицаја, она би стално клатила у истом правцу, т. ј. остајала би непрестано сама себи паралелна. Кад би Земља мировала, шеталица би описивала увек исту линију. Ако се Земља креће, шеталица ће и онда клатити у истом правцу, али ће — услед кретања Земље — врх шеталице описивати нове праве линије, које се померају у противном правцу од земљиног кретања. У том би се случају линија у току једног часа померила за 15^0, а после 24 часа би описала потпун круг. То би био најочигледнији доказ за земљину ротацију.

Ако се покушај чини на географској ширини φ, у овом случају је за Пантеон $\varphi = 48^0 50' 49''$, односи постају заплетенији. То ће се графички приказати у скицама, али у врло претераним димензијама.

Да би се ваздушан отпор могао што већма смањити, потребно је да шеталицино кретање буде споро. То ће се постићи ако је шеталица што дужа, а тане на врху што теже. За то је *Фукол* употребио шеталицу од 67 метара дужине и куглу од 28 килограма тежине. На доњем врху кугле је поставио вертикалну иглицу, која бележи правце клатења.

У скици је кругом представљен пресек земљине кугле, на којој су полови означени са P и P_1. Простор, који је ограничен кругом $SENW$, одговара месту Пантеона. Шеталица је обешена у средини Пантеона, у тачци L, дужина јој је LM, а M је кугла са иглом. Кружни лук MM_1 означава дужину шеталициног клатења, а пројекције су клатења у разним часовима дана унесене на хоризонталном кругу $SENW$ (скица 87).

Ако прва осцилацијона пројекција падне у правац меридијана, т. ј.

---

[1]) *L. Foucault, Sur une nouvelle démonstration expérimentale du mouvement de la Terre, fondée sur la fixité du plan du rotation* и *Sur les phenomènes d'orientation des corps tournants, extraînés par une fixe à la surface de la Terre.* — Обе у Compt. rend. Vol. 52. — Paris 1851.

у линију $N - S$, она ће после τ времена пасти у правац CC_1, т. ј. померће се за лук NC; после истог времена τ падаће у правац DD_1, т. ј. померће се за лук CD и т. д. Ако се угаона брзина земљиног обртања око осовине означи са ω, а њен полупречник са r, тада ће угао померања за време τ бити изражен формулом:

$$NC = CD = \ldots = \omega \tau r \cos \varphi,$$

а ако се све ове кратке путање саберу, и ако се цело време кретања, на пр. AB у скици 88., означи са t, онда ће цео лук померања бити

$$(1.) \quad AB = \omega t r \cos \varphi$$

Скица 87.

Сада се понова мора обратити пажња шеталици, али са другог гледишта. Она се у почетку свога кретања клатила у меридијанској равни тачке A, дакле паралелно са меридијаном, или по линији меридијана, и то од тачке m до m_1 (скица 88.). Правац осцилације је с тога представљен тангентом AM. После целог времена кретања t иста се тачка A на Земљи налази у месту B. Шеталица и тада клати у истом правцу од m до m_1, одговарајући закону о инерцији. Нов правац клатења ће, дакле, по истеку времена t бити паралелан првобитном правцу AM, и према томе је $FF_1 \parallel MA$. Али у тачци B је меридијанска тангента BM и Земља се до тога тренутка помакла на свом обртању око осовине за $\sphericalangle AMB$, а шеталица се померила из свога правца за $\sphericalangle MBF$. Пошто су линије $AM \parallel BF$, и пошто линија BM пресеца обе линије, биће

Скица 88.

$$\sphericalangle AMB = \sphericalangle MBF = \varepsilon.$$

Из троугла $\triangle AME$ се види да је $\sphericalangle AME = \varphi$, јер је $AM \perp AO$, а $QO \perp MO$, и да је $AE = r \cos \varphi$; према томе постоји однос:

$$(2.) \quad \frac{AE}{AM} = \frac{r \cos \varphi}{AM} = \sin \varphi$$

и даље

$$(2a.) \quad AM = \frac{r \cos \varphi}{\sin \varphi}$$

Сада се може одредити угао померања ε, јер је

$$\varepsilon = \frac{\text{лук } AB}{\text{полупречник } AM}$$

Ако се за AB унесе формула (1.), а за AM формула (2 а.), видеће се, да је (3.) $\varepsilon = \omega\, t\, r \cos\varphi : \frac{r \cos\varphi}{\sin\varphi} = \omega\, t \sin\varphi$

Према томе се закон шеталициног померања може изразити овако: Померање осцилацијоног правца шеталице, на географској ширини φ и за време t, одговара углу $\omega\, t \sin\varphi$, а време за које се линија шеталице врати у првобитан положај је $24^h : \sin\varphi$.

На екватору је $\sin\varphi = 0$ и према томе нема никаквог померања, т. ј. $\varepsilon = 0$. На половима је $\sin\varphi = 1$ и осцилацијона линија дође у првобитан правац за 24 часа. На географској ширини од 45^0 је $\sin 45^0 = 0{\cdot}707$, према томе би се осцилацијона линија вратила у првобитан положај после $24^h : 0{\cdot}707 = 34$ часа, док би се у Пантеону вратила у исти положај после 31·9 часова.

Одмах после *Фукола* вршени су исти покушаји: *Секи* у Петровој цркви у Риму 1851. и *Гарше* у катедрали у Келну 1852 год. После тога су ови покушаји учестали и показало се нешто ново. Услед девијације, о којој ће се доцније говорити, шеталица не може описивати права кретања. Она мора због девијације да скреће и с тога се неће сећи у средишту O (скица 89.), него у једном кружном обиму, што је у графичном приказу такође изнесено у претераним димензијама. Шеталица ће место праве линије описивати курву двоструке кривине. Обе половине те кривине (на пр. AB и BC) показују елиптично кретање, али се велика осовина друге половине елипсе увек помери од велике осовине прве половине под врло малим углом и то тако, да се добије неправилна курва $ABCDEF$ и т. д. Тај облик је назван *сферна хипотрохоида*.

Скица 89.

5. Доказ с помоћу девијације хоризонталних кретања. — Још *Хадли* је 1735 год. сматрао да је земљина ротација узрок што пасатски ветрови скрећу из њиховог теоретског правца. Откада је почето картографско снимање ваздушних и океанских струја је показано, да оне скрећу из својих нормалних праваца и то, да на северној полукугли скрећу на десно, а на јужној на лево. То скретање је *девијација*.

Кад би Земља мировала северни би се ветрови кретали по меридијанима ка Југу, а јужни би се ветрови кретали према Северу. Али се Земља обрће око своје осовине. Њена угаона брзина је на свим географским ширинама једнака, али се линеарна брзина мења, јер паралелни кругови према половима опадају са косинусом географске ширине. Према томе је линеарна брзина на географској ширини φ изражена формулом $s = \omega\, r \cos\varphi$. На разним географским ширинама су линеарне брзине земљине ротације оволике:

0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
465	449	403	335	233	120	0 м/сек.

Тело, које се са извесне географске ширине креће према већим ширинама, задржава — услед закона инерције — на целом путу исту брзину кретања. Пошто то тело долази у пределе мањих линеарних брзина, и пошто се Земља обрће од Запада на Исток, оно ће истрчавати на Исток, т.ј. скретаће на десно. Кад се тела крећу са већих на мање географске ширине догађа се обрнут процес; она долазе у пределе све већих линеарних брзина и с тога се релативно успоравају, заостају на Западу, т.ј. опет скрећу на десно. Те чињенице истрчавања и заостајања сведоче о земљиној ротацији.

Скретања јужних и северних струја могу се лако приказати. У том приказу треба полазити од факта, да свако тело, које се креће по земљи, има две брзине: 1. сопствену брзину кретања, $AB = v$ и 2., услед земљине ротације, линеарну брзину места са кога се креће, $AC = s$ (скица 90). На скици 90 (1) је показано скретање тела, која се крећу са Севера на Југ, а фигура (2) показује обрнут случај. Азимут оба кретања је изражен углом α.

Скица 90.

Кад се посматрач са места A после τ времена нађе у тачци C (услед земљине ротације), њему ће изгледати да се тело креће правцем CD. Али се према меридијанској линији MC види, да се азимут после времена τ променуо у $\sphericalangle \alpha_1$. У првом случају, где се тело креће према мањим географским ширинама, он се повећао за $\sphericalangle \varepsilon$, дакле је $\alpha_1 = \alpha + \varepsilon$, у другом случају, где се тело креће у супротном правцу, он се за исту вредност смањио. т.ј. $\alpha_1 = \alpha - \varepsilon$. Тело је у оба случаја скренуло на десно из првобитног правца.

Тенденција или величина скретања добиће се на следећи начин: Брзина кретања тела је $AB = CD = v$, линеарна брзина места је $AC = BD = s$, радијално удаљење је $MA = MC = k$, а лук истрчавања или заостајања је $DD_1 = \sigma$. σ је тенденција скретања одн. девијације.

Пошто је $$\triangle CDD_1 \sim \triangle MAC$$

из те сличности се добија однос:

$$DD_1 : CD = AC : AM$$

или $$\sigma : v = s : k;$$

према томе је $$(1.)\quad \sigma = \frac{v \,.\, s}{k}$$

Напред је показано да је линеарна брзина $s = \omega\, r \cos\varphi$, осим тога се из скице 88. види, да је у троуглу $\triangle\, ANO$

$$AM : AO = cotang\,\varphi$$

т. ј. $$k : r = cotang\,\varphi$$

и према томе је $$k = r\, cotang\,\varphi = r\,\frac{\cos\varphi}{\sin\varphi}$$

Сада се формула (1) може изразити овако:

$$(1a.)\quad \sigma = \frac{v \,.\, \omega\, r \cos\varphi}{r \,.\, \frac{\cos\varphi}{\sin\varphi}} = v\,\omega \sin\varphi$$

Тенденција скретања је за први секунд $\sigma = v\,\omega \sin\varphi$. Али та формула вреди само за први секунд или за време τ. Ако кретање траје t секунада, тенденција скретања ће бити изражена другом формулом. Убрзавање је за сваки идући секунд једнако двострукој вредности првог секунда и тада је тенденција скретања

$$(1b.)\quad \sigma = 2\, v\,\omega \sin\varphi$$

Да би се могле показати девијације при кретању тела у правцу Истока и Запада, мора се цела ствар представити на други начин. У тим случајевима улази у рачун центрифугална снага, јер се њоме може изразити величина девијације, одн. тенденција скретања.

Ако је тело A, на пр. честица ваздуха, на географској ширини φ (скица 91), на њега делују две снаге: земљина тежа, која га вуче према земљином средишту, у правац AO, и центрифугална снага, која га гони у правац AB. Познато је, да је центрифугална снага на географској ширини φ, $AB = \omega^2\, r \cos\varphi$. Она се може разложити у две компоненте: прва је AD, која стоји нормално на земљину површину, а друга је хоризонтална компонента $AE = \gamma$, која је управљена према Југу и она овде долази у обзир. Из приложене се скице види, да је

$\gamma = AB \sin\varphi$, а пошто је $AB = \omega^2\, r \cos\varphi$, биће $(1).\ \gamma = \omega^2\, r \cos\varphi \sin\varphi$

Скица 91.

Раније је показано да је линеарна брзина тела на географској ширини φ, $s = \omega\, r \cos\varphi$. Али, ако тело A поред ове брзине има и своју западну брзину W, — т. ј. ако дува западни ветар —, његова брзина ће се повећати у s_1. Јасно је да је

$$s_1 = \omega\, r \cos\varphi + W$$

Убрзавање (или успоравање, ако је источни ветар) ротацијоне брзине, која је последица снаге W, може се изразити формулом $W = \omega_1\, r \cos\varphi$

и тада је $$(2)\ \omega_1 = \frac{W}{r \cos \varphi}$$

Али се према томе и компонента γ код тела A повећава у γ_1, чија је величина:

$$\gamma_1 = (\omega + \omega_1)^2 r \cos \varphi \sin \varphi$$

$$(3).\quad = \omega^2 r \cos \varphi \sin \varphi + 2\,\omega\,\omega_1 r \cos \varphi \sin \varphi + \omega_1^2 r \cos \varphi \sin \varphi$$

С помоћу формуле (1.) и (3.) може се прорачунати величина девијаторне снаге σ, јер је

$$\sigma = \gamma_1 - \gamma = \omega^2 r \cos \varphi \sin \varphi + 2\,\omega\,\omega_1 r \cos \varphi \sin \varphi + \omega_1^2 r \cos \varphi \sin \varphi - \omega^2 r \cos \varphi \sin \varphi$$

$$= 2\,\omega\,\omega_1 r \cos \varphi \sin \varphi + \omega_1^2 r \cos \varphi \sin \varphi$$

Ако се из формуле (2.) унесе вредност за ω_1, добиће се нова формула

$$\sigma = 2\,\omega \frac{W}{r \cos \varphi} r \cos \varphi \sin \varphi + \frac{W^2}{r^2 \cos^2 \varphi} r \cos \varphi \sin \varphi$$

$$(4).\quad = 2\,\omega\, W \sin \varphi + \frac{W^2}{r} \operatorname{tang} \varphi$$

Пошто је вредност W према вредности $r\,\omega$ веома незнатна, може се последњи члан изоставити и добиће се као израз тенденције скретања, која западне ветрове скреће према Југу

$$(5).\ \sigma = 2\,\omega\, W \sin \varphi,$$

дакле иста формула као и у првом примеру за северне и јужне ветрове. Код источних ветрова им правац скреће према Северу, дакле у оба случаја је скретање на десно.

Померање на десно се најјасније показује код пасатских ветрова и они су један даљи доказ за земљину ротацију.

На истом принципу почива и *Беров* закон, по коме реке јаче еродирају своје десне обале, што је и примерима утврђено. *Поасон* је упозорио да се исто скретање показује и при пуцању из топова, а *Маршус* је утврдио да се у пределима, где жељезничке пруге имају два колосека, шине са десне стране јаче истроше него са леве стране.

Докази за земљину револуцију.

Докази о земљиној ротацији се могу добити и посматрати на самој Земљи, као што се из свих примера видело. Да би се добили докази за земљину револуцију морају се узети у помоћ искључиво небесне појаве. Ни један доказ за земљино кружење не постоји на Земљи, ма колико да је удаљење два посматрачева места. Као што за земљино обр-

тање око осовине има неколико разних доказа, то исто се може рећи и за земљино кружење око Сунца. Најглавнија доказна факта су ово:

1. Доказ с помоћу годишње паралаксе код непомичних звезда. — Ако су *Коперникови* назори и *Кеплерови* закони тачни, Земља се мора кретати огромном брзином и пређи у току године огромно велики пут. То је у истини случај, јер је обим земљине путање при средњем удаљењу Сунца око 940 милиона километара. Кад Земља у толико огромној елипси кружи морају се положаји разних звезда у току године померати.

Ови односи су изнесени у скици 92. У њој је земљина путања означена елипсом $T_1\,T_2\,T_3\,T_4\,T_1$, Сунце је означено са S, а звезда посматрања са L. Ако је Земља на својој путањи у пролетњој тачци T_1, тада ће пројекција звезде пасти на небесну куглу у тачку t_1. Када се Земља на својој путањи помери до летњег солстиција, до T_2, звезда ће се померити по небу под истим углом у противном правцу Земље, на одстојању од 180^0 према Земљи, и пројекција ће јој пасти у тачку t_2. Тако ће се непрестано догађати док се Земља не поврати у тачку T_1. Кад Земља једанпут окружи око Сунца, звезда ће по небесној кугли описати исту елипсу, али у обрнутом правцу земљиног кретања, и у веома смањеним димензијама. Да описује исти облик види се из факта, што је $\sphericalangle\ T_2LT_4 = \sphericalangle\ t_2Lt_4$ и $\sphericalangle\ T_1LT_3 = \sphericalangle\ t_1Lt_3$.

Скица 92.

Али би звезда, која је у близини пола, описивала по небу сасвим кружну путању; на против би пројекција звезде на екватору описивала праву линију, јер је за њу мала осовина $b = 0$. На географској ширини φ звезда описује елиптичну путању, која се све већма ближи кругу са повећањем географских ширина, а све више правој линији са смањивањем географске ширине.

Земља се према тим фактима мора релативно померати у односу према непомичним звездама. Та периода померања траје једну годину. Сунце према звезданом небу мирује, а Земља показује елиптично кретање и то је истинит доказ њезине револуције.

2. Доказ с помоћу аберације светлости. — Кад је енглески астроном *Бредли* покушавао да одреди звездане паралаксе, у првој половини XVIII. столећа, видео је код неколиких звезда разних величина да мењају положај свог места и да описују мале елипсе, код којих велика осовина одговара углу од $40''.8902$. Пошто је за све звезде нашао исте вредности, логично би се дошло до закључка, да су све непомичне звезде

једнако удаљене од Сунца, јер све имају исте паралаксе. Али *Бредли* је и сам увидео да то није паралактичан појав, јер се од звезданих паралакса разликује у две битне чињенице. Прво, велика осовина има знатно већу вредност него паралактичне елипсе, и код свих звезда има исту величину, што се не може претпоставити, јер би у том случају све звезде биле једнако удаљене од Земље. Друго, што — на супрот од паралактичне елипсе — изгледа, да се свака звезда приближује правцу Сунца, т. ј. да је увек примакнута према средишту око кога Земља кружи. Те чињенице и још једна, која ће се сад поменути, дале су Бредлиу могућност да правилно протумачи ову појаву.

Бредли је, наиме, једанпут приликом вожње по Темзи, при јаком ветру, опазио, да се застава на врху катарке виј е у одређеном правцу; али, чим лађа почне да се ближи обали и промене свој правац, промене се и положај заставе. Он је увидео да та појава не настаје услед промене у правцу ветра, него услед промене у правцу лађе и из тога је закључио, да се исто може догађати и код светлосних зракова. Према томе је Бредли хтео да доведе у везу брзину земљиног кружења по еклиптици са брзином светлости, и упоредио је брзину ветра са брзином светлости, а брзину лађе са брзином земљиног кружења. Ако се Земља креће великом брзином, изгледаће да светлосни зраци долазе из другог правца и то је његов појам *аберације*, т. ј. скретања са прáвог пута.

Теорија се аберације светлости може у најопштијем математичном облику приказати на овај начин. Ако се пође од претпоставке да је посматрач у апсолутном миру, т. ј. да се Земља не креће, он би телескопом видео звезду L (скица 93.) увек на истом месту и у њеном прáвом правцу, јер се светлост шири у прáвим линијама и са одређеном брзином. Светлосним ће зрацима, међутим, требати знатно дуже време док доспу са L до објектива B. него док доспу од B до окулара O.

Скица 93.

Али се Земља по својој путањи креће правцем EE_1 а с њом се креће и посматрач, и ако је непомичан на свом месту. Ако је земљино кретање веома брзо догодиће се ово: Док светлост стигне од B до O, тачка O ће бити помакнута према правцу E_1, а на њено ће место доћи друга тачка O_1. Ако посматрач хоће и даље да види звезду мора померити телескоп у правац O_1B, али, док светлост дође од објектива до окулара, тачка O_1 је доспела баш до тачке O. Посматрач, према томе, стално држи телескоп у правцу O_1L_1 и види звезду помакнуту у тачку L_1, т. ј. светлостан

[1]) *Bradley, Account of a new discovered Motion of the Fixed Stars.* Phil. Trans. 1726—1728.

зрак је скренуо за $\sphericalangle LBL_1 = \sphericalangle OBO_1 = \alpha$. Тај угао је назван *аберацијони угао.*

Величина помицања зависи од односа између дужине пута BO и O_1O, као и од $\sphericalangle BOE_1$. Ако се ови односи пренесу у телескоп добиће се под претпоставком једноликих кретања и истих времена ове вредности: У том је случају брзина светлости $BC = V$, брзина земљиног кретања $AC = v$, а ε означује угао, који затвара прави светлостан зрак $L_1C \parallel B_1A$ са правцем земљиног кретања $CA \# BB_1$, дакле је $\sphericalangle B_1AC = \varepsilon = \sphericalangle B_1BC$. Ако се узме у помоћ синусно правило добиће се из $\triangle BCA$ следећи однос:[1])

$$\frac{BC}{AC} = \frac{\sin(\sphericalangle BAC)}{\sin(\sphericalangle ABC)}$$

или

$$\frac{V}{v} = \frac{\sin(\varepsilon - \alpha)}{\sin \alpha}$$

Ако се узме да је $V : v = f$, може се прорачунати да је

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{f \sin \varepsilon}{1 + f \cos \varepsilon}$$

Према овој је формули аберација једнака нули ако је $\varepsilon = 0^0$, а највећа је кад је $\varepsilon = 90^0$. Тај максимум скретања из правог правца зове се *аберацијона константа.* Њена величина ће се одредити на практичном примеру.

У пракси се појам о аберацији добија овако: Нека је XX_1 раван земљине путање и нека се Земља креће правцем од X према X_1 (скица 94).

Скица 94.

Ако се Земља налази у тачци T тада ће до посматрачевог ока доспети онај део зрака LT, који је у тачци T. После кратког времена τ Земља ће да се помери брзином v од тачке T до тачке T_1, али ће тада од зрака L_1T_1 доспети до посматрачевог ока само онај део, који је стигао до тачке l_1. Скраћеност l_1T_1 одговара брзини светлости $= V$ за време τ. После времена 2τ Земља ће бити у тачци T_2 своје путање, а светлост са звезде ће се видети на висини l_2, на удаљењу $2V$ изнад места T_2. Сва ова кретања посматрач редуцира на своје тренутно стајалиште и добија утисак као да зраци долазе из правца $L_6 l_5 l_4 l_3 l_2 l_1 T$, и као да је звезда у тачци L_6, а не у тачци L.

---

[1]) *Dr. S. Günther, Handbuch der mathematischen Geographie.* — Stuttgart 1890. — стр. 712—716.

Угао α у овој скици означава аберацијону константу. Њена вредност се може добити из $\triangle\ Tl_1T_1$, у коме је:

$$\frac{TT_1}{l_1T_1} = \frac{v}{V} = tang\ \alpha$$

У овој једначини је брзина светлости позната; њена величина је $V = 299860$ км/сек, а брзина земљиног кретања се добија формулом

$$v = \frac{l}{t} = \frac{939\,150\,000 \text{ км}}{365{\cdot}25^d \times 24^h \times 60^m \times 60^s} = 29{\cdot}76 \text{ км/сек.}$$

Према томе је:

$$tang\ \alpha = \frac{29{\cdot}76}{299\,860} = 0{\cdot}000099,$$

а *аберацијона константа* је $\alpha = 20''.47$.

Пошто се за обе стране земљине путање добија иста вредност аберацијоне константе, имаће цела осовина аберацијоне елипсе $40''.94$, а то је скоро иста вредност, коју је добио Бредли.

Облик аберацијоне елипсе (скица 95) одступа од паралактичне теорије у томе, што је положај мале и велике осовине потпуно друкчији и што су обе знатно веће. На земљиној путањи означују тачке T_1, T_2, T_3 и T_4 кардиналне тачке, т. ј. времена еквинокција и солстиција, али се на небу положај звезде L померио за 90^0. Кад је на пр. Сунце у знаку рака, тада је Земља на својој путањи у знаку јарца T_2, а звезда је скренута у правац овна t_2, дакле се према Земљи померила за 90^0 и приближила се Сунцу. У овом случају одговара земљиној великој осовини линија $T_2\,T_4$, док великој осовини аберацијоне елипсе одговара линија $t_2\,t_4$, која са првом стоји под углом од 90^0.

Скица 98.

3. Доказ с помоћу помрачења јупитерових месеца. — Много раније пре Бредлија *Ремер* је изнео други доказ на истом принципу. При посматрању помрачења јупитерових месеца *Ремер* је налазио сталне грешке. Ако је Јупитер у конјункцији са Сунцем помрачења његових месеца се према прорачунавањима задоцњавају, а ако је у опозицији

помрачења настају раније, као што се види из скице 96. Те грешке је *Ремер* сводио на брзину светлости.

Скица 96.

Узрок грешкама је био тај, што се Земља креће у веома великој путањи око Сунца и према томе зраци са Јупитера падну у време опозиције (J_1TS или JT) раније на Земљу, а у времену конјункције (JST или JST_1) доспу нешто доцније. Истрчавање или задоцњавање горњих феномена последица је земљине револуције.

Ако се удаљење Земље од Сунца означи са $TS = 1$, биће удаљење Јупитера од Сунца $JS = 5{\cdot}203$. Због земљине револуције ће удаљење Земље од Јупитера кадикад бити 4·203 (J_1T_1 и JT), други пут ће опет бити 6·203 (J_1T и JT_1). Пошто је апсолутно удаљење $ST = 149{\cdot}5$ мил. км., а брзина светлости $V = 299860$ км., у првим ће случајевима светлост са Јупитера доспети за $34^m\,56^s$ (628350000 : 299860), а у другима за $51^m\,33^s$ (927350000 : 299860); разлика је према томе доста велика јер износи $16^m\,37^s$.

4. Доказ с помоћу падања звезда. — Као четврти доказ за земљину револуцију служи честина падања звезда.

У ведрим се ноћима може увек видети, како велики број звезда пада са неба. То су космичке масе, које из васионе продру у земљину атмосферу и услед трења са ваздухом засијају јасном светлошћу, чим доспу у гушће ваздушне слојеве. *Јулиус Шмит* је на основу пажљивих и дугогодишњих посматрања падања звезда дао нов доказ за земљино кружење око Сунца.

Ако се Земља прогресивно креће, мораће на њезиној предњој страни, која иде космичким масама на сусрет, да падне више звезда него на стражњој страни. Ако се Земља креће у правцу AF (скица 97) тада ће њезина предња страна бити она, која је окренута према тачци F. За одређено место на копненој површини Земља је на предњој страни своје путање од поноћи до поднева, а од поднева до поноћи је на стражњој.

Скица 97.

Пошто се падање звезда види само ноћу, огледаће се последица земљине револуције у томе, што ће оно на чеоној страни бити интензивније него на супротној другим речима, од 6 часова увече до поноћи падаће мање звезда него од поноћи до 6 часова ујутру. *Шмит* је то својим посматрањима и доказао, што се види из следеће таблице:

1. предња страна		2. стражња страна		1—2 страна	
време	број падања	време	број падања	разлика	однос
5—6 a. m.	17	6— 7 p.m.	5	12	3·4
4—5	18	7— 8	6	12	3·0
3—4	22	8— 9	8	14	2·7
2—3	22	9—10	10	12	2·2
1—2	20	10—11	12	8	1·7
0—1	17	11—12	15	2	1·1
6—0	116	6—12	56	60	2·1

На предњој страни у току једног часа падне 12 до 14 звезда више него на стражњој страни. Тек се око поноћи разлика знатно смањи, јер у тим часовима продиру у ваздух космичке масе, које се крећу нормално на правац земљиног кретања и с тога престаје разлика између предње и стражње стране. Ако се ти часови не узму у обзир на предњој страни падне око трипут више звезда.

Сви ови докази показују да Земља има прогресивно кретање: 1. у односу према небу непомичних звезда, 2. у односу према средишту светлости и 3. у односу према малим космичким масама, т. зв. метеоритима.

Небо непомичних звезда пружа основу за један координатан систем на коме почивају сва релативна кретања. Он може послужити за основу јер га намеће сама природа због низа његових одређених особина, које су доказане посматрањима.

Сва кретања, која се своде на овај систем јесу *апсолутна кретања*. У томе се смислу говори, да је апсолутно кретање Земље њено обртање око осовине и њено кружење око Сунца. С помоћу овог система постају сва кретања у васиони јасна, једноставна и прегледна; њиме је доказано да у природи постоји једноставан склад, и да у космосу влада механизам.

Положај Земље и земљине осовине према еклиптици.

У одељку о привидном кретању Сунца је показано, да Сунце одступа од правца кретања звезда. Док се звезде крећу паралелно са небесним екватором, Сунце се креће по равни еклиптике, која је према небесном екватору нагнута под углом од 23°27′.

То је релативно кретање Сунца, које базира на геоцентричном становишту. У том случају постоји потпун паралелизам између оријентације на небу и на Земљи. Небесна осовина пролази и кроз земљину

осовину, небесни екватор просеца и земљин екватор, а то су главне основе координатног система.

Кад се стане на хелиоцентрично становиште, долази се до других резултата. Сунце тада не би имало апсолутно кретање. Ако би Сунце било непомично, Земља би се морала кретати по равни еклиптике. Осим тога, ако земљин екватор лежи у равни небесног екватора, он мора према еклиптици бити нагнут под углом од 23°27′. Исто тако и земљина осовина мора бити нагнута према полу еклиптике под углом од 23°27′, а према земљиној путањи или равни еклиптике под углом од 66°33′.

Тај факт је од огромног значаја за поделу светлости и топлоте на Земљи. Разлике у дужинама дана и ноћи и у годишњим временима су последице нагнутости земљине путање или еклиптике.

Дан и ноћ.

Непосредна последица земљине ротације је разлика између дана и ноћи. Кад би раван земљине путање падала у правац небесног екватора, тада би свако место на Земљи било дванаест часова обасјано Сунцем, а дванаест часова би било без сунчаног сјаја. Али на разним местима и у разним временима дани нису једнаки ноћима; те неједнакости настају услед нагнутости земљине осовине према еклиптици.

Да би неједнакости биле јасније треба поћи од теоријских примера и у првом случају узети, да земљина осовина стоји нормално на равни земљине путање. Пошто је тада сунчев и земљин екватор стално у истој равни, сунчеви зраци падају нормално на земљину осовину и осветљавају половину целе северне и јужне полукугле, од северног до јужног пола, дуж меридијана на коме је Сунце у том тренутку на источној и западној тачци, т. ј. на кругу NE_1SW_1N (скица 98.). На источној страни меридијанског круга E_1 Сунце се тада рађа, а на западној страни тога круга W_1 оно залази. Тај круг уједно означава и границу између дана и ноћи. Дан је тада на земљиној полукугли NE_1SW_1E, а ноћ је на другој полукугли NE_1SW_1W. Меридијан $NWSEN$ стоји нормално на меридијану NE_1SW_1N и половина првог меридијана NES има у том тренутку подне, а друга половина NWS има поноћ.

Скица 98.

Пошто сунчеви зраци падају за време целе године нормално на земљину осовину, биће дан и ноћ увек једнаки и трајаће 12 часова.

Сасвим би друкчији били односи, кад би земљина осовина падала у раван еклиптике и кад би у току целе године остајала сама себи паралелна. На примеру ће се то показати у два разна годишња времена, на пр. за први дан пролећа и лета. Ако је у скици 99. Сунце означено

са S, а земљина путања са EE, Земља би у време пролетње равнодневице била у тачци T. Њена осовина је у том случају NS. Сунчеви зраци падају нормално на земљину осовину, с тога ће цела половина северне и јужне полукугле бити осветљена дуж меридијана NE_1SW_1N. У том случају се показују исти односи као и кад је земљина осовина нормална на равни еклиптике. Дан и ноћ су на целој Земљи једнаки, сваки по 12 часова. На меридијану NES је подне, а на меридијану NWS је поноћ.

Скица 99.

Али у време летњег солстиција, кад Земља дође до тачке T_1 своје путање, односи се потпуно промену. У то време сунчеви зраци падају нормално на земљин екватор. Пошто је то време летњег солстиција биће осветљена цела северна полукугла земље WW_1EE_1N, а цела јужна полукугла биће у потпуном мраку. Тада ће цела северна полукугла имати 24 часа дан, а ноћи неће бити, док ће на јужној полукугли бити непрестана ноћ.

У јесењој равнодневици настају исти односи као при пролетњој равнодневици, али за време зимског солстиција однос је према летњем солстицију обрнут. Тада је осветљена цела јужна полукугла и на њој је 24 часа дан, док је на помраченој северној полукугли 24 часа ноћ. — Када би земљина осовина падала у раван еклиптике, тада би на целој Земљи имали највеће разлике између дана и ноћи.

Средину између два горња екстрема одржава нагнутост земљине осовине према еклиптици. Што је угао између земљине осовине и равни еклиптике већи, тим мање су разлике у дужини дана и ноћи, а што се већма угао смањује разлике се у дужинама повећавају. У свим случајевима кад је земљина осовина нагнута према еклиптици јављаће се на целој Земљи сталне неједнакости у дужини дана и ноћи са два изузетка: 1. на екватору су дан и ноћ у току целе године једнаки, 2. на целој Земљи настаје једнакост између дана и ноћи у данима равнодневица.

Да би се ови односи још јасније протумачили, треба понова поћи од паралелитета између оријентације на небу и на Земљи (скица 100.), јер факта посматрања остају у главном иста и ако им се узрок и опис мења.

Поред заједничког екватора и полова постоје и друге сличности између небесне и земљине кугле. Када се Сунце налази у пролетњој $S\,\Upsilon$ и јесењој тачци $S\,\simeq$, оно се привидно креће по небесном екватору. На Земљи је у иста времена Сунце у зениту у тачкама Σ и Σ_2, које су на земљином екватору. При летњем солстицију, кад се Сунце налази у тачци $S\,\Theta$, Сунце је у зениту на земљиној тачци Σ_1, односно на земљином паралелном кругу Σ_1. За време зимског солстиција, кад је Сунце привидно у тачки $S\,\mathcal{Z}$, на Земљи је Сунце у зениту на тачци Σ_3, односно на истом паралелном кругу. Та два круга су повратници рака и јарца, од којих је први на северној, а други на јужној полукугли Земље. Као што се Сунце за време солстиција нагне према небесном екватору под углом од $23^0 27'$, под истим су углом и повратници према земљином екватору.

Скица 100.

На свим географским ширинама између повратничких кругова Σ_1 и Σ_3 Сунце је двапут годишње у зениту, а на повратницима самим само једанпут.

У даљем излагању о међусобним односима између Сунца и Земље може се без веће погрешке узети, да сунчеви зраци долазе паралелно и падају нормално на земљину површину, јер долазе са удаљења од 150 милијона километара.

Кружна граница осветљења за време равнодневица пролази кроз земљине полове и средиште, дакле кроз меридијане, јер сунчеви зраци долазе из правца S (в. скица 101b.) Сваки меридијан дели Земљу на две једнаке половине и у времену равнодневица су дан и ноћ једнаки на свим географским ширинама.

При летњем солстицију, S_1, сунчеви зраци падају нормално у тачку Σ_1, на упоредник $23^0 27'$ северне полукугле (скица 101a.). Круг осветљења, који је нормалан на правац сунчевих зракова, $S_1 O \perp CC_1$, пролази кроз тачке C и C_1 и кроз земљино средиште. На тај начин круг осветљења полови екватор на два једнака дела, али су сви остали паралелни кругови подељени на неједнаке делове. Пошто је Сунце према земљином екватору нагнуто под $\sphericalangle S_1 O A$, и пошто је $\sphericalangle COP = \sphericalangle S_1 O A$, то ће све северне географске ширине, које су веће од угла $(90^0 - \sphericalangle COP)$ бити осветљене, а из истог ће разлога исте географске ширине на јужној полукугли бити у мраку.

Величина $\sphericalangle S_1OA$ је позната. Према томе је угао $(90^0 - \sphericalangle COP) = 66^0 33'$, и с тога се може рећи, да ће за време летњег солстиција све географске ширине изнад $66^0 33'$ имати на северној полукугли дужи дан од 24 часа, а на јужној полукугли исто толику ноћ.

За време зимског солстиција, кад је Сунце у тачци S_2, његови ће зраци падати усправно на упоредник Σ_3. (скица 101c.) Односи ће бити обрнути према летњем солстицију. Тада ће јужна полукугла имати т. зв. поларне дане, а северна полукугла поларне ноћи.

Скица 101.

Из овог излагања се види, да су и *кругови стожерника,* т. ј. кругови C и C_1, исто онолико карактеристични као кругови повратника. Код њих се северан зове *арктички*, а јужни *антарктички стожерник.* Од њих према половима, за време лета на свакој од те земљине полукугле, дани бивају све дужи од 24 часа, т. ј. осветљење траје све дуже од 24 часа, док за време њихове зимске половине године трају све дуже ноћи.

Према досадашњем излагању могу се извести основна правила:

1.) Пошто је земљина ротацијона осовина увек паралелна сама себи, круг осветљења стално дели екватор на две једнаке половине и с тога су на екватору дан и ноћ стално једнако дуги. На свим другим географским ширинама дани су најдужи кад је сунчева деклинација највећа, а ноћи кад је деклинација најмања.

2.) На земљиној површини има пет карактеристичних упоредника: екватор, два повратника и два стожерника. Они су последице нагнутости земљине осовине према еклиптици и карактеристични су за односе осветљења и загревања. С помоћу њих се може поставити најопштија подела Земље на климатске зоне.[1])

Трајање дана и ноћи на географским ширинама од 0^0 до $66^0 33'$. — У ранијем излагању је показано, да се из астрономског троугла могу одредити и часовни углови[2])

$$(1.)\quad \cos t = tang\,\varphi \cdot tang\,\delta.$$

[1]) в. поглавље *Подела Земље у зоне и климате,* стр. 55—56.

[2]) в. стр. 20.

У тој формули је означена са φ висина пола, са δ деклинација, а са t часован угао.

Али се дужина најкраћег и најдужег дана може прорачунати и на географским картама азимуталне пројекције, са истинским површинама, с помоћу осветљеног и осенченог земљиног дела за најкраћи и најдужи дан, т. ј. за 21. децембар и 21. јуни. Ако се за пример узме одређење најдужег дана, за време летњег солстиција, мора се пре свега одредити, који је део упоредника посматрачевог места тог дана осветљен. Из скице 102. се види, да је ноћни лук тога упоредника означен линијом ADB. Половина тога лука је DB, а његов угао је $\sphericalangle DPB = t$.

Скица 102.

У правоугло-сферном троуглу $\triangle CPB$ биће $CP = 23^0 27'$, јер је то лук од стожерника до пола, а $BP = (90^0 - \varphi)$, јер је комплементаран угао географској ширини посматрачевог места φ.

Пошто је $tang\, \varphi = cotang\, (90^0 - \varphi)$ то ће се према горњој формули (1.), али са друкчијим ознакама, добити формула:

$$(2.) \quad \cos t = tang\, CP\, tang\, BP$$
$$= tang\, 23^0 27'\, cotang\, (90^0 - \varphi)$$

Када се на тај начин прорачуна вредност t, лако је прорачунати цео лук $ADB = 2t$, пошто је однос између углова и времена $15^0 = 1^h$ и $1^0 = 4^m$.

С друге стране се може истом формулом одредити она географска ширина, у којој се може појавити извесна дужина дана између 12 и 24 часова. Тада у рачун улази место $tang\, \varphi$ вредност $cotang\, \varphi$, која је одговарајућа вредности $tang\, (90^0 - \varphi)$ и формула ће бити:

$$(3.) \quad tang\, (90^0 - \varphi) = \frac{tang\, 23^0 27'}{\cos t}$$

На разним географским ширинама од 0^0 до $66^0 33'$ најдужи и најкраћи дан траје оволико:

ГЕОГРАФСКА ШИРИНА	0^0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	$66^0 33'$
НАЈДУЖИ ДАН	12^h	$12^h\ 35^m$	$13^h\ 13^m$	$13^h\ 56^m$	$14^h\ 51^m$	$16^h\ 9^m$	$18^h\ 30^m$	24^h
НАЈКРАЋИ ДАН	12^h	$11^h\ 25^m$	$10^h\ 47^m$	$10^h\ 4^m$	$9^h\ 9^m$	$7^h\ 51^m$	$5^h\ 30^m$	0^h

а дужине дана и ноћи, које одговарају појединим географским ширинама, изнесене се у следећој таблици

ДУЖИНА ДАНА	12^h	13^h	14^h	15^h	16^h	17^h	18^h	19^h	20^h	21^h	22^h	23^h	24^h
ДУЖИНА НОЋИ	12^h	11^h	10^h	9^h	8^h	7^h	6^h	5^h	4^h	3^h	2^h	1^h	0^h
ГЕОГРАФСКА ШИРИНА	0^0	$16^0 45'$	$30^0 49'$	$41^0 25'$	$49^0 3'$	$54^0 32'$	$58^0 28'$	$61^0 20'$	$63^0 24'$	$64^0 51'$	$65^0 49'$	$66^0 22'$	$66^0 33'$

Трајање осветљења и мрака на географским ширинама од $66^0 33'$ до 90^0. — Изван стожерника, у већим географским ширинама, нестаје разлика између дана и ноћи, и трајање осветљења или мрака зависи само од сунчеве деклинације.

Геометријски се трајање осветљења или мрака може решити, ако се одреди угао $\sphericalangle PCF = x$ (в. скица 103.). Он се може прорачунати из $\triangle CPF$, у коме је хипотенуза $CP = 23^0 27'$, комплементаран угао географској ширини $PF = (90^0 - \varphi)$, а $\sphericalangle PFC = 90^0$. Према томе је

$$\sin x = \frac{\sin PF}{\sin CP} = \frac{\sin (90^0 - \varphi)}{\sin 23^0 27'}$$

Скица 103.

Пошто се граница светлости у летњој половини године, која одговара приближној дужини од $186^1/_2$ дана, помери за 180^0, одговараће померању светлосне границе за 1^0 време од 1,036 дана. Ту вредност треба помножити са двоструким комплементарним углом x да се добије приближна вредност за трајање осветљења.

Једноставније се то може учинити ако се у таблици сунчевих деклинација нађу они дани испред и иза сунчевих солстиција у којима је деклинација комплементаран угао географске ширине. Тиме је одређено трајање светлости или мрака у данима, а не у часовима. На примеру се то показује овако: Машигин залив на Новаја Земљи лежи на географској ширини $\varphi = 74^0 23'$. Тада ће сунчева деклинација бити комплементаран угао географске ширине када је $\delta = (90^0 - 74^0 23') = 15^0 37'$. У астрономском се алманаху потраже дани у којима је сунчева деклинација већа од $15^0 37'$. Показаће се, да она од 4. маја до 11. августа има већу вредност, и према томе ће Машигин залив за цело то време

примати стално сунчеву светлост. Сталан дан на том месту траје око 100 дана.

Трајање осветљења веома нагло расте са повећањем географских ширина, као што се види из приложене таблице

Поларна висина места; $\varphi =$	$66^0 33'$	70^0	75^0	80^0	85^0	90^0
Највиша сунчева кулминација	$46^0 54'$	$43^0 27'$	$38^0 27'$	$33^0 27'$	$28^0 27'$	$23^0 27'$
Сталан дан	1^d	65^d	103^d	134^d	161^d	186^d
Стална ноћ	1^d	60^d	97^d	127^d	153^d	179^d
Дани са рађањем и заласком Сунца	365^d	240^d	165^d	104^d	41^d	0^d

Корекције предњих резултата. - Сутон и светле ноћи. — При свим овим прорачунавањима није узиман у обзир утицај атмосфере и преламања зракова, као ни сунчев пречник.

Очигледно је, да се сунчева ивица раније појави изнад видика и доцније залази испод њега него сунчево средиште, и пошто је привидан сунчев пречник на средњем удаљењу од Земље 31′59″.29, тиме се дужина дана продужи за 4 минута.

Много је важнији утицај атмосферске рефракције на сунчеве зраке при проласку кроз ваздух. Раније је већ показано, да зраци, под утицајем рефракције, показују према земљиној површини увек конкавну страну. Услед тога се сунчева светлост види још пре његовог рађања и после заласка, чиме се дужина дана доста знатно повећа.

Према *Кимбал*овим посматрањима је доказано, да смркавање у становима почиње и да се ујутру назире светлост, када је Сунце око 6^0 до 8^0 испод хоризонта, и када се планете и звезде прве величине још могу видети. То је т. зв. *грађански сутон*. Међутим потпун мрак настаје на отвореном видику тек онда кад се Сунце спусти до 16^0 и 18^0 испод хоризонта, и кад се на небу, у близини зенита, појаве звезде шесте величине. Тај појав одговара појму *астрономског сутона*. Величина утицаја сунчевог пречника и атмосферске рефракције се види из скице 104.

Скица 104.

Сутон ће бити тим краћи што је сунчева путања стрмије нагнута према хоризонту; с тога је трајање сутона на екватору најмање, а најдуже је у великим географским ширинама за време солстиција. На екватору сутон траје нешто дуже од једног часа, док на 50^0 географске ширине колеба од $1^3/_4$ до 4 часа. По-

што у рачун улази и јутарњи и вечерњи сутон, оба ће у летњим данима трајати око 8 часова. Али је на 50^0 географске ширине најкраћа ноћ тек 7^h51^m и у томе случају у свих 24 часова неће бити потпуног мрака, јер сутон траје нешто дуже од ноћи.

На местима, где је нагиб сунчеве путање према хоризонту мањи од 16^0, неће ни доња кулминација Сунца бити ниже од 16^0 испод хоризонта. С тога се у тим пределима вечерњи и јутарњи сутон спајају и настају *светле ноћи.* Географска ширина на којој се то догоди може се лако одредити, јер је

$$16^0 = 90^0 - \delta - \varphi$$

Пошто δ има свој максимум за време летњег солстиција, када је $= 23^0 27'$, биће

$$16^0 = 90^0 - 23^0 27' - \varphi$$

а по томе је

$$\varphi = 90^0 - 23^0 27' - 16^0 = 50^0 33'$$

По овоме закључку се види да појава светлих ноћи може бити тек на већој географској ширини од $50^0 33'$.

Мрачна ноћ настаје на географској ширини $\varphi =$	60^0	70^0	80^0	90^0
када је деклинација δ мања од	14^0	4^0	-6^0	-16^0
а то је од датума	16.VIII.	13.IX	9.X.	6.XI.
до датума	28.IV.	31.III.	4.III.	4.II
или у данима	256	200	147	91

Ови односи јасно указују на велики значај сутона. Напред је упозорено, да би без његовог утицаја ноћ на полу трајала 179 дана или 6 месеца, док је због постојања сутона смањена за 91 дан, дакле за више од половине горње вредности.

На основу свих поменутих чињеница долази се до ових закључака: Од екватора до $50^0 33'$ географске ширине јавља се свакодневна разлика између дана и ноћи, али су ноћи скраћене због сутона. — Од $50^0 33'$ до $66^0 33'$ географске ширине јавља се такође свакодневна разлика између дана и ноћи, јер Сунце никад није 24 часа испод хоризонта. Али на томе појасу има извесног броја полутамних ноћи у којима не престаје сутон. — Од $66^0 33'$ до $82^0 33'$ географске ширине има поларних ноћи, које нису прекинуте дневном светлошћу, али су сваког дана прекинуте сутоном. С тога у њима има светлих ноћи, има мрачних ноћи, али правих поларних ноћи нема. — Од $82^0 33'$ географске ширине до полова настаје потпуна поларна ноћ, која траје тим дуже што је већа географска ширина.

Општи закључак о годишњем трајању дана, сутона и ноћи на разним ширинама може се свести у ове вредности:

географска ширина	0^0	40^0	90
дан	$182^d\ 15^h$	$183^d\ 8^h$	$186^d\ 11^h$
сутон	$36^d\ 1^h$	$49^d\ 2^h$	$90^d\ 16^h$
ноћ	$146^d\ 14^h$	$132^d\ 20^h$	$88^d\ 3^h$

II. Годишња времена.

Да би се добио тачан појам о постанку годишњих времена, мора се обратити пажња земљином кружењу око Сунца. При томе посматрању треба опет поћи од пролетње тачке.

Ако се Земља означи са T, а Сунце са S, и ако се небо посматра 21. марта, видеће се да је Сунце привидно у пролетњој тачци ♈ (скица 105). У истини је Земља у тачци T_1, која је од пролетње тачке удаљена 180°. Пошто је Земља у томе дану у чвору, где се еклиптика сече са небесним екватором, земљин екватор је у истој равни са небесним. То је узрок што обе земљине полукугле добијају исте количине топлоте.

Земља се после три месеца нађе на својој путањи за 90° даље, у тачци T_2. Сунце се тада привидно налази у знаку рака ♋ и изгледа да је северно од небесног екватора (♈ A ♎). Међутим је у том добу (21. јуна) Земља на својој путањи јужно од небесног екватора, и према њему је нагнута под углом од 23°27′. Пошто сунчеви зраци падају на земљину површину паралелно, цела северна полукугла је осветљена и загревана, док се то на јужној полукугли догађа само до 66°33′. Тог дана је Сунце у зениту на 23°27′ северне ширине и зато северна полукугла прими много више топлоте од јужне. То је лето северне, а зима јужне полукугле. Супротност годишњих времена је, дакле, последица нагиба еклиптике.

Скица 105.

23. септембра је Сунце пројицирано у знак теразија, ♎, али је и ту чвор, у коме се еклиптика сече са небесним екватором. У истини је Земља на својој путањи у тачци T_3, и како је њен екватор поново у равни небесног екватора, примају обе земљине полукугле исте количине топлоте. То доба је јесен северне, а пролеће јужне полукугле.

Од 23. септембра Земља се на својој путањи све више издиже изнад небесног екватора, а Сунце се привидно спушта све ниже. Тако се Земља 21. децембра нађе на најсевернијој тачци путање T_4, а Сунце је у томе дану пројицирано у ♑ и налази се на небу на својој најјужнијој тачци. Тада се на јужној полукугли јављају исти односи, какви су били на северној 21. јуна, т. ј. у томе је добу лето јужне, а зима северне полукугле.

Раније је показано, да би се према разној нагнутости земљине осовине мењали услови осветљења и примања топлоте, јер што би угао нагнутости бивао мањи, тим оштрије би биле разлике између го-

дишњих времена. Фактички нагиб је веома повољан јер отклања монотоност сталне једнакости, а штити од огромних разлика у годишњим временима.

Али поред ових разлика, које су последице нагиба еклиптике, и које означују *квалитет годишњих времена* на Земљи, има и других разлика, које настају услед облика земљине путање. Облик земљине путање условљава *квантитет годишњих времена*, јер од њега зависи њихово трајање. Те односе показује скица 106.

Две најважније линије код земљине путање су *еквинокцијална* (21.III. — 23.IX.) и *солстицијална линија* (21.VI. — 21.XII.), од којих прва везује пролетњу са јесењом тачком, а друга летњу и зимску тачку. Солстицијална линија се пре 640 год. поклапала са апсидном линијом, јер је везивала крајње тачке земљине путање, афел *A* и перихел *P*. Али се ове две линије више не поклапају због гравитацијоних утицаја, који ће се доцније посмотрити. Оне се секу под углом од 11°, а апсидна и еквинокцијална линија под углом од 101°. То је узрок што Земља на својој путањи доспе у перихел тек 2. јануара, дакле много доцније после зимског солстиција, који означава почетак астрономске зиме.

Скица 106.

Значај горњих двеју линија је у томе, што је њима земљина путања подељена на четири квадранта, а астрономска година у четири годишња времена неједнаког трајања. Дужина појединих годишњих времена за 1922—1923 годину је овака:

пролеће 21. марта од 11^h ујутру, до почетка лета	92^d19^h	186^d10^h
лето 22. јуна од 6^h ујутру, до почетка јесени	93^d15^h	
јесен 23. септембра од 21^h ноћу до почетка зиме	89^d19^h	178^d20^h
зима 22. децембра од 16^h по подне, до почетка пролећа 20.III. 17^h по подне	89^d1^h	
највећа разлика	4^d14^h	7^d14^h

Из ових података и из скице се види, да ни једно годишње доба нема исту дужину и да је летња половина године скоро за 8 дана дужа од зимске половине године северне полукугле.

Узрок тим неједнакостима у трајању годишњих времена лежи у три факта:

1. зимски део земљине путање је краћи од летњег дела, јер еквинокцијална линија не полови земљину путању, него ју пресеца на два неједнака дела.

2. апсидна линија и оријентацијоне линије се не поклапају, т. ј. апсидна линија не пада у правац солстицијалне линије и не стоји са

еквиноцијалном линијом под углом од 90°, у ком би случају пролеће било једнако лету, а јесен једнака зими.

3. Земља се у зимској половини године (северне полукугле) налази на делу перихела и креће се већом брзином него у току летње половине, када је у делу афела.

Гравитацијони утицаји небесних тела на земљина кретања.

Према трећем *Кеплер*овом закону и према *Њутн*овом принципу о акцији и реакцији између Сунца и његових планета, између планета и њихових месеца, постоји *међусобно привлачење*, које је у правом односу са масама тих тела, а у обрнутом односу са квадратом њихових удаљења.

На основу тог закона *Њутн* налази у гравитацији ону снагу, која изазива међусобне утицаје небесних тела. По њему су поремећаји планетарних путања последице њихових међусобних привлачења. Та снага *универзалне гравитације* управља свим кретањима у васиони; због ње настају поремећаји или пертурбације у кретању наше Земље, који су последице привлачних снага планета и Месеца.

Пертурбације се могу поделити у две главне врсте, т. зв. *периодске пертурбације*, чија периода је већином краћа од 20000 година и *секуларне пертурбације*, које имају знатно дуже периоде.

I. Периодске пертурбације.

Да би се пертурбације, уопште, могле добро схватити, потребно је пре свега изнети промене у положају земљине осовине. Оне могу бити изражење периодским осцилацијама и непериодским кретањима и могу се разделити у две различите групе.

1. Земљина осовина PP_1 може на својој путањи мењати правац без промене у географским координатама: паралелима и меридијанима. Тада се угао између земљине осовине и њене путање EE може променути од α у β и осовина може да се помери с једне на другу страну путање, а да осовине координатног система остану непромењене (ск. 107.). У том је случају земљина осовина остала чврсто спојена са земљиним телом, другим речима, земљини полови су остали на истим тачкама земљине површине, као и земљин екватор ab. У ову групу кретања спадају прецесија и нутација.

Скица 107.

2. Земљина осовина PP_1 може да промене место у самом земљином телу због разних поремећаја на њој и да дође у положај $ПП_1$ (скица 108.). Тада је $\sphericalangle POП = \pi$. Из истог разлога се за исти угао π мења и положај екватора ab у правац a_1b_1 Овде су дакле $\sphericalangle POП = \sphericalangle aOa_1$. Последица тога је и промена свих географских координата на Земљи. Осим тога се мора исто тако променути и угао између земљине осовине и путање. Он може постати мањи или већи, према правцу у који се осовина померила, дакле, да ли је $\alpha \lesseqgtr \beta$. Ако је осовина померена за $\sphericalangle \pi$, тада је $\beta = \alpha \pm \pi$. У ову групу кретања спадају промене поларних висина.

Скица 108.

А. Померање земљине осовине услед небесних тела.

Прецесија. — Узрок прецесијоним појавама треба тражити у земљиној спљоштености, у њеном нагибу према еклиптици и у неједнакој привлачној снази Сунца, Месеца и осталих планета. Ове механичке узроке прецесије уочио је тек *Њутн*[1]) и показао је, да је прецесија принудна конзеквенција његовог гравитацијоног закона. Он је покушао да овај проблем реши и математички, али је погрешно унео вредност једне величине и дошао је до нетачног закључка. Тек доцније се овим питањем детаљније бавио *Д'Аламбер* и успео је да га повољно реши.[2]) Он је унео у рачун и утицај Сунца, чиме је решио проблем прецесије, и утицај Месеца, с помоћу кога је доказао нутацију.

Д'Аламберово решење графички изгледа овако: Нека је Земља у летњем солстицију, и нека је раван еклиптике означена линијом CS, а нагиб земљине осовине према еклиптици углом $\sphericalangle PCS = 66^0 33'$ (скица 109).

Земљина маса је са обе стране осовине PP_1 једнако подељена, екваторијални делови су испупчени, а поларни делови спљоштени. С тога је полусфероид $PAP_1P = PBP_1P$. Ако се око мале осовине PP_1 опише круг са полупречником $PC = P_1C$, Земља ће бити подељена на три дела: на један круг и два српа једнаких маса. Маса круга је концентрисана у тачци C, а масе српова су концентрисане у тачкама A и B. Пошто су обе масе српова једнако велике, а неједнако удаљене од Сунца, јасно је, да ће их Сунце привлачити неједнаком снагом.

Срп B је најближи Сунцу и с тога ће бити јаче привлачен него маса C, а пошто је срп A најдаљи од Сунца биће мање привлачен него

[1]) *Isaak Newton*, Principia naturalis philosophiae mathematica. London 1687.

[2]) *D'Alembert*, Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la Terre. Paris 1749.

маса C. Ако је акцелерација у телу C означена са c', у маси B ће се придружити и акцелерација BD, док ће се у маси A акцелерација смањати за AF, према акцелерацији c'.

Скица 109.

Акцелерација BD се даје разложити у две компоненте: прву, која делује у правцу равни еклиптике, BR, и другу, центрифугалну снагу, BG. Исто се тако акцелерација AF дели у AQ и AH. Ако је Земља крута, нееластична, снаге BG и AH не показују никакву активност, али снаге BR и AQ делују и даље и теже да земљин екватор AB дотле померају док не дође у правац еклиптике CS. Тој тежњи, међутим, делује на супрот земљина ротација, која тежи — према законима механике — да одржи земљину осовину у њеном нормалном правцу.

За време равнодневица пада екваторијална раван AB у правац еклиптике CS и тада је прецесија једнака нули, док за време солстиција има највећу вредност. Та вредност се у току године мења, јер Земља према Сунцу долази у разне положаје.

Скица 110.

Ако би земљина осовина стајала управно на раван еклиптике, прецесије не би било. Исто се тако не би могла јављати да је Земља округла, при свем том што јој је осовина нагнута према еклиптици. То је сасвим јасно, јер ако је тачка A већма удаљења од Сунца него тачка B (скица 110a.), те снаге би се поништиле, пошто снази A стоји исто толика снага A_1 на супрот, а снази B снага B_1.

Код ротацијоног елипсоида настају сасвим друкчији услови. Већој маси A делује на супрот мања маса a (скица 110b.), исто тако већој маси B делује на супрот мања маса b. Али, веће масе имају и већу снагу него мање, и с тога

теже да помере екватор према равни еклиптике. Последица тих утицаја се показује у колебању земљине осовине: Земља ће се кретати као чигра, а осовина ће јој описивати купу. Али, према томе, земљина осовина не може остати сама себи паралелна; она се мора померати, а прецесијони појави су први доказ тога померајућег кретања.

Пошто се између оријентације на небу и на Земљи показује паралелитет, додирнуће се продужена земљина осовина (P) са небесном куглом у небесном полу P_1 (скица 111.). Из скице се види да пол еклиптике Z стоји према осовини P_1D под углом $\sphericalangle ZDP_1 = \varepsilon = 23^0 27'$. Али око осовине P_1D описује земљина осовина купу, која са небесним екватором затвара угао $\pi = 0''.0173$. Кад би се крајеви те купе пројицирали на земљину површину, они би одговарали кругу око пола са пречником од 53·2 цм. По том се кругу помера земљина осовина око осовине P_1D у противном правцу ротације, дакле у правцу сказаљке. Утицај тога померања се показује у томе, што је земљино кретање по еклиптици нешто успорено. Земља на својој путањи заостаје према Западу, или, другим речима, у истом правцу заостаје и осовина P_1D.

Скица 111.

Осовина небесног пола је, према томе приморана, да око пола еклиптике описује купу са пречником од $2\,\varepsilon = 46^0 54'$. Време, за које небесни пол једанпут окружи купу, одговара периоди од 25800 година, која се у Астрономији зове *велика платонска година*. Као последица прецесијоног кретања, небесни се пол удаљава од поларне звезде α и отприлике за 12000 година ће доћи у близину звезде Vega, у сазвежђу Лире.

Прецесија еквинокција. — На прецесијоне појаве упозорио је још *Хипарх*. Када је упоређивао своја одређења звезданих координата са одређењима *Аристила* и *Тимохариса*, који су их вршили око 150 год. раније, он је видео, да су му координате звезде Класа, у сазвежђу Девојке, показивале разлику од 2^0. Он је одредио да је Клас на 174^0 дужине, док је *Тимохарис* за исту звезду одредио да је на 172^0 дужине. То исто се *Хипарху* показало и при упоређењу других звезда: код свих звезда се показао прираштај дужине, док су ширине остајале исте. Све звезде се, према томе, удаљују од пролетње тачке, у којој се сече небесни екватор са еклиптиком.

Из тог разлога је *Хипарх* закључио да раван еклиптике и небесни екватор немају непроменљив положај, него да се цела кугла непомичних

звезда помера унапред. Услед тог померања унапред појав је назван *прецесијом* или истрчавањем. Тај појав се јасно види из скице 112. У њој је *F* пролетња тачка, т. ј. почетна тачка за мерење звезданих астрономских дужина. *Клас* је, према Хипарховом одређењу, *истрчао* за време од 150 година *испред пролетње тачке* за 2^0. Пошто је $2^0 = 7200''$, а размак 150 год., биће годишња вредност прецесије $7200'' : 150 = 48''$. Доцније је величину годишње прецесије еквинокција прорачунао Арапин *Албатен* (879 година) и добио вредност од $55''$, а Перзијанац *Насир Един* (1260 год.) вредност од $51''$. На основу најновијих резултата је одређено, да је величина прецесије еквинокција $50''.24$.

Скица 112.

Хипарх је, према тадашњем схватању, морао да претпостави, да се кугла непомичних звезда помера унапред, или, што је исто, да испред пролетње тачке истрчава; данашњим појмовима, међутим, одговара обрнут појав, који се своди на ретроградно кретање еквинокцијалних чворова. Ипак се назив *прецесије еквинокција* још и данас употребљава.

Ако би Сунце имало искључив утицај на Земљу, њезина би осовина описивала по небесној кугли за иста времена исте лукове и брзина прецесијоног кретања би била једнолика; величина *соларне прецесије* би износила $14''$. Али истовремено делује Месец и разне планете. Због њихових разних положаја, па с тога и разних утицаја, мораће се брзина прецесијоног кретања мењати. Величина *лунарне прецесије* износи $36''.36$, јер је Месец веома близак Земљи. *Луни-соларна* је *прецесија* према томе $50''.36$. Ако се узму у обзир и промене у нагибу еклиптике, и утицај свих планета, добија се за *општу прецесију* вредност од $50''.24$.

Осим тога, планетарни утицаји се осећају и у варијацијама прецесијоне величине. Она је око 1800 год. имала вредност $50''.2252$, а 1900 год. $50''.2472$, према томе се за последњих 100 година показује годишњи прираштај од $0''.0002205$.

Овим фактима се може протумачити зашто су се од Старог Века до данас еквинокцијални чворови толико много померили у кругу зодијака. За време Хипарха је пролетња тачка падала на западни део сазвежђа Овна. Али од Хипарховог доба до данас, за последњих 2050 година, еквинокцијалне су се тачке помериле за $2050 \times 50''.24 = 28^0 35'$ тако, да пролетња и јесења тачка данас падају у сазвежђа Бика и Шкорпије, а летња и зимска солстицијална тачка у сазвежђа Лава и Водолије. Ипак су и до сад остали у општој употреби називи Старог Века.

У почетку овог посматрања је показано у каквом се облику прецесија показује на небесној кугли. Земљина осовина, која је пројицирана на небо, описује круг око пола еклиптике са угаоном разликом

од 47°. (скица 113 горе). На земљиној ће се путањи, међутим, то показивати на померању полова у разним фазама револуције у великој платонској години. Те појаве се могу графички јасније изразити него речима и с тога су изнесене у скици 113.

Нека је земљина осовина у извесној фази A земљине револуције у платонској години нагнута према еклиптици под истим углом, који одговара конусном углу AOE (скица 113 горе), тада ће линија AO из те скице бити паралелна са земљином осовином pp_1 у фази A (скица 113. доле). Пошто је земљин екватор у истој равни са небесним екватором, небесни екватор ће се сећи са еклиптиком у тачци F_a.

Скица 113.

Када се Земља у платонској години помери до тачке B њена осовина ће бити нагнута под другим углом: Небесни пол би тада био у тачци B (скица 113 горе), земљина би осовина била паралелна линији BO, $BO \parallel pp_1$, а нагнутост земљине осовине би одговарала конусном углу $\sphericalangle BOE$. Ако се у тој фази пројицира земљин екватор на небо, небесни ће се екватор сећи са еклиптиком у тачци F_b.

То исто ће се догађати и доцније, у фазама C и D. Нагнутост земљине осовине непрестано се мења: она ће у првом случају лежати под углом $\sphericalangle COE$, а у другом случају под углом $\sphericalangle DOE$. Али, истовремено се помера и пролетњи чвор и долази у друге пределе неба, т. ј. у положај F_c и F_d, и напослетку, по истеку 25800 година, падне поново у тачку F_a.

Нутација. — *Бредли* је приликом одређења звезданих паралакса (1748 год.) открио и појав нутације[1]). Он је пронашао да земљина осо-

[1]) од латинског *nuto*, *are* = нагнути, климати.

вина за време једног кружења месечевих чворова подлежи колебању; видео је да оно стоји у вези са неједнакостима у прецесији еквинокција и да се показује у облику мајушне елипсе, код које половина велике осовине има вредност $a = 9''.22$, а половина мале осовине $b = 6''.86$. Али је тек *Д'Аламбер* успео да и нутацију доведе у сагласност са Њутновим законима и сфероидним земљиним обликом. Он је рачунски одредио да нутацијоно кружење има периоду од 18·6 година, која одговара једном кружењу чворова, у којима се сече еклиптика са месечевом путањом.

Појав нутације настаје под утицајем Месеца. Ако би и месечева путања стајала у равни еклиптике, заједнички би се утицаји Сунца и Месеца комбиновали и деловали би на исти начин. Али је раније показано да испупченост земљиног екватора ствара прецесијоне појаве и да би прецесија еквинокција требала да је једнолика, јер је Сунце половину године изнад небесног екватора, а половину године испод њега. Месец се, међутим, не креће у равни еклиптике; његова путања је према еклиптици нагнута под углом од 5°9′ и с тога не може да делује на исти начин на прецесијоне појаве.

Месец утиче на земљин испупчен екватор тако, што тежи да га помери у раван *своје путање*. Тим његовим утицајем круг прецесијоног померања постане змијасто извијуган. Свака вијуга се створи за 18·6 година услед неправилног кретања Месеца. Због тог је вијугања, или климања земљине осовине, овај појав назван именом нутација. Поремећај прецесијоног круга услед нутације показује скица 114. Кад би земљина осовина била непомична, њена би пројекција на небу падала у тачку N_1 и око ње би небесни пол описивао нутацијону елипсу. Али се, услед прецесијоног кретања, нутациона елипса не може да покаже у правом облику, него је претворена у извијугану кружну линију.

Скица 114.

Б. *Колебање земљине осовине у њеном телу.*

До сада је показана постепеност у земљиним кретањима, полазећи од најелементарнијих према компликованијим кретањима, која све више одговарају истини. Последњу појаву кретања, које може имати небесно тело као целина, представља колебање ротацијоне осовине у њему самом. Последице тога колебања се показују у променама поларних висина на Земљи.

Промене поларних висина. — Кад би Земља била кугла или правилан ротацијони елипсоид, кад би јој мала осовина била ротацијона осовина и кад би била из хомогеног материјала, она би се кретала око

сталне осовине, која никад не би мењала место; али такво кретање може настајати само у случају, ако је подела маса потпуно симетрична. Међутим је већ раније изнесено да Земља нема правилан облик. Она има облик геоида, и пошто је подела маса неједнака осовина мења место у самом земљином телу,

Колебања земљине осовине настају из разних узрока. Сва померања морских огледала и сва кретања обала стварају неједнакости у подели маса. На исти су начин морали деловати ледењаци за време глацијалне епохе, када је у Северној Америци и Европи око 28 мил. км² било под ледом. Ако ја дебљина тих ледних маса била бар 1 км., то би одговарало количини од 28 мил. км.³ леда. Та количина би била довољна да се северни пол помери на меридијану 139⁰ ист. дуж. за више од 8000 метара према Југу. Осим тога се поремећај маса ствара и седиментацијом, јер се честице са земљине површине снашају у океанске дубине и долазе ближе земљином средишту.

Поред ових фактора долазе у обзир и други: плима и осека, нагомилавање снега у току зиме на северној полукугли Земље, па чак и колебање ваздушног притиска. Ако се, наиме, ваздушан притисак у Европи повећа само за 5 милиметара изнад нормале, ваздушна ће се маса на том делу Земље повећати за 680 милиона килограма, а исто ће се толико на другим деловима смањити.

У свим овим случајевима се инерцијони полови Земље померају у самом њезином телу. Теоретском страном овог питања се бавио *Ајлер* (1707—1783 г.), који је дошао до овог закључка: Кад би Земља била потпуно крута, без икакве еластичности, ротацијона би јој осовина у самом телу описивала мали круг око пола, са периодом од 305 дана. По њему је тај круг назван *Ајлеровим кругом*.

Доцније је *Њукомб* показао, да би код тела, која су релативно пластична, та периода морала бити дужа. А, ако би се подела маса почела неједнако прилагођавати новој осовини, она не би описивала круг, него би имала неправилну спиралу, која би се доста далеко могла одмицати од пола. То је доцније заиста и доказано.

Скица 115

Још од половине прошлог века се држало, да поларне висине разних места у Европи колебају, али је то са сигурношћу доказано тек у 80-им годинама прошлог столећа. Од тада је том питању посвећена велика пажња, а његов проблем је ово:

Ако су два места *A* и *B* (скица 115) на истом паралелу и ако леже на супротном меридијану, дакле на удаљењу од 180⁰ геогр. дуж.,

она ће имати исту географску ширину φ, односно висину пола. Пошто је хоризонт на месту A означен са cc, а на месту B са $c_1 c_1$, пошто је $N_a A \parallel NO$ а $AB \parallel QQ_1$ и пошто је

$$N_a A \perp AB, \text{ а } cc \perp AO$$

мора бити:

$$(1.) \quad \sphericalangle AOQ = \varphi = \sphericalangle N_a Ac$$

Али, ако се земљина осовина NO помери у правац $N'O$, дакле за $\sphericalangle \psi$, јасно је, да ће се и поларна висина места A померити из тачке N_a у тачку N'_a, дакле за $\sphericalangle N_a AN'_a$. Пошто је $NO \parallel N_a A$ и $N'O \parallel N'_a A$ мора бити и

$$(2.) \quad \sphericalangle NON' = \psi = \sphericalangle N_a AN'_a$$

Поларна висина на месту A ће се повећати за $\sphericalangle \psi$ и према томе на томе месту неће више бити географска ширина φ, него $\varphi + \psi = \varphi_1$

У исто ће се време на месту B тачка N_b померити у тачку N'_b и према ранијим односима ће се видети да је и на том месту $\sphericalangle N_b BN'_b = \psi$. Али, док је на месту A географска ширина повећана, на месту B је смањена, и према томе географска ширина тога места неће више бити φ, него $\varphi - \psi = \varphi_2$.

То је доказано 1891 године упоредним посматрањем и мерењем поларних висина у Берлину и у Хонолулу, престоници Хавајских Острва, која је око 180⁰ геогр. дуж. удаљена од Берлина. И ако географске ширине нису исте (Берлин 52⁰30′, Хонолулу 21⁰16′) ипак се показује врло изразито и правилно подударање, као што се види из скице 116. Курва колебања у Берлину показује супротан облик од курве колебања у Хонолулу. Кад се у Берлину географска ширина повећава у Хонолулу се смањује, а кад се повећава у Хонолулу, смањује се у Берлину.

Скица 116. — Промене географских ширина у Берлину и Хонолулу (по Trabert-у)

У Берлину амплитуда колебања износи 0,58″, а у Хонолулу 0,53″. И ако је ово колебање осовине врло незнатно ипак се јасно види, да се ротацијони пол Земље и географски пол у истини не подударају. На земљиној површини би амплитуда колебања од 1″ одговарала дужини од 10000856 м : 90⁰ = 10000856 : 324000″ = 30·86 м, и према томе је колебање осовине у апсолутном мерилу око 8·5 метара, јер се ротацијони

пол удаљава на једну страну за 8·5 м. и на другу страну за 8.5 м. од теоретске вредности, у свему, дакле, за (30·86 × 0″·555) = 17·0 метара.

Шандлер је прорачунао да ова периода траје 427 дана, према чему се може закључити да Земља није сасвим крута, него да је донекле еластична, и да њена еластичност одговара еластичности челика. Слична се периода од 430 дана показује и код плиме и осеке што се врло добро подудара са горњим вредностима. *Шандлер*ова периода 14-омесечног колебања земљиног пола је само продужена 10-омесечна *Ајлер*ова периода, услед еластичне попустљивости земљиног тела. Променљивост у трајању ове периоде вероватно не постоји.

Ванах је пре шест година исправио *Шандлер*ову периоду на основу 10-огодишњих одређења поларне висине у Пулкови и на основу података интернацијоналних станица, и при том је дошао до резултата да ова периода траје 432·8 ± 0·5 дана.[1])

Сада се интернацијонална служба стално врши на једном јужном паралелу на два места, а на северном паралелу на шест места: Мизусава (Јапан; 141°8′ И. Gr.), Чарџуи (Туркестан; 63°29′ И. Gr.), Карлофорте (ЈЗ. од Сардиније на острву Св. Петра; 8°9′ И. Gr.) Гезерсбург 77°12′ З. Gr., Цинцинати 84°25′ З. Gr., Укиах 123°13′ З. Gr. (ове три станице у Северној Америци). Све станице тог „интернацијоналног ширинског паралела“ леже на географској ширини + 39°8′. Средње поларне висине ових станица показују максималну разлику од 15″.76.

У скици 117. је изнесена курва путање северног пола земљине осовине за периоду 1906 до 1912 год. У њој је 1 центиметар = 0,1″ или 3 метра на земљиној површини. ~~Из ње се види ово.~~ Од 1900 г. курва се непрестано ближила прáвом полу. У почетку 1901 год. била је најближа, затим се постепено удаљавала, до половине 1903 год. После се све брже ближи полу, све до 1907 год., али у другом квадранту. У пролеће те године је најближа полу, затим се постепено почиње удаљавати, па је већ у половини 1908 год. изван путање на којој је била 1903 год. и затим се све више удаљава. 1910 до 1911 год. описује највећи круг,

Скица 117. Путања северног пола земљине осовине. (по Wanach-у)

[1]) *B. Wanach*, Resultate des internationalen Breitendienstes. Band V. (Neue Folge der Veröff. d. Zentralbur. d. internat. Erdmess. № 30) — Berlin. 1916.

али се тада постепено почне понова ближити правом полу. И ако су ти углови одступања врло незнатни, ипак је у јануару 1910 год. угао био 0,32″, а у јулу 0,37″, што одговара апсолутном удаљењу од 10 до 11·4 метара.

Видело се, да на ово кретање утичу неколико разних фактора, и с тога се још не може изразити формулом. Ово кретање се догађа у истом правцу у ком се и Земља обрће око своје осовине. Код њега се показује изразит годишњи ток: у лето, а нарочито у зиму северне полукугле, удаљење ротацијоног пола од географског пола је најмање, док је у пролеће и у јесен највеће.

Средње годишње удаљење ротацијоног од географског пола је за првих једанаест година овог столећа било оволико:

1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911
0,11″	0,17″	0,20″	0,18″	0,16″	0,12″	0,11″	0,22″	0,31″	0,33″	0,20″

II. Секуларне пертурбације.

У групу секуларних пертурбација спада колебање нагиба еклиптике, померање апсидне линије и промене у ексцентричности земљине путање. Али, док периодске пертурбације имају већи значај са чисто практичног гледишта, секуларне су пертурбације од значаја само за целе фазе земљиног живота, дакле, за знатно дуже периоде.

Колебање нагиба еклиптике. — Обично се узима да је нагнутост еклиптике непромењива, али се и код ње показало да има периодска колебања. Нагиб еклиптике се мења веома споро, али доста систематски. За последњих 3000 година нагиб се непрестано смањивао, што се може закључити на основу кинеског предања и доцнијих научних мерења. Из тих резултата се може видети постепеност у смањивању ове вредности:

Кинеско предање	око 1100	год. пре Хр.	нагиб еклиптике	23°54′
Хипарх	150	„ „		23°51′20″
Албатен	880	„ после Хр.		23°35′
Ибн Јунис	око 1000	„ „		23°34′26″
Бредли	1750	„ „		23°28′19″
Њукомб	1900	„ „		23°27′ 8″

Нагиб еклиптике се још и данас смањује. Величина тог смањивања је према *Њукомб*овим рачунима 0″.4685 годишње, дакле скоро половина степенског секунда.

Питање о границама, у којима се колебање може догађати, још није сигурно решено. Ипак се може доћи до реалног закључка, да узрок променама у нагибу еклиптике треба тражити само у секуларним варијацијама целокупне сунчеве и планетарне привлачне снаге. Према томе се и ово колебање може кретати у доста уским границама. *Лаплас* је прорачунао да амплитуда колебања може износити 7°4′, *Лагранж* је узео

вредност 6°11′, а *Стоквел* само 2°37′. Према *Лагранжу* би периода изгледала отприлике овако:

највећа вредност	29400 год. пре Хр.		$\varepsilon = 27^0 31'$
најмања вредност	14400 „	„	$21^0 20'$
затим прираштај до	2000 „	„	$23^0 53'$
па онда опадање до	6000 год. после Хр.		$22^0 54'$
па идући секундаран максимум	19300 „	„	$25^0 21'$

Према овоме се види да је то колебање осцилаторно, и да поред главних максима и минима постоје и секундарна максима и минима.

Ако се узме да су *Стоквел*ови резултати тачни, тада би се трајање периоде могло прорачунати из односа $[(2 \times 2^0 37') : 0''.4685]$, који приближно одговара времену од 40000 година, док би периода према *Лагранжо*вој вредности била дужа од 100000 година.

Пошто нагиб еклиптике непрестано колеба, астрономи су се споразумели, да се као полазна тачка при мерењима нагиба еклиптике узме њен положај из 1850 год. У тој години је нагиб еклиптике био $\varepsilon = 23^0 27' 31''.5$, и према томе ће бити у 1922 години нагиб еклиптике оволики $\varepsilon = [23^0 27' 31''.5 - (0''.4685 \times 72)] = 23^0 26' 57''.768$.

Померање апсидне линије. — Питању о померању апсидне линије посветио је нарочиту пажњу познати астроном *Литров*.

Апсидна линија се постепено помера у правцу од Запада на Исток, у истом правцу земљине револуције. То померање настаје заједничким деловањем свих осталих планета, које заједно са Земљом круже око Сунца од Запада на Исток. Положај перихела и афела се с тога стално помера по земљиној путањи и то је разлог што је *Литров* назвао овај појав *померањем дужине перихела*. Из скице 118. се ово померање јасно види. У њој је са *P* означен перихел, а са *A* афел.

У току једне године се перихел помери за 11″.46 на Исток, и према томе би понова дошао на исто место за $360^0 : 11''.46 = 113000$ година.

Заједничким утицајем померања пролетње тачке у противном правцу, перихел се *релативно* врати на исто место много раније, као што ће се доцније показати.

Скица 118.

Промене у ексцентричности земљине путање. — Најдужа од свих периода је осцилација ексцентричности, услед које се облик земљине путање нешто мења. Према *Лапласо*вом и *Леверие*евом мишљењу је амплитуда ових промена доста велика. Она колеба од максимума $\varepsilon_a = 0{\cdot}075$ до минимума $\varepsilon_b = 0.006$. *Крол* је, међутим, дошао до других

резултата. И по њему је максимум тек нешто већи од ранијег, $\varepsilon_a = 0.07775$, али је минимум знатно мањи, $\varepsilon_b = 0{\cdot}003314$. Према томе, ексцентричност земљине путање може у извесном случају да буде много већа него ексцентричност сатурнове путање, док у другом случају може да се сасвим приближи кружном облику.

У садашњости је ексцентричност земљине путање $\varepsilon = 0.016175$. Она је, према томе, знатно ближа минимуму него максимуму, јер је однос садашње ексцентричности према максимуму и минимуму као 6·3 : 1. Пошто је годишње смањивање ексцентричности веома незнатно, 42^{-8}, настаће минимум ексцентричности после 26000 година (према *Лапласу* и *Леверие*у) или за 32000 година (према *Кроловим* резултатима). Трајање целе ове периоде ће бити

према Лапласу и Леверие у $[2 \times (0.075 - 0.006)] : 42^{-8} = 328500$ година
а према Кролу $[2 \times (0.07775 - 0.003314)] : 42^{-8} = 354500$ год.

Садашња величина ексцентричности је нарочито погодна у климатском погледу, јер су трајања годишњих времена подједнако дугачка. Али ће се у периоди максималне ексцентричности појавити много веће разлике у дужинама годишњих времена и тада ће се климатски услови донекле променути.

Везе између прецесије и померања апсидне линије. — И процес прецесије, као и процес померања апсидне линије, догађа се на земљиној путањи око Сунца. Али, док Земља под утицајем прецесије заостаје на својој путањи према Западу, померање апсидне линије се догађа у супротном правцу. Тиме ће се облик земљине путање знатно компликовати, т. ј. њене осовине ће непрестано мењати правце и настајаће непрекидне промене у трајању годишњих времена.

Ове промене се могу доста јасно протумачити ако се узме у помоћ графички приказ. Нека су у скици 119. унутрашњим кругом означене земљине путање, датумима положај Земље при почетку годишњих времена, спољашњим кругом нека су означена привидна кретања Сунца по небеској кугли, нека је, даље, Сунце у тачци где се секу осовине, нека је F пролетња тачка, F_1 јесења тачка, S_1 летњи, а S_2 зимски солстицијум, A нека је афел, и P перихел. Напослетку су почетним словима у разним квадрантима означена астрономска годишња времена.

Напред је показано да се апсидна линија у току године помери на Исток за 11″.46, а пролетња тачка да се помери на Запад за 50″.24. У приложеним скицама су правци померања афела означени малим стрелицама, док дугачке стреле означују правце кретања пролетње тачке. Односи између ових померања показују се овако: У 1900. години је еквинокцијална линија FF_1 стајала са апсидном линијом AP под углом $\sphericalangle FOP = 101^0 12' 46''.5$, или, што је исто, пролетња је тачка са афелом затварала угао $\sphericalangle FOA = 78^0 47' 13''.5$ (скица 119а.).

Ако се пође у будућност видеће се, да ће се апсидна линија после
година померити на Исток за (11″.46 × 4597) = 14⁰38′1″.62, а про-
а тачка ће се у истом времену померити на Запад за (50″.24 × 4597)
⁰9′13″.28 (види скицу 119b.). Другим речима, пролетња је тачка по-
4597 година померена

од	78⁰47′13″.5
за	— 64⁰ 9′13″.28
дакле до	14⁰38′ 0″.22

за то се време апсидна линија померила на Исток за 14⁰38′1″.62 •
лика свега 1″.40[1]) и с тога пролетња тачка пада у правац афела,
$A = F$. У то време је апсидна и еквинокцијална линија исто, а сол-
ијална линија стоји усправно на њима, $AP \parallel FF_1 \perp S_1S_2$. Тада ће се
шња времена променути: пролеће ће бити најкраће, а јесен најдужа.

Скица 119.

После даљих 5251 године апсидна се линија помакне на Исток за
′.46 × 5251) = 16⁰42′56″.46, а пролетња тачка се помакне. на Запад за
′.24 × 5251) = 73⁰16⁰50″.24. То чини укупно 89⁰59′46″.7 (разлика 13″.3).
о доба апсидна линија пада у раван солстицијалне линије, $AP = S_1S_2$,
квинокцијална линија стоји нормално на њима, $FF_1 \perp AP$. Тада је
ња половина године краћа од зимске половине, лето је најкраће,
има најдужа, дакле обрнут случај према 1900 год. (скица 119c.).

После даљих 5251 године апсидна линија и еквинокцијална линија
мере се за исте углове, као и у прошлих 5251 године, али у то доба

[1]) Ове мале разлике настају с тога што су у рачун узете целе године, а не и
ови разломци.

пролетња тачка пада у тачку перихела (в. ск. 119d.). Другим речима, апсидна и еквинокцијална линија су исто, $AP = FF_1$, солстицијална линија је нормална на апсидну линију, $S_1S_2 \perp AP$, а летња и зимска половина године су једнаке. Лето је једнако дуго као јесен, а зима траје исто онолико као пролеће.

После идућих 5905 година или свега 21004 године апсидна линија се помакне на Исток за $18^0 49' 19''.84$, а пролетња тачка на Запад за $82^0 23' 36''.96$ (види скицу 119e.) То чини укупно $101^0 12' 56''.80$, т. ј. угао између еквинокцијалне и апсидне линије је $101^0 12' 56''.80$, исти као у 1900 години (разлика свега за $10''.3$.). На тај су начин годишња времена иста као и 1900 год. јер три главне линије имају исти међусобан положај. Та периода траје 21004 године или у средњу руку 21000 година.

Према овим фактима би се могло рећи да се перихел већ после 21000 година врати у првобитан положај, али у истини није тако. И ако се у скици *a* и *e* заиста види, да су у оба случаја односи између три главне линије исти, и да је исто трајање годишњих времена, ипак су — према оријентацији на небу — ово сасвим различите фазе. Апсидна линија се померила само за $66^0 53' 14''.38$ и облик елипсе на небу има други положај у фази *a* него у фази *e*, ма да су сви други односи исти.

Време, за које би се апсидна линија повратила у првобитан положај, може се прорачунати из једноставног односа:

$$66^0 53' 14''.38 : 360^0 = 21004 : x.$$

Ако се ова једначина реши, добије се, да је вредност $x = 113000$ година, као што је *Литров* одредио.

Време и одређивање времена.

После посматрања о разним кретањима Земље, Месеца и осталих небесних тела, може се прећи на питање о одређивању времена. Видело се, да је поред правилног кретања непомичних звезда, привидно кретање Сунца, Месеца и планета доста неправилно. Једину правилност у кретању показују непомичне звезде. Оне се једнаком брзином крећу са небесном куглом и сваког дана се у исто време покажу на истој тачци неба. Према томе ништа не може бити природније и правилније него да се обртање небесне кугле, са непомичним звездама, узме као јединка времена. На тај се начин добија појам о т. зв. *звезданом времену*.

Звездано време.

Под звезданим временом се подразумева одређивање времена према појавама привидног кретања звезда. Конкретно звездано време за извесног посматрача на Земљи је његов часован угао. Али тиме није од-

рећено апсолутно звездано време дотичног места. Да би се добило апсолутно звездано време треба поћи од пролетње тачке до посматрачевог меридијана; тај екваторијалан лук одговара апсолутном звезданом времену. У скици 15 (на страни 24) изнесен је однос између часовног угла и ректасцензије. Ако се са Θ означи звездано време, онда је, према истој скици звездано време = часован угао + ректасцензија
или

$$\Theta = t + \gamma$$

Време, које прође од једне до друге кулминације исте непокретне звезде, даје јединку времена или *звездани дан*. Он је подељен на 24 мање јединице т. ј. часове; сваки час је подељен на 60 минута, а минут на 60 секунда. Већ раније је указивано на тесан однос између небесног кретања и звезданог времена. Између првог и другог постоји однос $360^0 = 24^h$, $15^0 = 1^h$, $1^0 = 4^m$ и т. д.

И ако звездано време пружа најтачније средство, да буде основа за поделу времена на веће и мање јединице, оно ипак није погодно за практичне сврхе. Јер, када се звезде виде човек се већином одмара, а за време дана, док је човек будан и врши своје послове, звезде се, услед сунчевог сјаја, не могу видети.

Сунчано време.

С тога је за практичан живот много важније дневно кретање Сунца по небесној кугли. И Сунце има, као и звезде, сваког дана кулминацију и према томе би се време између две узастопне кулминације могло такође узети за јединку времена. Тиме би се добило *истинско сунчано време*. Али за Сунце не вреди формула $\Theta = t + \gamma$, јер се сунчева кулминација од дана до дана мења.

Разлика између правилног звезданог времена и неправилног сунчаног времена може се показати на графичком примеру. Ако је у скици 120. *PEA* део небесне кугле и ако се пође са *геоцентричног становишта*, Земља ће бити у тачци *O*. Тада је небесни пол *P*, небесни екватор $A_1 A$, еклиптика $E_1 E$, а *F* је пролетња тачка.

Нека је Сунце у извесном дану у тачци S_1 своје путање по еклиптици. Тада је лук $FQ_1 = \gamma_1$ сунчева ректасцензија, а лук $FS_1 = \lambda_1$ сунчева астрономска дужина. За један дан се цела небесна кугла, са пролетњом тачком и Сунцем, окрене једанпут око небесне осовине, и у тренутку кад иста непомична звезда дође на исто место протекао је један звездани дан. Али се за то исто време и Сунце померило по еклиптици и дошло у другу тачку. Ако се на пр. после једног сунчаног дана Сунце помакне до тачке S_2 биће сунчева астрономска дужина $FS_2 = \lambda_2$, а његова ректасцензија $FQ_2 = \gamma_2$. У томе сунчаном дану се дужина

Сунца променула за лучан део $S_1S_2 = (\lambda_2 - \lambda_1)$, а ректасцензија за $Q_1Q_2 = (\gamma_2 - \gamma_1)$.

Кад би се Сунце сваког дана померило по еклиптици за исти лучан део S_1S_2, ипак би му се разлика у ректасцензији морала од дана до дана мењати, јер је еклиптика нагнута према небесном екватору под углом $\sphericalangle EFA = \varepsilon$. У пролеће, кад је Сунце близу пролетње тачке, биће Q_1Q_2 мање него у лето, кад је Сунце близу солстиција.

Скица 120.

Ако је Сунце у извесном дану пре почетка лета у тачци S_3, помериће се за један дан до тачке S_4. Тада ће бити

$$FS_3 = \lambda_3,\ FS_4 = \lambda_4,\ FQ_3 = \gamma_3,\ FQ_4 = \gamma_4$$

а према томе и:

$$S_3S_4 = (\lambda_4 - \lambda_3),\ \text{а}\ Q_3Q_4 = (\gamma_4 - \gamma_3)$$

Али је $S_1S_2 = S_3S_4$ или, што је исто $(\lambda_2 - \lambda_1) = (\lambda_4 - \lambda_3)$ док је $Q_1Q_2 < Q_3Q_4$, или, што је исто $(\gamma_2 - \gamma_1) < (\gamma_4 - \gamma_3)$.

Сада се може упоредити однос између звезданог дана и истинског сунчаног дана. Разлика између истинског сунчаног дана и звезданог дана добија се из једначине $\Theta = t + \gamma$.

За време сунчеве кулминације је $t = 0$ и према томе је $\Theta = \gamma$. Ако је у извесном дану, када се посматра сунчева кулминација, његова ректасцензија γ_1, тада ће кулминација у звезданом времену бити у доба $\Theta_1 = \gamma_1$. Ако је у идућем дану сунчеве кулминације сунчева ректасцензија γ_2, протекао је од једне до друге његове кулминације један сунчани дан, т. ј. $t = 24^h$. Али је звездано време при тој кулминацији Сунца $\Theta_2 = 24^h + \gamma_2$. Између обе сунчеве кулминације протекне, дакле, у звезданом времену.

$$\Theta_2 - \Theta_1 = (24^h + \gamma_2) - \gamma_1$$

и према томе је разлика између истинског сунчаног дана и једног звезданог дана

$$(\Theta_2 - \Theta_1) - 24^h = (\gamma_2 - \gamma_1)$$

Ово питање се може решити и ако се пође са *хелиоцентричног гледишта*. Јасно је, да се време једног звезданог дана поклапа са једном ротацијом Земље, јер само у том тренутку ће извесна звезда имати поновну кулминацију. Кад би постојала само земљина ротација звездани би дани били једнаки сунчаним данима. Али Земља има и револуцијоно кретање око Сунца услед чега се односи мењају.

Нека је у скици 121. S Сунце, а T нека је Земља, велика стрела нека означава правац земљине револуције, а мала стрелица правац њене ротације. Скица је нацртана у поларној пројекцији, т. ј. тако, да је у земљином

средишту пројициран њезин пол, и према томе линија MM_1 означава меридијан посматрачевог места. Ако се Земља при првом посматрању налази у тачци T своје путање, Сунце ће за посматрача на месту M бити у горњој кулминацији. У току једног звезданог дана Земља се једанпут обрне око своје осовине, али се за исто време помери на путањи до тачке T_1. Величину тога померања показује $\sphericalangle TST_1 = \eta$.

Идућег дана, када је Земља у положају T_1, меридијан MM_1 је паралелан са MM_1 у положају T. Али ће проћи још извесно време док меридијан не дође у раван ST_1. Земља се, дакле, при својој ротацији мора обрнути до правца NN_1 да Сунце понова има своју горњу кулминацију.

Скица 121.

Из приложене скице се види, да је $\sphericalangle MT_1N = \sphericalangle T_1ST = \eta$. Према томе, Земља мора да се од једне до друге сунчеве кулминације обрне око своје осовине за $\sphericalangle (360^0 + \eta)$. Другим речима, истински сунчани дан ће бити повећан величином дневне угаоне брзине η. Да би се та величина могла одредити потребно је знати трајање земљине револуције. Познато је, да Земља окружи своју путању око Сунца за 365,242204 звезданих дана, и с тога је

$$\eta = 360^0 : 365{,}242204 = 59'8''$$

Али је већ раније показано да се ова величина с дана на дан мења према другом *Кеплеровом* закону. Кретању Земље од пролетње до јесење тачке одговара време од 186^d12^h, а од јесење до пролетње тачке време од 178^d18^h. У првој су половини године истински сунчани дани релативно кратки, јер је и разлика у ректасцензији $(\Upsilon_2 - \Upsilon_1)$ мања, док су у другој половини године дани релативно дужи. Према томе, *истински сунчани дани имају неједнаке дужине.*

Средњи сунчани дан. — И ако је за свакидашњи живот најпогодније да се време одређује у сунчаним данима, ипак је немогуће непрестано рачунати са неједнаким временом. С тога је као јединка временског мерења узет средњи сунчани дан, т. ј. средња вредност свих 365,2422 истинских сунчаних дана. Тај средњи сунчани дан се дели на часове, минуте и секунде. Према томе је дужина средњег сунчаног дана

$$24 \times 60 \times 60 = 86400 \text{ секунада.}$$

Временска разлика између истинског и средњег сунчаног дана зове се *изједначење времена.* Пошто Сунце има горњу кулминацију увек кад пролази кроз меридијан места, и кад је истинско подне, моћи ће се средње подне одредити разликом у времену између истинског поднева и средњег стања.

Изједначење времена је четири пута годишње једнако нули, осим тога постоје два позитивна и два негативна екстрема. У њима се показује између истинског и средњег поднева разлика, која је већа од 16 минута. Периода се види из приложене скице 122. и из следећих датума:

12.II.	15.IV.	14.V.	14.VI.	26.VII.	31 VIII.	3.XI.	24.XII.
$+ 14^m28^s$	0	$- 3^m53^s$	0	$+ 6^m10^s$	0	$- 16^m19^s$	0

Скица 122.

Разлика између звезданог и средњег сунчаног дана добија се на овај начин: Средњи сунчани дан траје 24 часа; звездани дан је за $\sphericalangle \eta = 59'8''$ краћи и тај угао ће одговарати временској разлици од $59'8'' : 15 = 3^m55^s.92$. На тај је начин дужина звезданог дана према средњем сунчаном дану

$$24^h - 3^m55^s.92 = 23^h56^m4^s.08.$$

Угао η се сваки дан сумира и разлика између средњег сунчаног и звезданог времена постаје све већа. Цео тај збир ће после једне године износити $365.242204 \times 59'8'' = 360^0$. Другим речима, после године дана ће се показати управо једна звездана кулминација више, или један звездани дан дуже. Година има према томе 365,24 сунчаних и 366,24 звезданих дана.

За прерачунавање једног времена у друго служе следеће константе:

прерачунавање звезданог времена у сунчано 365,24 : 366,24 = 0·99727
„ сунчаног „ „ звездано 366,24 : 365,24 = 1·00274

Према целом досадашњем излагању долази се до ових закључака:

1. Звезданим даном се назива време између две узастопне горње кулминације извесне непокретне звезде на меридијану посматрачевог места

2. Истински сунчани дани означавају време између две узастопне горње или доње кулминације сунчевог средишта.

3. Средњим сунчаним даном се назива време између две узастопне горње кулминације замишљеног Сунца, које би се привидно кретало по небесном екватору, а не по еклиптици.

Појам године.

Временска већа јединка је година, која је у вези са једним кружењем Земље око Сунца. Али, према ономе што је напред речено о прецесији еквинокција добиће се два разна појма о години.

Код прецесије еквинокција се показало, да се при земљиној револуцији еквинокцијални чворови померају унапред, т. ј. противно кружењу Земље, за 50″.24 годишње. Тиме су добијени појмови *тропске* и *сидеричне године.*

1. Под *тропском годином* се подразумева време између два узастопна проласка сунчевог средишта кроз једну од двеју тачака у којима се небесни екватор сече са еквинокцијалним кругом, или једноставније, тропска је година време за које се Сунце поново поврати у пролетњу тачку. Према скици 123. је тропска година означена кружним луком F_1PHAF_2. Величина тог лука је

$$360^0 - \sigma = 360^0 - 50''.24 = 359^0 59' 9''.76$$

Трајање тропске године у данима је $365^d 5^h 48^m 46{,}08^s = 365{,}242204$ дана.

2. *Сидерична* или *звездана година* је нешто дужа. Она одговара времену између два узастопна идентична положаја Сунца према извесној непомичној звезди. Она има непромењиво трајање јер увек одговара потпуном кружном углу од 360^0. У скици је сидерична година означена са $F_1PHAF_2F_1$. Трајање сидеричне године је $365^d 6^h 9^m 10{,}75^s$ односно 635,2563744 дана.

Скица 123.

3. *Лунарна* или *месечева година.* — Поред горња два појма о години, која базирају на земљиној револуцији, постоји и трећи појам, који је основа године код источних народа. То је месечева или лунарна година. У њој има дванаест синодичних месеца. Дванаест таквих месеца дају свега $354^d 8^h 48^m 34{,}8^s = 354{,}367$ дана. Она је према сидеричној или тропској години око 11 дана краћа. То је узрок што се арапска нова година сваке године помера на ранији датум, а у току десетина година у друга годишња времена.

4. *Грађанска година.* — Основа грађанске године је тропска година, али у њој нема пун број средњих сунчаних дана, него увек долази известан разломак, и с тога је непогодна за практичне потребе. И са тропском годином је поступљено као и код одређења средњег сунчаног дана, т. ј. број дана је у њој заокругљен. Према томе у *грађанској години* има 365 дана, а у преступним годинама 366 дана.

Појам о месецу.

Код свих народа су године подељене на месеце, јер би рачунање на дане било доста незгодно, пошто би требало рачунати са неколико стотина дана. Али код рачунања времена у месецима има још више разлика него што је случај код прорачунавања времена у данима и годинама.

1. Под *сидеричним* или *звезданим месецом* се подразумева време између два узастопна идентична положаја Месеца према извесној непомичној звезди, Његова је дефиниција, дакле, иста као и за звездану го-

дину. Сидеричан месец траје $27^d\,7^h\,43^m\,4{,}7^s$ и периода му је једнака периоди тропског месеца.

2. *Синодичан месец* означава време од једног до другог новог или пуног Месеца са трајањем од $29^d\,12^h\,44^m\,2{,}9^s$. У грчком језику је συν = заједнички, а ὁδός = пут, и према томе астрономски појам „синодичног“ одговара двема узастопним конјункцијама небесних тела. После једног синодичног месеца троугао Сунце-Земља-Месец добије исти геометријски облик.

3. *Тропски или периодски месец* је време за које се Месец поново врати у пролетњу тачку. Његова је периода $27^d\,7^h\,43^m\,4{,}7^s$.

4. *Драконски месец* треба да означи време између два узастопна пролаза Месеца кроз чворове његове и земљине путање. Драконски Месец, према томе, траје $27^d\,5^h\,5^m\,49^s$.

5. *Календарски месец.* У свакидашњем су животу месеци произвољно подељени, али им основа у главном лежи у синодичким месецима, јер се њихово трајање најбоље подудара са календарским месецима. Они имају 30 и 31 дан, једино фебруар има 28 дана, а у преступним годинама 29 дана.

Календар.

Овде је место да се да појам о постанку разних календара. У главном се може рећи да постоје три типа календара: 1. соларан календар, 2. лунаран календар и 3. луни-соларан календар. Они су одређени према томе да ли се ослањају само на кретање Сунца или кретање Месеца, или на комбинована оба кретања. Свакако се време може доста добро одредити с помоћу сунчаног календара, прилично тачно се може рачунати и с помоћу месечног календара, али код лунисоларног календара треба врло добро знати оба ова кретања, јер и мале нетачности стварају велике разлике. То је узрок што су стари народи са лунисоларним календаром највише допринели развитку Астрономије.

Тропска година и синодичан месец су основе луни-соларног календара. Још код старих је Египћана година имала 12 месеца, сваки месец је трајао 30 дана, а њима су додати 5 преступних дана. Година је почињала са даном у ком се звезда Изиса, данашњи Суриус, видела непосредно пре рађања Сунца на источној страни неба. Слично је било и код Грка, а за Кинезе се тврди, и ако није сигурно, да су још око 2600 год. пре Хр. имали годину са 365·25 дана.

У Риму је лунисоларан календар увео *Јулијус Цезар*, око 48. г. пре Хр., јер су Римљани дотле имали календар, који се ничим није могао протумачити. За време *Ромулуса*, осниваоца Рима, година је имала 10 месеци са 30 и 31 даном, дакле свега 304 или 305 дана. Много доцније, када су децемвири требали да утврде принципе закона, 304 год. по

оснивању Рима (а 450 год. пре Хр.), изасланици су се бавили у Грчкој ради проучавања закона, па су истовремено извршили и реформу календара. Али је грађанска година и од тада показивала велика одступања од годишњих времена, јер је до 48 год. пре Хр. испредњачила за пуна три месеца испред сунчане године.

Јулијански календар. — У времену кад је *Јулијус Цезар* постао диктатор, опуномоћио је понтификсе да реформишу календар. У том им је раду помагао *Сосиген*, ученик Александријске Школе, који је применио норме из своје отаџбине и узео да година траје 365¼ дана. Према томе би сваке четврте године требало додати један преступан дан. Тај дан је био постављен између 23. и 24. фебруара, а пошто се 24-ти дан фебруара звао sexto-calendas, преступан дан је назван bis-sexto-calendas. То је тип *јулијанског календара*, којим је римски календар стављен на чврсту основу. Њиме се у опште служило све до XVI. столећа, а доцније су га, све до данашњег дана, задржале све православне цркве.

Грегоријански календар. — У половини XVI. столећа извршена је у јулијанском календару нова реформа, која је потекла из овог разлога. На Никејском Сабору је 325 године по Христу, било утврђено да светковање Ускрса падне у прву недељу после пуног Месеца, који се појави иза 21. марта. Тај датум се за време Никејског Сабора поклапао са пролетњом равнодневицом, али се од тада померао на све доцније време и до 1582 године је испредњачио за 10 дана. Тада је Папа *Грегорије XIII.* одредио да 5. октобар 1582 године буде назван 15. октобар и да свакој последњој години столећа буде додат један преступан дан, са изузетком оних столећа, која су дељива са четири. То је тип *грегоријанског календара* који је много тачнији од првог.

Али, ако се дубље посмотри, видеће се, да и он није потпуно тачан, јер година траје 365,242204 дана. Ако се, на тај начин, година разложи у разломке, показаће се у рачуну и мање грешке, јер је

$$365{,}2422 = 365 + 0{,}25 - 0{,}01 + 0{,}0025 - 0{,}0003$$
$$= 365 + \frac{1}{4} - \frac{1}{100} + \frac{1}{400} - \frac{1}{3000}$$

Из овога се види ово: 1. сваке четврте године треба додати један дан, 2. сваке стотините године одузети један дан, 3. сваке четир стотините године додати један дан, и 4. сваке три хиљадите године одузети један дан. Погрешка према грегоријанском календару је, дакле, у томе, што би тек после 30 столећа требало избацити једну преступну годину.

Календарски месеци. — Календарски месеци немају никад дужине теоријских месеца; то би се, донекле, могло рећи једино за фебруар у преступним годинама и за месеце са 30 дана. Месеци су произвољно подељени, а имена су им разног порекла. Римљани су имали

десет месеца: Martius, Aprilis, Maius, Junius, Quintilis, Sextilis, September, October, November и December. Први, трећи и четврти месец названи су именима римских божанстава. Марс је био бог рата, Маїа богиња природе, а Juno је била Јунона. Остали су месеци били бројни месеци, од којих су последња четири остала до данас у употреби. Једино је април добио име према појавама у природи. Основа му је латинско *aperire* и треба да означи буђење природе и почетак плођења земље. Доцније је у 44 год. пре Хр., Quintilis назван Julius, у почаст Јулија Цезара, а Sextilis се од 4 год. пре Хр. зове Augustus, према Цезару Августу. Још доцније су двама новим месецима дата имена римских божанстава: Januarius (Ianus = божанство са два лица, која су окренута у супротним правцима) и Februarius (Februus = божанство подземног света).

Временске разлике на разним местима.

Пошто се Земља обрће око своје осовине, а појмови времена стоје у вези са привидним кретањем Сунца, биће у истом тренутку на разним местима на Земљи различита времена. Да би се добио појам о разликама у времену треба поћи од посматрачевог меридијана.

Локално време. — Свако место на земљиној површини има горњу кулминацију звезде или Сунца, кад је звезда или Сунце изнад меридијана посматрачевог места. Тим тренутком је одређено време поноћи или, према Сунцу, истинско подне. Али, у доба, кад је на посматрачевом меридијану поноћ или подне, имаће време на другим меридијанима у истом тренутку друкчију ознаку. На неким ће местима бити јутарњи, на другим вечерњи часови и т. д. Према томе се види, да свако место има своје, одређено време, и с тога је време, о коме је до сада непрестано говорено, *местно* или *локално време*. Јасно је, да само места на истом меридијану имају исто локално време, а места која су на супротном меридијану да имају супротно локално време, т. ј. кад је на првим местима подне, на другима је поноћ. Исто ће тако, према локалном времену посматрачевог места, источна места имати доцније време, а западна места раније и то у односу од 15° географске дужине за 1 час времена.

Ове разлике су постале много значајније од када су сграђене жељезнице и жељезничке мреже. Оне су дале толико брзо саобраћајно средство, да се чак разлике од неколико минута према локалном времену морају код жељезничког времена узимати у обзир. То ће се најбоље показати на примеру.

Скица 124.

Нека су три места *A*, *B* и *C* на истој географској ширини, али нека је свако за 1°30′ геогр. дужине удаљено једно од другог (скица 124). На географској ширини од 44° та удаљења одговарају дужини од 120 километара, а разлика у њиховим ло-

калним временима ће бити ($1^0 30' =$) 6 минута. Нека је на тој географској ширини саграђена права пруга и нека се возови крећу брзином од 60 км. на сат. Нека пођу два разна воза у исто локално време, на пр. у 3 часа по подне, и то један из места *A*, а други из места *C*. Кад је у месту *A* 3 часа по подне, тада је у месту *B*, које је источније, 6 минута више, дакле $3^h 6^m$. Воз ће стићи за 2 часа од места *A* до места *B*. Путник из *A* ће имати на свом сату 5^h, док ће у месту *B* бити $5^h 6^m$. — Друкчије ће бити за путника из *C*. За њега је место *B* на Западу. Ако он пође у 3 часа по подне, по своме локалном времену, биће у месту *B* локално време $2^h 54^m$. Путник ће после два часа стићи у место *B*, где ће часовник показивати $4^h 54^m$, а на његовом ће сату бити 5 часова. Из овог примера се види, да ће та два путника имати временску разлику од 12 минута. Кад би места *A* и *B* била још западније одн. источније, била би разлика у локалним временима још већа.

Интернационално и зонално време. — Да би се ове несугласице избегле решено је 1883 год., на конференцији држава у Риму, да се уведе *интернационално светско време*, према средњем локалном времену у Гринвичу. По светском времену календарски дан почиње када је на астрономској опсерваторији у Гринвичу поноћ и њиме се нарочито служи морнарство. Међутим је за практичну употребу на континентима погодније *зонално време*. Поред почетног гринвичког меридијана, зонални се меридијани налазе на удаљењу од 15^0 источно и западно од Гринвича. Границе ових зоналних времена теоретски леже на меридианима $7^0 30'$, $22^0 30'$, $37^0 30'$ и т. д. источне одн. западне геогр. дужине. С тога у свакој од суседних зона постоји временска разлика од једног часа.

Пошто поједине државе не граниче са временским зонама одређене су границе зоналних времена према границама држава. Тако на пр. у Европи има три временске зоне. По *западно-европском времену* или гринвичком времену се управљају: Велика Британија са Ирском, Белгија, Француска, Португалија, Шпанија и Фереерска Острва. По *средњеевропском времену* рачуна Скандинавија, Данска, Немачка са покрајинама, Швајцарска, Италија, Аустрија, Чехословачка, Мађарска и наша држава. По *источно-европском времену* рачуна Грчка, Румунија, Бугарска, Пољска и Русија.

У свакидашњем животу се увек употребљава локално време.

Последице локалних времена. — На основу свих досадашњих факата може се извући још један закључак. Он се добија из математичног односа између степенског и временског мерења. За 15^0 географске дужине време се мења за 1 час. Ако се пође од извесног места *A* на Запад, за 15^0 географске дужине, Сунце ће се за 1 час доцније родити него у месту *A*. Ако се пође на Исток догодиће се обрнуто, Сунце ће се за 1 час раније родити. Према томе се може рећи: *ко путује*

према Западу губи у времену, а ко путује на Исток добија у времену. Ако је пут дугачак n^0 географске дужине, биће промена у времену $n : 15$ часова. Ако је $n = 360^0$, промена у времену је $360 : 15 = 24$ часа. Тиме је добијен нов закључак: *ко путује око света у западном правцу изгубиће до повратка цео један дан, ко путује у источном правцу добија један дан.* Ако два путника из истог места крену истовремено на пут око света, али у супротним правцима, и ако се у исто време врате, видеће да им се датуми разликују за два дана.

И ако је ова истина последица земљиног сфероидног облика, ипак је изгледала непојмљива када се први пут показала у практичном животу. То се догодило приликом *Магелан*овог пловљења око Земље 1520 до 1522 године. Његов пратилац *Пигафета* описује њихову забуну кад су дошли до острвâ Зеленог Рта (Капвердијских Острва) и чули да је четвртак. „То нас је зачудило, јер код нас је била тек среда. Ја сам био „цело време здрав и сваки дан сам водио дневник. Тек доцније смо „дознали да нисмо учинили грешку, ни прескочили који дан, него да та „разлика настаје зато што смо пловили око света са Истока на Запад.“[1] Већ тада је *Контарини*, млетачки посланик на шпањолском двору, указивао на прави узрок, али то му скоро нико није веровао. *Магелан*ова је пратња била свесна да је Земља округла, па и њих је ова појава збунила.

Скица 125. — Датумска граница до 1845. године.

Датумска граница. — Појаве, које се догађају при пловљењу око Земље у источном и западном правцу доводе до важног закључка, да се негде мора поставити датумска граница. У прошлим столећима је већина источних народа добијала европски календар са Запада, од Португеза и Холанђана, тако на пр. цела Авија, Јапан, Формоза, Малезија, Меланезија и Аустралија са Новом Каледонијом и Новим Селандом. С друге стране су Америке, пацифичка острва са Маријанским, Каролинским и Филипинским Острвима добили календар са Истока, од Шпањолаца. Према томе, на Пацифичком Океану граниче два предела која имају исто локално време али неједнаке датуме (скица 125.). Док је западно од те границе 1. јануар, источно од ње је 31. децембар. Према томе, места, која нису ни 30 минута удаљена имају разне датуме. Та граница је

[1]) *S. Ruge,* Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen. Berlin. 1903. стр. 481.

постојала све до 1845. године. Да би се дошло до неке повољније границе, одређено је, да се за њу узме онај меридијан дуж кога је најмање копна. То би био без сумње меридијан који пролази кроз Берингов Пролаз, али пошто је веома близак супротном меридијану од Гринвича, дакле 180⁰ геогр. дужине Gr., и пошто је за светско време узето време гринвичког меридијана, одређен је за *датумску или морнарску границу* меридијан 180⁰ Gr. Кад се дође до те границе треба у дневницима лаће један датум изоставити ако се плови са Истока на Запад, или узети двапут исти датум ако се плови са Запада на Исток.

Однос између меридијача и локалног времена може се јасно графички приказати. Скица 126. представља поларну пројекцију; у њој је у тачци *P* земљин северни пол, а праве линије означују одређене меридијане. Изван екваторијалног круга су унесени часови, а у унутрашњем кругу географске дужине. Са *a* су означени часови од поноћи до поднева, а са *p* часови од поднева до поноћи; 0⁰ је гринвички меридијан, док стрелице показују источне и западне географске дужине. Према томе, ако је на гринвичком меридијану сунчева кулминација, биће на разним географским дужинама локално време оно, које је изнесено у скици. Датумска граница пада на 180⁰ меридијан, где је $12^h p = 0^h a$, т. ј. где је поноћ. Ту је свршетак једног а почетак другог дана.

Скица 126.

Тиме је о времену речено у главном све оно, што спада у делокруг географа. После овог посматрања треба понова обратити пажњу кретањима на небу.

Апсолутно кретање сунчаног система и непомичних звезда.

До сада је говорено о привидним, релативним кретањима Сунца и непомичних звезда. Показало се, да се звездано небо дневно обрне око небесне осовине, да непомичне звезде истрчавају испред пролетње тачке услед прецесије, затим да описују по небу паралактичну и аберацијону елипсу. Али је све то привидно и релативно, све то је последица земљиних кретања. С тога се увек претпостављало да су и непомичне звезде и Сунце стабилни у простору васионе.

Тек 1717 године је *Халеј* поколебао ово мишљење. Он је указао да су се астрономске координате извесних непомичних звезда од Хипарховог доба до данас у неколико променуле. То је показао на Сириусу и Арктуру, који су се померили за 2·5 ширине пуног Месеца (1⁰17′42″).

Доцнијим, тачнијим мерењима је потпуно доказано, да скоро све непомичне звезде имају самостално кретање. Постоји дакле апсолутно кретање звезда, за које се мисли да су непомичне.[1])

Испитивање апсолутног кретања тражи дуготрајна и тешка микрометријска мерења. Та посматрања трају 10 до 20 година и у добијеним резултатима треба увек унети велики број корекција. Основе за нове закључке пружају веома сигурна посматрања *Бредлиа*, која је чинио у половини XVIII. столећа и с помоћу њих су добијене брзине апсолутних кретања звезда.

Дуго се сматрало да најјаче апсолутно кретање има Groombridge у сазвежђу Великог Медведа. Он у току године пређе по небесној кугли лук од 7″.04, и због тога је *Њукомб* ту звезду назвао Runaway Star (звезда бегуница). До данас су нађена код неких звезда и већа апсолутна кретања. Али таква се кретања показују само код оних звезда, које су ближе нашем сунчаном систему, и које, услед тога, имају релативно веће паралаксе. У те звезде спада на пр. Cordoba V. 243. са 8″.7, звезда 61 Cygni са 5″.24, α Centauri са 3″.68 и Sirius са 1″.32 годишњег апсолутног кретања.

Самостално кретање код осталих звезда је већином знатно мање; оно је просечно

код звезданих величина	1 и 2	3	4	5	6	7	степена
у једном столећу	22″.2	16″.8	13″.7	11″.1	9″.0	8″.6	

Ако су паралаксе код звезда познате може им се прорачунати и маса, као и брзина њихова кретања. То је један од оних резултата модерне Астрономије, који изазивају највеће чуђење. Тако је на пр. брзина апсолутног кретања код Runaway Star-а око 300 км./сек.; код 61 Cygni око 100 км./сек.; код α Centauri 30 км./сек.; код Sirius-а 20 км./сек.

Даље се показује важна чињеница да често неколико звезданих јата показују једнолико самостално кретање и једнолике брзине кретања. На северном небу се сазвежђе Лире и околних сазвежђа: Змаја, Лабуда, Делфина, Орла, Змије и Херкулеса приближују нашем сунчаном систему, а сазвежђа на противној страни северног неба: Возар, Перзеус, Бик, Велики Пас, Оријон и Влашићи (Plejades) се удаљују. Прва сазвежђа се крећу у правац зимског солстиција, док се друга удаљују у правац летњег солстиција. Код тих сазвежђа се показују супротна кретања и свакако та правилна веза не може бити случајна. Такви би се односи могли јавити само у случају ако се наш сунчани систем креће према са-

---

[1]) Исцрпни податци о апсолутним кретањима небесних тела, о положају Земље у васиони и систему непомичних звезда налазе се у делу: *Dr. Hermann Kobold, Der Bau des Fixsternsystems mit besonderer Berücksichtigung der photometrischen Resultate.* — Die Wissenschaft. Heft. 11. — Braunschweig. 1906.

звежђу Лире. Тада би се сва сазвежђа око Лире привидно ближила нашем сунчаном систему, а сва сазвежђа око Влашића би се удаљавала.

Ламберт је још у другој половини XVIII столећа указао, да промене места код непомичних звезда настају већином двема разним компонентама: самосталним кретањем звезда и самосталним кретањем Сунца са његовим системом. Сама чињеница да се и Сунце обрће око своје осовине пружала му је доказ, да и Сунце мора имати извесно прогресивно кретање. Последица таквих кретања може се видети из графичког приказа.

Ако је сунчан систем у извесном добу у тачци C (скица 127.), а годину дана доцније у тачци C_1, ако је дужина пута $CC_1 = q$ и ако се на небу, у тачци L, налази извесна звезда, која апсолутно мирује, или јој је кретање толико споро да се не види, она ће из тачке C бити пројицирана у тачку l, а из тачке C_1 у тачку l_1. Звезда се, дакле привидно померила по небесној кугли за угао $\sphericalangle lLl_1 = \sphericalangle CLC_1 = \psi$. Правац A, према коме се систем C креће, означава т. зв. *апекс*[1]) а правац из кога долази зове се *антиапекс*.

Скица 127.

Ово кретање не треба мешати са кретањем, које је последица земљине револуције и с помоћу кога се могу одредити паралаксе звезда. Код земљине револуције се пројекција звезде на небу после једне године врати у свој првобитан положај, док се код овог, самосталног или апсолутног кретања пројекција звезде сваке идуће године све више помери према антиапексу. Она има паралактично, али прогресивно кретање које зависи од више фактора:

1. од брзине кретања нашег сунчаног система q;
2. од удаљења звезде L, дакле $CL = C_1L = \rho$; и
3. од угла између звезде L, Сунца C_1 и антиапекса A_1, дакле $\sphericalangle LC_1A_1 = \eta$. Кад та звезда не би имала прогресивно кретање, могло би се кретање сунчаног система или правац апекса лако одредити према следећој једначини, која је изражена у степенским секундима:

$$\psi \sin 1'' = \frac{q \sin \eta}{\rho}$$

Али и непомичне звезде се крећу. Пошто је код њих апсолутно кретање често много веће од паралактичног кретања, горња формула неће пружити могућност да се положај апекса са сигурношћу одреди.

Виљем Хершел (1738—1822) је с тога покушао, при крају XVIII. столећа, да конструктивним начином одреди положај апекса, односно антиапекса, и то на овај начин: Ако је круг EE_1 круг еклиптике, C Сунце

[1]) Од латинског *apex, icis* = *врх, шачка.*

са његовим системом, а L_1 до L_7 разне звезде на небесној кугли (ск. 128.) и ако се сунчан систем прогресивно креће, мораће се свакако мењати и пројекције свих ових звезда услед кретања Сунца са његовим планетарним системом.

Када је сунчан систем у тачци C звезде ће се пројицирати на небесну куглу у правце l_1 до l_7. Али ће после једне или десет година пројекција ових звезда бити на другим местима небесне кугле, у тачкама λ_1 до λ_7. Ако се од λ_1 кроз L_1 повуче права линија до централних делова еклиптике, и ако се то исто учини са свим осталим звездама до λ_7 кроз L_7, показаће се, да се све те праве линије секу у једној тачци, у тачци C_1. Другим речима, за једну или десет година сунчани систем се помери од положаја C до C_1. Из тих се промена у положају непомичних звезда може решити и питање о апексу сунчевог кретања, као и питање о апсолутном кретању осталих звезда,

Скица 128,

Ипак резултати до којих је *Хершел* дошао били су доста несигурни. Он је узео за упоређење свега 12 звезда, а доцније 36 звезда и тада је нашао да апекс сунчаног система има ректасцензију $\gamma = 245{,}9^0$, а деклинацију $\delta = +40{,}6^0$. На основу нозијих посматрања, и разних метода за одређење апекса, добијене су за апекс сунчевог кретања друкчије вредности.

Ери, Денкин, Струве, Аргеландер, Каптин и други су на основу упоређења неколико хиљада звезда добили за средњу вредност апекса да је $\gamma = 270^0$, а $\delta = +32^0$. Наш сунчан систем би се према томе кретао према правцу сазвежђа Лире, ка сјајној звезди Вега. Брзина тога кретања би у средњу руку била 22 км/сек.

Кампбел је на основу радијалних брзина одредио координате сунчевог апекса и добио је за ректасцензију $\gamma = 277{,}5^0$, а за деклинацију $\delta = +20^0$, са брзином од 19,9 км/сек.

Сасвим другом методом, т. ј. посматрањем латералних самосталних кретања, којом се раније служио *Бесел*, послужио се много доцније *Коболд*. И он је за ректасцензију нашао готово исту вредност, $\gamma = 270{,}4^0$, али је за деклинацију добио са свим другу вредност: $\delta = -0{,}2^0$. Он је до тог закључка дошао на основу упоређења 2260 звезда са северне и јужне полукугле, и према његовим резултатима је апекс сунчевог кретања у правцу небесног екватора. Доцније је овај рад наставио *Каптин* и на основу још већег броја звезда, поделом неба на 28 делова, дошао је скоро до истих резултата као и *Коболд*.

Ови последњи резултати, изгледа, да су најсигурнији, и према њима се може рећи, да се Сунце са својим системом креће према једној тачци која има ректасцензију од 270⁰ и која лежи отприлике у равни небесног екватора, на месту где се Млечни Пут (или Кумова Слама) сече са екватором. Сунце се у току једне године помери у васиони за 500 до 600 милијона километара. Али то удаљење је према небесним удаљењима толико мало, да се на небу не виде готово никаква апсолутна кретања.

Из овог излагања излази, да Земља, поред обртања око своје осовине и кружења око Сунца, има и прогресивно кретање, због кретања читавог сунчаног система. Али се види и то, да су појмови о *кретању* и о *миру* постали сасвим други. Мир је само релативан појам и *Ламберт* говори истину кад каже: „Ниједна тачка у васиони не остаје ни тренутак у апсолутном миру.“ Ипак се још и данас употребљава израз „непомичних звезда“ и ако се зна да и оне имају апсолутна кретања.

Положај Земље у васиони.

Последње питање на које треба дати одговор је питање о земљином положају у васиони.

Ако се говори о простору васионе мора се навикнути на милијоне и билијоне километара са истом мирноћом и лакоћом, као што се у свакидашњем животу говори о центиметрима и метрима; о милијардама и билијонима година мора се говорити као о часовима и данима. Али ови бројеви су ипак толико огромни да их не можемо потпуно схватити, ни добити о њима реалну представу. С тога их треба довести у везу са величинама, које су човечијем мозгу приступачније и које ће се лакше схватити.

Раније је показано да је екваторијалан земљин обим дугачак око 40.000 километара. Али тај податак не даје јасан појам о димензији екватора. Јасније ће ово бити ако се изрази у данима пешачења или брзине железнице. Ако се узме да пешак пређе дневно 30 километара, требаће му 1335 дана или $3^2/_3$ године. Брзи воз, са брзином од 60 км. на сат, прешао би тај пут за $27^1/_2$ дана.

Од свога пратиоца Месеца, Земља је удаљена 385.000 км. Пешак би морао пешачити 35 до 36 година да доспе до Месеца, а брзи воз би прешао тај пут за 267 дана или за 9 месеца.

Сва остала небесна тела, осим неколико блиских планета, много су удаљенија. Сунце је од Земље удаљено 150 милијона км. Пешак би непрестано пешачио око 13.600 година, а брзи воз би доспео до Сунца после 285.5 година. Ако се узме у обзир сунчева величина, моћи ће се прорачунати да му је екватор дугачак 4,360.400 километара. Пе-

шак би једанпут обишао око сунчевог екватора тек за 400 година, а брзом возу би требало $8^1/_3$ година.

Али толико огромно тело као што је Сунце ипак је једно од мањих небесних тела, јер је врло велик број осталих звезда око двапут већи од њега. Те звезде су тела као и наше Сунце, средишта других, својих самосталних система.

Да се добије појам о удаљености тих звезда, треба прво добити појам о границама нашег сунчаног система. Данас се узима као крајња његова граница револуцијони круг Нептуна и његовог месеца, који је од Нептуна удаљен 454 000 км. Нептун је од Сунца удаљен 4467 милијона км, а пречник његове путање је 8934 милијона км. Ако се томе дода и удаљеност нептуновог месеца, при крајњим тачкама његове путање, добиће се за крајњу границу сунчаног система прâво удаљење од 8,934.908,000 км. Брзи воз би прешао тај пут за 16.990 година, а преко целог обима би прешао тек за 53.340 година.

По целом том огромном простору креће се око шест стотина већих и мањих небесних тела. Према томе, простор нашег сунчаног система изгледа као огромна пустиња, по којој је тек гдегде расуто неколико центара маса: Сунце, планете, месеци и планетоиди, као што су ретко разбацане оазе по пустињама.

Али пустош је у простору васионе још кудикамо већа него у нашем сунчаном систему. Само је оптичка варка да су звезде на небу блиске једна другој, јер се оне не могу видети у *простору*, него су све пројициране на *једну површину*.

Та огромна пустош се види и у томе, што је најближа звезда нашем сунчаном систему око 200000 пута даља, него што је Сунце удаљено од Земље. Тих блиских звезда је мало; већина њих је око десет пута удаљенија, а врло велики број је 100 и 1000 пута даљи од најближих непомичних звезда. Овако огромна удаљења не дају се изразити ни у годинама вожње у брзом возу, јер би за најближу звезду тај пут трајао 77 милијона година. С тога се за ова удаљења уноси нова јединица дужине: *година светлости*.[1]) Најближа звезда нам је α Centauri, која је удаљена 39 билијона километара или 4·3 године светлости.

Када се баци поглед на небо, по коме трепери неколико тисућа звезда, које се слободним оком опажају, када се види да се и планете нашег сунчаног система појављују на небу као звезде, а исто тако и њихови месеци, мора се доћи до закључка, да је и Земља звезда у васиони. Ту истину је први изнео *Леонардо да Винчи*: „La terra è una stella.“

При ведром се небу може слободним оком видети око 5700 звезда на обе земљине полукугле. Али, с помоћу телескопâ, који дозвољавају

---

[1]) в. *Методе за одређење звезданих паралакса*, стр. 133—135.

да се и звезде 14-те величине могу јасно разазнати, њихов број се пење до сто милијона. Под *величином звезде* се, наиме, подразумева њезин сјај. У главном сјај звезде може одговарати њеној величини, али, ако се претпостави, да су све звезде подједнако велике, онда ће сјај звезде зависити претежно од њеног удаљења.

Звезде се према физичком саставу деле у три главне врсте:

1. Звезде са бело-плавичастим зрачењем, код којих је температура на њиховој површини знатно изнад 7000° С. Међу њих спада Сириус, најсјајнија звезда северног неба. Он је од Земље удаљен око 150 билијона километара или 15·4 година светлости.

2. Звезде са жућкастом светлошћу, које су хладније од белих звезда. Температуре на њиховим површинама су око 7000° С. У те звезде спада и наше Сунце. Оне су најмногобројније, јер на њих отпада $^2/_3$ свих небесних тела.

3. Звезде са наранџастом и црвеном светлошћу, са површинским температурама око 3000 до 4000° С. Најсветлија звезда у сазвежђу Orion-а припада овој групи.

Напослетку има још једна група

4. звездâ са тамним зрачењем. Те звезде нису у усијаном стању, јер су толико расхлађене да су изгубиле самосталан сјај. Површине су им услед непрестаног хлађења обмотане чврстом кором, која постаје тим дебља што се дуже и интензивније хладе. У ту групу спадају неке планете нашег сунчаног система, међу њима и Земља; оне добијају светлост са Сунца и њеном рефлексијом постају сјајне.

Те четири групе означују постепене фазе у животу сваке звезде.

Ако су *Хаигенсови* назори тачни, да су и непомичне звезде сунца, као што је наше Сунце, само много удаљенија, и ако им је величина и светлостна снага подједнака, тада ће јачина звезданог сјаја (L) стајати у обрнутом односу са другим степеном звезданих удаљења (D). Ако се узме, да је једна звезда на удаљењу 1, а друга на удаљењу m, биће

$$(1.)\quad L_m : L_1 = D_1^2 : D_m^2$$

и према томе

$$(1a.)\quad L_m = L_1 \left(\frac{D_1}{D_m}\right)^2$$

У истини се показује да су нам непомичне звезде тим ближе што су светлије.

О подели звезда у васиони бавио се исцрпније *Селигер*. Он је пошао од претпоставке да су звезде у простору равномерно подељене и да имају подједнаке светлостне снаге. Ако је то случај, број звезда би у одређеном простору био пропорцијоналан његовој запремини.

Ако је просечно удаљење звезде m-те величине означено са D_m, а број звезда m-те величине које су у том простору са N_m, и ако у том

простору има звезда 1-ог, 2-ог, 3-ћег, ... до m-тог степена величине, тада ће број звезда N_m бити пропорцијоналан запремини кугле са полупречником D_m, дакле пропорцијоналан трећем степену D_m, пошто код запремине улази трећи степен у рачун. Према томе је

$$(2.)\ N_m : N_{m-1} = D_m^3 : D_{m\ 1}^3$$

Ако се узме у помоћ једначина (1), у којој је

$$L_m : L_{m-1} = D_{m-1}^2 : D_m^2$$

добија се нова једначина (3.) где улази у рачун само N и L,

$$(3.)\ \frac{N_m}{N_{m-1}} = \left(\frac{L_{m-1}}{L_m}\right)^{\frac{3}{2}}$$

На основу фотометријских мерења[1]) светлости код звезда 1-ог, 2-ог, 3-ћег, ... до m-тог степена величине, добијају се за сјај ових звезда вредности L_1, L_2, L_3 . . . . . до L_m. У пракси је показано да су односи

$$\frac{L_1}{L_2}, \frac{L_2}{L_3}, \frac{L_3}{L_4}, \ldots . \frac{L_{m-1}}{L_m}$$

прилично једнаки и да им је средња вредност 2.512; према томе је и

$$(4.)\ \frac{L_{m-1}}{L_m} = 2.512$$

и тада је

$$(5.)\ \frac{N_m}{N_{m-1}} = (2.512)^{3:2} = 3.981.$$

Ако су раније претпоставке тачне, подела звезда по величини одговарала би формули (5).

Пребројавањем звезда разних величина на небу може се добити појам о тачности горње претпоставке. *Селигер* је то учинио и дошао до закључка, да је једначина (5) прилично тачна. Доцније су се истим питањем бавили *Скиапарели* и *Пикеринг* и дошли су до истог закључка, само са том изменом, што горњу вредност треба смањити за 0.715. Дакле је

$$(5\ a.)\ \frac{N_m}{N_{m-1}} = 3.266$$

Према томе се сме закључити да *број звезда спорије расте ако им се повећава величина него што би био случај при равномерној подели и подједнакој светлосној снази.* И слободним оком се види да звезде по небу нису равномерно подељене, јер ако се баци и летимичан поглед на небо показаће се да се број звезда у правцу Млечног Пута (или Кумове Сламе) знатно повећава.

Ту поставку су *Виљем и Џон Хершел* доказали испитивањем појединих поља неба, код којих су дужине износиле 15′. С помоћу њихо-

[1]) Фотометар је инструмент за мерење светлосних јачина.

вих мерења је *Ме* одредио зависност броја звезда од галактичних ширина[1]) и доказао да број звезда од галактичног екватора према галактичном полу опада. То се јасно види из приложене таблице у којој је изнесен број звезда у пољу са страном од 15′ дужине

галактична ширина	0^0	15^0	30^0	45^0	60^0	75^0	90^0
северне галактичне полукугле	82	51	23,5	14,5	7,7	5	2,5
јужне „ „	82	59	26,7	13,5	9,6	6,6	0

Опадање броја звезда са повећањем галактичних ширина нарочито се види код мање светлих звезда, које су најудаљеније. Код звезда до 5-е величине не показује се нагомилавање према Млечном Путу. Из тога се може извући закључак, да са све већим удаљавањем у простор васионе настаје све већа разлика у правцима нагомилавања звезда: Са удаљавањем у простор васионе простор са звездама одступа све више од кугластог облика и прелази у све изразитији сфероидан облик. Звездани систем се у правцу галактичног екватора пружа много даље него у правцу галакталних полова. То се врло јасно види и из скице 129. У њој је $ГГ_1$ галактичан екватор, N северан небесни пол, а S јужан небесни пол.

Скица 129

Из тога излази да васионски простор у коме је наш сунчан систем има облик спљоштеног сочива. Вероватно је то нека пљосната спирала, од чије језгре се пружају више огранака; један од њих је и наш сунчан систем. Границе нашег васионског простора су према *Селигеру* оволико удаљење:

галактична ширина	0^0	20^0	40^0	60^0	80^0	90^0
године светлости	9800	6670	5560	5120	4670	4450

Селигеров простор звезданог система пружа се само до оних граница до којих се звезде могу јасно распознати у телескопу. Али, што су сочива на телескопу већа тим већи се број звезда може видети и према томе се може закључити да има толико удаљених звезда, које се не могу ни највећим телескопом догледати, и које се вероватно никад неће видети. Према данашњем знању је однос између величина звезда и њиховог удаљења овакав:

величина звезде	1	2	3	4	5	6	7	. . . .	15
удаљење у год. светл.	36	56	85	132	202	311	489	. . . .	22000

[1]) Галактичан екватор и пол су координатне осовине галактичног система. Назив је настао из грчког γαλα, γάλακτος = млеко, и треба да означи Млечни Пут (или Кумову Сламу).

Са најситнијих звезда, које се и у телескопима једва назиру, пошла је светлост пре 220 столећа.

При свем том је једно битно, да је наш васионски простор ограничен. У овој сочивастој спирали нашег звезданог система подела звезда је врло разнолика. У њој постоје извесна кондензацијона језгра, као што сведочи неједнака светлост у пределу Млечног Пута или звезданих гомила. И ако су оне толико удаљење да се ни при најјачем повећању не могу издвојити у јасна самостална тела, оне ипак припадају нашем звезданом систему.

Напослетку се на небу показује и известан број *звезданих магли* или *небулоза.* Њихов спектрум показује да су инкандесцентне гасовите масе, које су неизмерно далеко од нашег сунчаног система. Од интереса је, да је тих небулоза све више, што су удаљеније од галактичног екватора. За неке се од њих може одредити и приближно, вероватно удаљење.

Спољна граница познатог нам звезданог система је на удаљењу од 22000 година светлости, а цео пречник износи 44000 година светлости. Ако се узме, да су и небулозе истих величина као наш звездани систем, и да су оне засебни звездани системи, могла би се одредити и њихова удаљења, ако им је познат угао крајњих граница. Привидно највећа небулоза је Магла Андромеде чији пречник износи 3^0. Према томе је прорачунато да је она удаљена од нашег сунчаног система за 20 екваторијалних галактичних пречника или за 500000 година светлости. Друга небулоза по величини је спирална Магла Ловачких Паса са пречником од 10′. То би одговарало удаљењу од $6^1/_2$ милијона година светлости! Али то је толико огроман временски размак да се ова магла може данас налазити у сасвим другом стању и на другом делу васионског простора.

Из овог прегледа се види колико незнатно место заузима наш сунчани систем у простору васионе и колико нам је сићушна Земља; она је само молекил у томе простору готово неурачунљива величина.

ФИЗИЧКА ГЕОГРАФИЈА.

У физичкој се географији посматрају и проучавају све оне физичке снаге, којима на Земљи настају разнолика кретања и услед којих се у земљиној материји и у њеним облицима догађају непрестане промене. Извесне физичке особености и снаге има и земљино тело као целина. Међу њих спада чврстина, коју је Земља у данашњој фази живота добила, затим густина њезине масе, стање њезиног језгра, топлота у земљиној унутрашњости и извесне снаге, које се означују именом земљине магнетичности. Тим питањима се у последњим десетинама година посветило толико много рада, да се у кругу физичке географије развио засебан огранак науке, који је данас познат под именом *Геофизике*. Осталим деловима физичке географије је задатак, да изнесу узроке свих главних појава на трима спољашњим земљиним сферама: у ваздуху, у водама и на копну, и да протумаче њихове промене. Промене, које се догађају на копненим облицима спадају у круг Геоморфологије и о њима у овоме раду неће бити говора. Главан задатак овог рада је да укаже на све снаге, које стварају промене на земљиној површини и да изнесе карактеристичне појаве и особине ваздуха, океанских и копнених вода.

ГЕОФИЗИКА.

Већ раније је, при проучавању земљиног облика, показано, да се он у главном ослања о материју. Сам земљин облик је резултат неједнаке поделе маса на њеним разним деловима и непрестаног деловања унутрашњих и спољашњих снага. Показано је, да је од унутрашњих снага најглавнија гравитација, услед које Земља добија свој најосновнији облик, т. ј. облик кугле. Али тај облик у истини не постоји, јер се Земља обрће око своје осовине и тиме се ствара центрифугална снага. Услед ње је Земља добила сфероидан облик: она је на половима спљоштена, а око екватора испупчена. Међутим, питање о величини спљоштености скопчано је са великим тешкоћама, ако није позната земљина густина. Према томе је први задатак геофизике да реши питање о земљиној густини, а с помоћу ње се може прорачунати и величина њезине масе.

Земљина густина и маса.

Степен земљине густине може се одредити с помоћу *Њутн*овог гравитацијоног закона[1]), према коме је:

$$G = k \frac{m m_1}{R^2}$$

Пошто у овој формули улазе у рачун *масе,* потребно је пре свега дати појам о маси.

Под масом M се у физици подразумева продукт из волумена V и густине δ материјалног тела, према чему је: $M = V\delta$. И код масе је, дакле, потребно знати густину. Густина се код хомогеног тела са одређеним волуменом може непосредним путем одредити, међутим је Земља толико нехомогена и о њеном је саставу толико мало познато, да се густина Земље као целине не да непосредно одредити. Али, пошто у гравитацијоној формули долазе две разне масе, па према томе и разне густине, може се индиректним начином одредити земљина густина, ако је позната густина и волумен извесног тела на Земљи, као и њезин волумен.

Ако се пође од претпоставке, да је земљина гравитација концентрисана у средишту њене масе M, она ће привлачити масу једног мајушног тела μ на земљиној површини са снагом G. Нека је то мајушно тело куглица виска. Ако је удаљење земљиног средишта од виска означено са R, гравитацијона ће снага бити $G = k \frac{M\mu}{R^2}$, и висак ће падати у правац земљиног средишта. Али, ако се на земљиној површини посмотри извесна, позната, већа маса m, и ако она привлачи исту масу μ на удаљењу r, њена ће привлачна снага бити означена са g и одговараће формули $g = k \frac{m\mu}{r^2}$.

Још *Њутн* је наговестио, да се однос $G : g$ може добити из величине померања виска под утицајем блиске бреговите масе, а према односу $G : g$ може се одредити земљина густина и доцније величина њезине масе. Тај однос се добија из две горње формуле, према којима је:.

$$(1.) \quad G : g = k \frac{M\mu}{R^2} : k \frac{m\mu}{r^2} = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$$

и тада ће маса бити изражена формулом:

$$(2.) \quad M = R^2 \cdot \frac{m}{r^2} \cdot \frac{G}{g}$$

---

[1]) в. стр. 104—106.

Да би се дошло до појма како се та формула може решити, треба поћи од практичног примера. Нека је кружна линија у скици 130. део једног меридијана; место A нека је на том меридијану јужније, а место B северније. Ако је на оба места постављен висак, он ће у месту A падати у правац EA, а у месту B у правац DB и у оба ће случаја бити управљен према земљином средишту O. Али, ако се северно од места B диже усамљено брдо, на земљиној ће површини настати поремећај маса. Тада ће маса брда m привлачити масу виска μ са снагом g. Услед тога ће висак на месту B скренути у правац DC.

Ако величина DB означава G, а величина BC ако означава g, моћи ће се према закону о паралелограму снага одредити величина скретања, односно $\sphericalangle BDC = \varepsilon$. Према паралелограму снага је:

$$G : g = 1 : \frac{BC}{DB}$$

и одговарајући томе:

$$(3.) \quad \frac{G}{g} = \frac{1}{tang\,\varepsilon}$$

Ако се у формули (2.) последњи члан замени формулом (3.), добиће се нова формула, према којој је:

$$(4.) \quad M = R^2 \cdot \frac{m}{r^2} \cdot \frac{1}{tang\,\varepsilon}$$

У тој су формули непознате вредности m, r и ε.

Скица 130.

Угао скретања ε одређује се геодетским и астрономским мерењем. Геодетски се мора одредити прāво удаљење места A и B. Нека су та два места близу 44^0 географске ширине, нека су на истом меридијану и нека је удаљење AB = 49·782 км. Пошто је дужина 44-тог меридијанског степена = 111·095 км., добиће се следећа пропорција:

$$49782 : 111095 = \alpha : 3600''$$

Према томе је:

$$\alpha = \frac{49782}{111095} \cdot 3600'' = 26'53''.17$$

Пошто се ово учинило, мора се астрономским мерењем одредити поларна висина Z_A и Z_B у оба места. Кад би разлика у поларним висинама показала исту разлику, која је добијена геодетским мерењем, т. ј. кад би био $\sphericalangle AOB = \sphericalangle Z_A OZ_B = \alpha$, не би било померања виска. Али је, због масе брда на Северу, висак скренут из нормалног правца и с тога ће се у астрономском мерењу поларних висина показати, да

је разлика између њих мања, него што је одређено геодетским путем. Ако је астрономским мерењем нађено да је $\sphericalangle Z_A PZ'_B = \beta = 26'29''$ може се лако прорачунати и вредност ε, јер је:

$$\alpha + \sphericalangle DOP = 180^0$$

и $$\beta + \varepsilon + \sphericalangle DOP = 180^0;$$

с тога је $$\alpha = \beta + \varepsilon$$

а $$\varepsilon = \alpha - \beta = 26'53''.17 - 26'29'' = 24''.17$$

Из скице се јасно види, да истом померању поларне висине одговара исто скретање виска, јер је $\sphericalangle Z_B DZ'_B = \sphericalangle BDC = \varepsilon$.

Остаје још да се одреде вредности m и r. Код тих одређења постоје веома велике тешкоће. Волумен усамљеног брега може се добити једино тачним мерењем његовог облика; његову средњу густину треба прорачунати према односу свих оних елемената из којих је састављен, да би се добила вредност m. Напослетку, треба пронаћи скривену тачку, у којој је тежиште брега, да би се могла прорачунати величина r.

У другој половини XVIII столећа су *Маскелајн* и *Хатн* с помоћу ове методе одредили, на брегу Шехалјен, у Персширу (у Шкотској), да је средња густина Земље $\delta = 4.48$ и $4{\cdot}95$, или у средњу руку $4{\cdot}71$[1]). Много доцније је на исти начин поновио мерење *Џемс*, 1856 год., и одредио да је $\delta = 5{\cdot}316 \pm 0{\cdot}054$.

Друга метода мерења базира на посматрању клатења шеталице на подножју и на врху брега, којом је *Менделхол* у Јапану на врху Фуџијама и у Токију одредио да је $\delta = 5{\cdot}77$, али је доцније показано да је, услед грешке у рачуну, права вредност $\delta = 5{\cdot}667$. Извесни научењаци, као *Ери*, *Хотн* и *Штернек*, посматрали су клатења шеталице у рударским окнима и на земљиној површини, али се у том случају добијају несигурне вредности, ако нису тачно познате густине свих слојева између оба места посматрања. Тако је на пр. *Ери* (1856) добио за $\delta = 6{\cdot}566 \pm 0{\cdot}018$, а *Штернек* (1883) вредност $\delta = 5{\cdot}77$.

Свим овим методама мањка потпуна сигурност, јер се увек мора рачунати са масом и густином брега или извесног слоја земљине коре, што се ни најпажљивијим радом не може тачно одредити. С тога су много сигурније методе, у којима се за упоређење са земљином привлачном снагом узима хомогено тело, са познатим волуменом и густином, па према томе и са познатом масом.

Једна од тих метода почива на *торзијоној* или *окретној ваги*, коју је употребио *Кевендиш*[2]) при крају XVIII столећа и коју су доцнији

[1]) О свим мерењима земљине густине има исцрпних података у делу: *Dr. Siegmund Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie.* Bd. I. Stuttgart 1884. и *H. Thiene, Temperatur und Zustand des Erdinnern. Eine Zusammenstellung und kritische Beleuchtung aller Hypothesen.* Jena 1907.

[2]) Његова метода је изнесена у расправи: *Cavendish, Versuche um die Dichtigkeit der Erde zu bestimmen.* Gilberts Annal. der Physik. II. 1799. стр. 1—62.

научењаци знатно побољшали. Облик торзијоне ваге је овакав: На танкој металној жици обешена је хоризонтална шипка BC (скица 131.) са тежиштем у тачци A. На крајевима шипке висе два танка кончића, о које су обешене две металне куглице m и m_1 исте величине, исте густине, тежине и исте масе. Шипка торзијоне ваге је од алуминија и дугачка око 180 цм.; она је обешена о сребрну жицу или кварцни кончић са дужином од 100 цм. Мале куглице су од олова са 5 цм. у пречнику и цео апарат је затворен у безваздушан простор, да би се избегли сви спољашњи утицаји.

Скица 131.

У унутрашњости апарата се кугли m приближи већа кугла M, а кугли m_1 исто толико велика, хомогена и густа кугла M_1, на истом удаљењу од m_1, као што је M од m (кугла M_1 није унесена у скицу). Те кугле имају пречник од 30 цм. и направљене су од олова или стаклених резервоара са живом. Привлачан утицај кугала M и M_1 осетиће се у том, што ће жица почети да се уврће, а шипка BC да почне показивати мала хоризонтална нихања, која су изражена углом α. Да би резултат био побољшан, поставе се обе веће кугле с друге стране двеју мањих кугала, опет на истом удаљењу као у првом случају, и понова се одреди величина торзијоног угла.

Торзијона снага[1]) је, према *Coulomb*-у, пропорцијонална углу скретања, а у обрнутом односу стоји са дужином жице и дужином шипке која се њиха. С помоћу *Полендорф*ових огледала могу се одмерити делићи скале, који одговарају крајњим тачкама нихања, а из њих се добије величина торзијоне снаге. т. ј. привлачне снаге двеју већих кугала на две мање кугле.

Кад је торзијона снага одређена, може се привлачност масе M и M_1 мерити апсолутним мерилом, јер су им познати волумен и густина; а кад се одреди привлачна снага тих двеју маса може се из земљине познате привлачне снаге прорачунати њена средња густина и маса. Ако се као јединка густине узме хемијски чиста вода при 4°C и означи са $\delta = 1$, биће густина маса M и M_1 код олова $\delta = 11{\cdot}3$, а код живе $\delta = 13{\cdot}6$.

Та метода, којом се упоређује земљина привлачна снага са привлачном снагом оловне кугле, дала је *Кевендишу* врло добру вредност средње земљине густине, јер је добио за $\delta = 5{\cdot}48$.

Међутим се при крају XIX. столећа почело служити једном другом

---

[1]) *Торзија* је снага којом се извесно тело одупире кретању, или, другим речима, снага, којом тело показује тежњу да се врати у првашњи положај.

методом, на коју је указао физичар *Јоли*[1]). Он је упозорио да је прецизијона двокрака вага најпогоднија за мерења привлачних снага, јер се њоме могу одредити разлике до хиљадитог дела милиграма.

Јоли је, према томе, поставио на врху минхенског Универзитета прецизијону вагу. О оба таса ваге биле су обешене 21 метар дугачке месингане жице, на чијим крајевима су висила два друга таса. Као терет су служиле четири стаклене реторте истог волумена и исте тежине. Две су од њих остале празне, а у две остале је усуто по 5 килограма живе. Кад су обе реторте са живом биле у горњим тасовима, а празне у доњим тасовима, вага је била у стању равнотеже. Тада је са леве стране ваге реторта са живом метнута у доњи тас, а празна реторта у горњи тас. Пошто је сад земљина привлачна снага доњу реторту са живом већма привлачила, јер је ближа земљином средишту, десни крак се ваге издигао, а леви се спустио, и тек кад су с десне стране на горњем тасу дометнути тегови вага је понова дошла у стање равнотеже. *Јоли* је после тога поставио на левој страни ваге, под доњу реторту са живом, велику оловну куглу са пречником од 50 цм. и тежином од 5775 килограма и та страна ваге се понова спустила, а на десни горњи тас се морао додати тег од 0·589 милиграма да би вага дошла у равнотежу.

Ако је са a_1 означен први прираштај тежине, а са a_2 прираштај услед утицаја оловне кугле, онда ће са $a = a_2 - a_1$ бити означено самостално привлачно деловање оловне кугле. Али се из непосредног утицаја привлачења, које тело одређене густине и величине врши на неко друго тело, може одредити и величина земљиног привлачења, па, према томе, и њена маса. Ако се маса оловне кугле означи са m, полупречник са r, њена густина са δ_1, а удаљење њеног средишта од тачке тежишта реторте са живом у доњем тасу са s, најпосле ако је маса реторте са живом μ, тада је снага K, којом се тело μ и оловна кугла m међусобно привлаче, изражена формулом

$$(1.) \quad K = k \cdot \frac{m\mu}{s^2}$$

али, пошто је

$$m = V\delta_1 = \frac{4}{3} r^3 \pi \delta_1$$

биће

$$(2.) \quad K = \frac{4}{3} \cdot k \mu \delta_1 r \cdot \frac{r^2}{s^2} \pi$$

Пошто је земљина маса M означена формулом:

$$(3.) \quad M = \delta \frac{4}{3} R^3 \pi,$$

---

[1]) *v. Jolly, Die Anwendung der Wage auf Problem der Gravitation.* — Wiedemann's Annalen CCL. 1881. стр. 331 и даље.

где је R земљин полупречник, а δ земљина средња густина, и пошто је снага G, којом се земљина маса M и тело μ привлаче, изражена формулом

$$(4.)\quad G = k\,\frac{M\mu}{R^2}$$

моћи ће се за M у формули (4.) унети формула (3.) и тада ће бити

$$(4a.)\quad G = k\,\delta\,\frac{4}{3}\,R^3\,\pi\,\mu : R^2$$

$$= \frac{4}{3}\,k\,R\,\delta\,\pi\,\mu$$

Ако се формула (2.) дивидира са формулом (4a.) отпашће $\frac{4}{3}\,k\,\pi\,\mu$ и остаје за

$$(5.)\quad \frac{K}{G} = \frac{r}{R}\cdot\frac{\delta_1}{\delta}\cdot\frac{r^2}{s^2}$$

Према ранијим ознакама је $\mu K = a_2 - a_1 = a$

$$\mu G = a_1$$

и према томе је $$\frac{\mu K}{\mu G} = \frac{K}{G} = \frac{a}{a_1}$$

Ако се те вредности унесу у формулу (5.) добиће се нова формула

$$(6.)\quad \frac{r^3\,\delta_1}{R\cdot\delta\cdot s^2} = \frac{a}{a_1}$$

и напослетку је

$$(7.)\quad \delta = \frac{a_1}{a}\cdot\frac{r^3}{R}\cdot\frac{\delta_1}{s^2}$$

У тој формули су све вредности познате и на основу њих је *Јоли* одредио да је $\delta = 5{\cdot}692 \pm 0{\cdot}068$.

Скоро истовремено је врло сличном методом *Поинтинг* у Енглеској одредио вредност земљине средње густине 1878 год., али је доцније, 1891 год., побољшаним начином мерења, добио још сигурнију вредност, по којој је $\delta = 5{\cdot}4934$.

Свим новијим испитивањима је доказано, да је средња земљина густина већа од 5·4, а мања од 5·7, и данас се уопште узима да је њена вредност $\delta = 5{\cdot}53$.

Сада се може прорачунати и вредност земљине масе. Она је изражена формулом $M = V\delta$, али пошто је 1 м³ воде тежак 1000 килограма мора се горња вредност помножити са 1000, и биће

$$M = V\,\delta\,1000 = 5{,}988 \times 10^{24} \text{ килограма}$$

или речима: 5 квадрилијона и 988 хиљада трилијона килограма.

Земљина кора и језгро.

Одређење земљине густине, која је око 5·5 пута већа од густине хемијски чисте воде, доводи до једног врло важног закључка. Доцније ће се видети, да све стене, које састављају земљину кору, имају знатно мање густине, или, ако се хоће, специфичне тежине, него што има Земља као целина. Према томе се може закључити да би земљино језгро требало да има још већу густину од њезине средње густине. Томе иду у прилог и факта, која се показују код трију спољашњих земљиних сфера. Ваздух има мању густину од океана, океани имају мању густину од разних врста земаља и стена, па према томе може и земљино језгро ди има већу густину од густине земљине коре. Да би се то могло потврдити, треба посмотрити састав земљине коре.

Састав земљине коре. — Већина стена из којих је састављена површинска земљина кора постала је *седиментацијом* океанских органских остатака с једне стране, а с друге стране таложењем наноса са континенталних предела. Али, првобитно стење, које је оголићено на земљиној површини, није остало нетакнуто; оно је делом распаднуто, а делом растворено. Стење се распада под утицајем физичких процеса у ваздуху, у води и леду, осим тога јачином инсолације и радијације, а раствара се под утицајем хемијског деловања воде, одузимањем бивалентних метала. На тај се начин стена може претворити делом у раствор, а делом у нерастворљив остатак.

Поред седиментарних стена постоји друга велика група, која у целој маси има једнолик карактер. Те масе пробијају у жицама кроз слојевите стене, често се у облику сочива увлаче између дубоких слојева земљине коре или допру до земљине површине и преко ње се излију. То је тип *еруптивних, масивних стена*, које су првобитно избачене из дубина земљиног језгра, и доцније се, постепеним хлађењем усијаног, гасовитог и растопљеног излива стврднуле.

Осим ових двеју група може се издвојити група *кристалинских шкриљаца*. Кристалински шкриљци су најстарије познате геолошке масе и слојеви, које су под утицајем огромног притиска и разних хемијских процеса добиле кристализовану и шкриљасту структуру.

Испод те три групе стена лежи првобитна земљина кора, која се, вероватно, нигде на земљиној површини не може видети. Па ипак се о њеном склопу може добити известан појам с помоћу проучавања слојева и маса, које су изнад ње.

Испитивањима је доказано да сви површински слојеви земљине коре представљају смесу и спојеве различитих минерала. Скоро се у свим лавама и у свим еруптивним стенама показују десет главних саставних елемената, са најчешћим спајањем у силиција и оксиде

лаких метала. То исто се види и код већине седимената. Код њих се, међутим, јављају извесни придодатци, који су одузети из ваздуха приликом његових утицаја на распадање стена. Најглавнији придодатци су вода, угљени диоксид и сумпоран диоксид.

Између главних десет елемената постоји овај процентуалан однос:

Кисеоник	O	46·4%	Калцијум	Ca	3·6%
Силицијум	Si	27·8	Натријум (Содијум)	Na	2·85
Алуминијум	Al	8·1	Калијум (Потасијум)	K	2·6
Гвожђе	Fe	5·1	Магнезијум	Mg	2·1
			Титанијум	Ti	0·63
			Фосфор	P	0·13

а остатак отпада на друге, мање важне елементе, као водоник, карбон, хлор и т. д.[1]) Из горњих се односа види да, услед превлађивања кисеоника, све површинско камење мора бити оксидирано. С друге стране је доказано, да метали, који су образовани у земљиној унутрашњости и случајем доспели до земљине површине, или нису никако оксидирани или су слабо оксидирани. Из тих разлика се може закључити да оксидацији подлеже само површински масиви и слојеви.

Код магме свих еруптивних стена се показује да су постале смесом неколиких хемијских спојева са силицијима. Овим испитивањем се нарочито бавио *Кларк*, проучавајући састав земљине коре до 10 километара дубине, и на основу дугогодишњих анализа је дошао до закључка, да ће процентуална подела хемијских спојева у површинским стенама бити оваква, ако се мање важни састојци не узму у обзир:[2])

SiO_2	60·48%	Na_2O	3·43%
Al_2O_3	15·17	K_2O	2·96
Fe_2O_3	2·61	H_2O	1·49
FeO	3·44	TiO_2	0·72
MgO	4·10	P_2O_5	0·26
CaO	4·84	MnO	0·10

Та анализа би, отприлике, одговарала саставу сиенита или диорита.

Али однос тих минерала не мора бити једнолик; према томе, састав лава и еруптивних стена може бити веома различит. Код свих се еруптивних стена показују многобројни прелази од киселих трахит-

---

[1]) У најновије време је ове односе испитао *Х. С. Вошингтон*, на основу многобројних анализа еруптивних стена из разних делова света и резултате је изнео у Journal of the Franklin Institute. 1920. December. По њему је представник „просечне стене“ гранодиорит (в. *The Chemistry of the Earth's Crust.* — The Geographical Journal Vol. LIX. 1922, стр. 74—75).

[2]) *Clarke, Analyses of Rocks from the Laboratory of the United States Geological Survey 1880 to 1903*, — Washington 1904. стр. 18—19.

ских лава до базних базатских лава, као и прелази од гранита до диабаса. Па ипак се код свих стена показује извесна законитост, која се састоји у овом: Ако се упореде све врсте стена према садржини креча, видеће се 1. да се паралелно са повећањем садржине креча повећава и садржина магнезијских и гвожђаних спојева; 2. да се садржина чистог кварца ($Si\,O_2$) и калијумских спојева смањује и 3. да натријумски спојеви остају скоро у једнаким количинама.

Кад би се узела у обзир магма првобитне земљине коре, која се образовала под утицајем хлађења, показало би се да и у њој има великих количина воде, угљеног диоксида, хлора, сумпорног диоксида и т. д., јер их још и данас избацују вулканске гасовите ексхалације, доносећи их из земљиног језгра у високе слојеве ваздуха. То исто се доказује и саставом дубинског камена, које се без воде — и то воде, која нема никакве везе са водама земљине површине, дакле јувенилне воде у *Сисовом* смислу — не би могло ни у ком случају образовати, Према тим чињеницама изгледа, да је и магма првобитне земљине коре образована из смесе и спојева истих десет елемената, који су напред споменути.

О могућности разликâ у хемијском саставу стена има три главна назора: 1. или су већ првобитно постојале различите магме, 2. или су врсте стена стваране смесама из две различите магме, 3. или се хемијски иста магма под утицајем хлађења и промене специфичних тежина распада у неколико делова.

Према новијим експерименталним испитивањима заиста постоји диференцијација магмâ према специфичним тежинама, нарочито ако су температуре смесе исте. Да има неке диференцијацијоне снаге, која је од зачетка разделила земљину магму у катове, може се потврдити доказима. Најприроднија би одељеност магмâ била према специфичним тежинама, односно према њиховим густинама. Границе им не морају бити нивоске линије, јер ни граница ваздуха са водом или воде са копном не представља нивоску линију. Слична се подела показује и у горњим слојевима земљине коре, јер су најгорњи делови састављени из алкалијских магма, у средњим слојевима превлађује кречна магма, а у дубљим слојевима магнезијумска магма. Густине главних елемената код ових магма су оваке: калијум 0·86, калцијум 1·58, магнезијум 1·72.

У вертикалној подели елемената у земљиној кори означују се елементи малих атомских тежина као *петрогени*, т. ј. као елементи стена. Они се нормално јављају као оксиди, силикати, хлориди и флуорити и сачињавају целину коре. Рећи елементи, са великим атомским тежинама, који се јављају као „чисти“ метали, сулфиди и т. д. зову се *металогени* или елементи руда.

Густина земљине коре и језгра. — Од земљине коре су до сада испитани само горњих 2000 метара директним бушењима. Али, пошто је

њезина кора тектонским процесима поремећена, оголићени су на земљиној површини често и врло стари слојеви или масиви, тако, да би се, отприлике, тек за материју испод 10 километара дубине морало околишним путевима доћи до објашњења о густини.

Раније је изнесено да на површинским деловима земљине коре превлађују оксиди лаких метала, а тешки метали да се налазе у врло незнатним количинама. То је разлог што је густина површинског камења релативно мала. Шупљикав пловучац има тако незнатну густину да може пливати по води. Густина извесних вулканских туфова[1]) је око 1·4, код глинаца, пешчара и кречњака је око 2·1, а само код еруптивних и метаморфних стена је много већа, од 2·55 до 3·0. Главан саставан део површинских слојева су силикати и према њима се може узети да је средња густина тих слојева 2·6 до 2·7

Пошто је средња земљина густина 5·53, мора се несумњиво закључити, да између површинске земљине коре и језгра постоји сличан однос прираштаја густине, какав се показује и у земљиној кори. Питање је, на који начин густина прирашћује, да ли услед повећања притиска или неких других узрока?

По једној је хипотези прираштај густине непосредна последица повећања притиска са дубином. По њој би прираштај притиска био условљен каменим слојевима од горе. Пошто би притисак према земљином средишту бивао све већи, у истом би се правцу морала повећавати и густина. Најстарији закон о густини дао је *Лаплас*, по коме оне прирашћује у аритметичкој прогресији. Под претпоставком да је земљин полупречник $R = 1$ и да је густина површинске коре $\delta = 3$, била би густина δ' на удаљењу a од средишта изражена овом формулом: $\delta' = \delta\,[1 + e\,(1 - a)]$, у којој је $e = 2{\cdot}349$. С помоћу те једначине добио би се као резултат да је густина у средишту $\delta_0 = 10{\cdot}047$.

Али истински закони о прираштају густине под великим притиском још нису утврђени; сви досадашњи покушаји у том правцу доста су хипотетични. Ипак је *Стилјтес* поставио три могућности: 1. да се густина према дубини непрестано мења, 2. да за земљину унутрашњост вреде хидростатички закони, по којима густина са дубином прирашћује, и 3. да је прираштај густине све спорији што је већа дубина.[2]) Полазећи од горњих могућности и од претпоставке, да је густина земљине коре 2·6, средња земљина густина 5·56, реципрочна вредност земљине спљоштености 288·48, однос између теже и центрифугалне снаге на екватору 288·42, *Стилтјес* је на основу математичног прорачунавања одредио

---

[1]) *Туф* (италијански *tufa*) је лак шупљикав камен цементованих шљака (scoria) и вулканског пепела.

[2]) *Stieltjes, Quelques remarques sur la variation de la densité dans l'intérieur de la Terre.* — Archives Néerlandaises des sciences exactes et naturelles. XIX. 1884. — стр. 435.

за разне дубине горње и доње границе густина. По њему би прираштај густине према дубини био овакав:

на земљиној површини		2·6
„ удаљењу 0·9 од земљиног средишта		од 4·05 до 4·58
„ „ 0·8 „ „ „		„ 5·12 „ 5·81
„ „ 0·6 „ „ „		„ 6·87 „ 7·84
„ „ 0·4 „ „ „		„ 7·61 „ 8·93
„ „ 0·2 „ „ „		„ 7·61 „ 10·43
у земљином средишту		„ 7·61 „ 12·16

До сличних закључака о прираштају густине доводи и вредност земљине спљоштености. *Хајгенс* је при одређењу спљоштености пошао од претпоставке да је цела маса концентрисана у привлачном средишту и добио је да је, вредност $\alpha = 1 : 578$. *Њутн* је претпоставио да је земљина густина хомогена, т. ј. да је свугде иста, и прорачунао је, да је $\alpha = 1 : 232$. Новим испитивањима је, међутим, доказано да је земљина спљоштеност $\alpha = 1 : 297$. То је средина између два прва назора према чему се мора закључити да се густина према земљином средишту повећава. *Тумлирц* је прорачунао земљину густину с помоћу акцелерације теже и спљоштености и према томе, да ли за акцелерацију теже на екватору и полу узима вредност *Пујета* или *Листинга*, добија за густину земљиног средишта 10·864 односно 12·929, а за одговарајућу средњу земљину густину 5·846 односно 6·672, што иде у прилог првој вредности.[1])

Према свим резултатима би се могло закључити да се густина са дубином повећава и да у земљином средишту има вредност између 9·5 до 11·0, али се с друге стране, према новим научним резултатима, може тврдити, да се густина, под утицајем великих притисака, веома споро повећава у сва три агрегатна стања. Према томе, густина земљиног језгра не може бити последица притисака.

Земљина густина и хемијски састав језгра. — Упоредо са првом хипотезом о прираштају густине развијала се и друга хипотеза, према којој је једини узрок повећању густине присуство тешких метала у земљином језгру. Тако је на пр. густина цинка 7·15, калаја 7·3, гвожђа 7·8, кобалта 8·5, никла 8·7, бакра 8·8, бизмута 9·8, сребра 10·45, олова 11·4 и т. д. Сам факт, да се у земљиној унутрашњости налази у врло великим количинама гвожђе, никл и т. д. иде у прилог мишљењу, да је већа густина тих метала довољна да протумачи средњу земљину густину. Стога је *Сис* назвао земљино језгро *барисфером*[2]), јер су у њему тешки метали.

---

[1]) *O. Tumlirz, Die Dichte der Erde, berechnet aus der Schwerebeschleunigung und der Abplattung.* — Sitzber. d. math. — naturw. Kl. d. K. Akad. Wiss. zu Wien. 1892. Cl. Abt. IIa стр. 1528 и т. д.

[2]) од грчког βαρύς = *тежак.*

Да је гвожђе заиста важан саставан део свих небесних тела види се из метеорита. У сваком метеориту, сваком остатку распаднутих небесних тела, има довољно гвожђа. Осим тога се и у сунчевом спектруму показују линије гвожђа. Тешких метала, а нарочито гвожђа, има и у земљиној кори, као на пр. у Русији, у Ирској, а особито на источној обали Гренланда, где се чисто гвожђе и никл јављају у базалтским лавама. То гвожђе је без сумње избачено из земљиног језгра приликом вулканских ерупција.

Ако се пође са гледишта, да повећање густине настаје услед разлика у материјалу, морало би се унапред очекивати, да прелазак густина не може бити постепен него да се јављају скокови. Таква хипотеза је боља него она, која претпоставља непрекидан прираштај густине, јер за њу нема доказа. На тај је начин *Вихерт* покушао да одреди дебљину земљине коре (као целине) и језгра.[1]) Он полази од претпоставке: 1. да разлике у густини у разним дубинама Земље настају услед разлика у материјалу, 2. да су супстанције које имају већу густину од 5.5 искључиво метали и 3. да гвожђе из космичких и геолошких узрока има велики значај у земљином саставу. Да би олакшао прорачунавање *Вихерт* узима да су густине коре и језгра у свим деловима једнаке. Једначине у његовом раду почивају на законима хидростатичке равнотеже, а као познате вредности узима земљину спљоштеност $\alpha = 1:297$, средњу густину 5·58 и густину коре 3·2. Према томе добија за густину земљиног језгра 7·8, која одговара густини гвожђа. Он закључује да у земљином језгру превлађује метално гвожђе, чија је густина, услед великог притиска, већа него у површинским слојевима. Кора је, према *Вихерту*, дебела око 1200 до 1600 километара, дебљина језгра је око 1400 километара, а између коре и језгра је пластичан (тегљив) слој мале дебљине; њиме се могу протумачити земљотресни таласи, који се шире кроз земљину унутрашњост.

Клусман допуњује Вихертову хипотезу с помоћу резултата сеисмологије.[2]) Из новијих сеисмолошких радова се може закључити да густина језгра није константна, него да се у земљиној унутрашњости показују неколико скокова густине. Непостојане површине су у дубинама око 1193 км., 1712 км. и 2454 км. Те вредности су утврђене на проматрањима лонгитудиналних таласа, а доцније су потврђене посматрањем трансверсалних земљотресних таласа. Под претпоставком, да је средња густина земљине коре 3·4, *Клусман* добија овакву слику о земљином саставу: земљина кора има дебљину око 1200 км. са матери-

---

[1]) *E. Wiechert, Über die Massenverteilung im Innern der Erde.* Nachrichten d. kön. Gesellschaft d. Wiss. zu Göttingen. Math. — phys. Kl. 1897. стр. 221 — 243.

[2]) *Walther Klussmann, Über das Innere der Erde.* — Inaugur. Dissert. Göttingen. 1915.

јалом из кога су састављене стене. Испод њега долази средњи слој са гвожђевитим рудама, код којих је средња густина 5·5. Тај слој престаје отприлике у дубини од 2600 км., али му је густина због притиска повећана на 6·0. Према сеисмолошким посматрањима он се распада у два различита слоја, са границом у 1700 км. дубине. Испод средњег слоја долази језгро са гвожђем, никлом и кобалтом. И његова густина је, услед притиска, повећана на 9·1.

До сличних резултата долази и *Нот.*[1]) По њему је Земља састављена из еластичне, чврсте коре, која престаје отприлике у дубини половине земљиног полупречника (3170 км.). Одатле се крутост почиње смањивати; у дубини од 3820 км. дисторзијони се таласи[2]) уништавају и указују, да чврста кора чини место пластичноме језгру.

Притисак у земљином телу. — Односи притисака су код чврстих и течних тела различити. На једну кубну честицу чврстог тела делују три снаге притиска усправно на његове зидове, које га стежу или компримирају и три тангенцијалне снаге притиска, које смањују компресију или стезање. Код течности у миру нема тангенцијалних притисака и свака честица течности има исти притисак у свима правцима. Али то вреди за односе у близини земљине површине. О истинском стању земљиног језгра нема сигурних података и с тога се не може рећи какви односи притиска тамо владају. Ипак се о његовој величини може добити известан појам ако се пође од теоретских претпоставака.

Кад би Земља била потпуно чврста, њезини слојеви би притискивали једни друге и усправни би се притисци према земљином средишту невероватно повећавали. Али великим повећавањем притиска са дубином смањују се *разлике у притисцима*, као и тангенцијалне снаге. Услед чврстине материје тангенцијалне снаге морају имати горњу границу, изнад које не могу постојати.

Земља се, међутим, већма ближи условима хомогене течне кугле, што се види из њене спљоштености, јер је она много ближа Њутновој, него Хаигенсовој вредности. Ако се узме хомогена течна кугла, са димензијама и средњом густином Земље, и ако се пође од хидростатичких закона, може се прорачунати притисак на разним удаљењима од земљиног средишта. Под тим претпоставкама је *Рудски* дошао до ових резултата[3]):

---

[1]) *C. G. Knott, The Nature of the Earth's Interior.* — Proceed. of the Royal Soc. Edinburgh. Vol. XXXIX. 1919. стр. 157—208.

[2]) *дисторзија* означава уврнуто, извијено, вијугаво кретање, деформирање.

[3]) *M. P. Rudzki. Physik der Erde.* Leipzig. 1911. — стр. 102—106.

удаљење од земљиног средишта у разломцима полупречника	притисак у атмосферама за густину 5·5	разлика за 0.1 удаљења	притисак у атмосферама за густину 2·75
0.99 (63·7 км)	33 729	328 880	16 990
0.95	165 249	313 548	85 930
0.9	322 023	288 125	166 800
0.8	610 148	233 279	364 400
0.6	1 084 707	186 434	836 080
0·5	1 271 141	152 537	1 165 200
0.4	1 423 678	101 691	
0.2	1 627 060	33 897	
0.0	1 694 854		

Али у најгорњем слоју земљине коре односи притиска веома знатно одступају од хидростатичког притиска и с тога формуле прорачунавања губе свој значај; зато се рачуна тек од удаљења 0·99 R. Пошто је за густину узета непромењива вредност 5·5, притисци су према земљиној површини претерано велики. То се може поправити ако се за удаљење од 0·5 R до 0·99 R узме густина 2·75. Тада ће доња граница притиска бити знатно смањена, као што се види из горње таблице. Из ње се види и то, како се притисци са дубином све мање повећавају, јер разлика, редуцирана на 0.1 удаљења, опада према средишту у геометријској прогресији.

Какве особине имају материјални елементи при огромним притисцима, који би одговарали хидростатичкој теорији, не може се позитивно рећи, јер се експериментима не могу произвести. Једино је сигурно да су елементи невероватно стегнути и да су, због крајње могућег згушњавања, њихови компресиони коефицијенти до крајности смањени.

Топлота у земљином телу. — Појам о топлотном стању у земљиној унутрашњости може се добити мерењима температура у дубоким рударским окнима, приликом грађења тунела или при бушењима земље, која су чињена на врло многим местима. Најдубље се допрло до земљине унутрашњости приликом бушења у Цухову, у Горњој Шлезији, до 2240 метара, и у близини Кларксбурга, у северном делу Западне Вирџиније, до 2251 метра дубине. Али и те дубине одговарају тек трихиљадитом делу земљиног полупречника.

У свим се тим случајевима показало, да се од дубине, у којој престају непосредни утицаји сунчеве топлотне енергије, најчешће јавља континуалан, али доста неправилан прираштај температура: од земљине површине према средишту температуре бивају све веће. То није доказано само у равним пределима, него и у планинама, приликом грађења великих тунела у Алпима. Тако се на пр. у тунелу Светог Готхарда показао према средњем његовом делу постепен прираштај температура до 53·6°C, а у Симплонском тунелу до 53°C, близу највеће ви-

сине у ланцу Вазенхорн. Подела температура у Симплонском тунелу изнесена је у скици 132., а фактичне вредности се виде из приложене таблице:

Положаји	надморска висина		температура		геотермички ступањ за 1°C	темпер. градијент за 100 м.
	на површини	у тунелу	на површини	у тунелу		
Brig	686 м.	686 м.	6.3°	6.3°	—	—
Brigerberg	915	688	8.3	16.7	27 м.	3.7°
Rosswald	1850	693	3.8	28.0	48	2.1
Unter-Berisal . . .	1320	695	7.4	30.5	27	3.7
Hohenegg	2030	699	3.4	45	32	3.2
Furggenbaumpass .	2690	703	—1.6	53	36	2.8
Rosetto	2221	704	1.6	49	32	3.1
Amoinciei	2709	693	—1.8	41·5	49	2.5
Lago d'Avino . . .	2273	682	0.4	41	38	2.6
Passo di Valle . .	2448	671	1.2	32	57	1.7
Alpe di Valle . . .	1863	665	2.2	19	71	1.4
Passo Posette . . .	2248	654	1.8	32	53	1.9
Bugliago	1316	642	6.6	30	29	3.5
Iselle	634	634	8.85	8.85	—	—
			средња вредност		41.6	2.4

Најуочљивију појаву у геотермичком профилу представља клинасто удубљење у Alpe di Valle, око 4 км. јужно од уласка у тунел, на 1863 метра надморске висине, где су бушењем у кречњаку отворени многи хладни извори. Њиховим се расхлађујућим утицајима може протумачити највећи прорачунат геотермички ступањ са дубинском разликом

Скица 132. — Геоизотерме у Симплонском тунелу (по Schardt-у)

од 71.3 метра за 1°C. У Симплонском се тунелу јасно показује зависност температурне поделе од односа у слојевитости стена, од количине воде у порама разних врста стена, од присутности хладних извора, површинских температура и других локалних утицаја.[1])

Код вертикалне поделе температура у земљи у пракси се не рачуна са њихом прираштајем, него најчешће са реципрочном вред-

[1]) *H. Schardt. Die geothermischen Verhältnisse des Simplongebirges in der Zone des grossen Tunnels.* — Festschrift der Dozenten der Universität Zürich. Zürich 1914.

ношћу. Та вредност је *геотермички дубински ступањ*, или просто *геотермички ступањ*, којим је означен потребан број метара, да се температура повећа за 1°C. Геотермички је ступањ на разним местима веома различит. На неком месту одговара прираштају температуре за 1° дубина од 10 метара (на пр. у Науфену, у Виртембергу), док на другом месту исти прираштај одговара дубини од 70 метара (на пр. Чикаго), а у појединим се рударским окнима показује и опадање температура са дубином.

Ако се резултати групишу према геолошким и географским односима, видеће се, да у величини геотермичког ступња постоји извесна правилност. У главном ће се показати да геотермички ступањ највише зависи од моћи спровођења топлоте код разних врста стена. У близини вулкана или врелих извора, у пределима интензивних хемијских процеса (труљења материје) или нагомиланости радијума топлотна струја је повећана, т.ј. геотермички је ступањ смањен. У тим пределима одговара прираштају температуре за 1° много мања дубина, него у другим пределима. С друге стране је геотермички ступањ знатно повећан у пределима, који су у близини великих водених маса.

Према томе ће геотермички ступњеви бити у разним пределима различити, као што се види из следећих примера:[1])

	геотермички ступањ у метрима		
	минимум	максимум	ср. вредност
у рударским окнима	10.0	17.1	13.5
у пределима младих еруптивних стена	11.3	24.1	16.3
у близини угљених слојева и бунара нафте	13.9	29.6	22.1
у пределима сувог песка и другог материјала рђаве спроводљивости	20.0	28.5	24.3
у благо таласастим пределима са старијим, хемијски непромењеним стенама	29.0	37.9	33.3
под истим условима у близини пространих водених маса	39.0	130.0	65.5
у рудницима, који су вентилацијом расхлађени	31.0	55.0	40.2
испод темена брегова	43.5	65.0	52.7
испод долина	27.0	29.0	28.3

Осим тога се у природи показује, да су геотермички ступњеви и у истим пределима кадикад доста различити, нарочито код нехомогеног материјала. Тако су на пр. у мајданима бакра у околини Горњег Је-

[1]) *Joh. Königsberger, Normale und anormale Werte der geothermischen Tiefenstufe.* Centralblatt für Mineralogie und Paläontologie. Jahrg. 1907., стр. 673—679.

зера (Lake Superior), у Северној Америци, геотермички ступњеви у појединим окнима 52 м., 55.2 м., 60.6 м., 66.7 м. и т. д., а у најдубљем окну чак 122.8 метара.

Ако се скупе сви досадашњи резултати бушења може се једино закључити, да је средњи геотермички ступањ у површинској земљиној кори око 33 метра. Тај закључак има више практичан него теоретичан значај, јер је немогуће дати општи закон о прираштају температура према земљиној унутрашњости. Најновијим и најбрижљивијим проматрањима је доказало, да је — апстрахујући неправилности услед грешака код посматрања и неједнаке топлотне спроводљивости код разних врста стена — температуран прираштај пропорцијоналан дубини, а не успорен, као што се према старијим посматрањима претпостављало.

Како се геотермички ступањ мења према земљином језгру не може се рећи, јер се о прираштају температура према земљиним централним деловима не сме закључивати према резултатима бушења и с тога би било веома смело претпоставити да постоји сталан, па ма и успорен прираштај до земљиног средишта. Кад би геотермички ступањ био непрестано исти, т.ј. 33 м. тада би се температура у земљином средишту повећала на 128000°C, а то је немогуће замислити. Према *Стефан*овом закону је израчена количина топлоте пропорцијонална 4-том степену апсолутне температуре, па се и за сунчеву фотосферу не добија већа вредност од 6500°C.

Али, при свем том, врели извори, а нарочито вулкани са усијаним течним ерупцијоним масама, указују на знатан прираштај температура према унутрашњости. Врели извори су у тесној вези са усијаним масама испод површинске земљине коре. Они се јављају или у вулканским пределима, као што су гејзири, са температурама до 120°, или у пределима младих тектонских процеса, као што је већина топлица. Тако је на пр. температура у топлици Баден-Баден 85°, у Карловим Варима 73°, у Будиму 61°, у Мехадији 55°C.

Код вулканских лава су температуре кудикамо веће. Температура лаве на Везуву је око 1080°C, а на Етни 1010°C. Те ерупције долазе из дубина од 30 до 40 километара и тиме се може закључити, да су у тим дубинама температуре између 1000° до 1200°C. Експериментима је доказано, да је тачка топљења код вулканских лава, при нормалним притисцима, између 900° до 1700°C.

Према досадашњем излагању би се са нешто вероватности смело рећи, да температуре према земљином језгру прирашћују, али да закон тога прираштаја није познат. За топлотно стање у земљином језгру могла би се поставити једино хипотеза, којом би се најбоље и најједноставније протумачили сви добијени резултати научних испитивања.

Ако се пође од *Лапласо*ве хипотезе, да је Земља постала хлађе-

њем инкандесцентне масе, највероватније је да је њезина топлота према језгру све већа и да је остатак првобитне топлоте. Томе иде у прилог и то, што је *Фурие* математички одредио, а *Бишоф* експериментално доказао да такав прираштај постоји.[1]) Он је чинио опит на куглама отопљеног базалта, са пречником од 27 палаца, и 48 часова после излива је мерио температуре на разним удаљењима од средишта. Код свих су се кугала температуре на истим удаљењима од средишта подударале, и показивале ове вредности:

удаљење од средишта	0	4.5″	6.75″	9″
температуре °C	191·9	170·0	156·3	137·5
температуран ступањ		0.200″	0.164″	0.120″

Према томе би се могло покушати да се, под извесним претпоставкама, одреди горња и доња граница температура у земљином језгру.

Најнижа температура у средишним деловима мора несумњиво бити већа од највише тачке топљења код лава, које данашњи вулкани избацују. Али, податци о тачци топљења код лава показују доста знатна одступања, јер се већ на примеру за Етну и Везув видело, да им температуре показују разлику од 70°C, ма да су та два вулкана тек око 350 км. удаљени један од другог. Код удаљенијих вулкана могу разлике у температурама лава бити још много веће. Ипак је *Браунс* упозорио, да се с помоћу кристала, које лаве при избацивању доносе, може одредити приближна доња граница за температуре лава̂, јер оне морају бити ниже од температуре топљења код минерала.[2]) Пошто лаве не долазе непосредно из земљиног језгра, него из периферних огњишта, оне су изгубиле известан део топлоте на своме путу из магме до огњишта и одатле до земљине површине. Из тих разлога се може узети да је доња граница магмине температуре најмање 2000°C.

Много несигурнији су податци за горњу границу, али се и ту може доћи до вероватних резултата. Свакако највећа температура магме мора бити нижа од критичних температура супстанција, које се у земљином језгру налазе у великим масама. До тог се закључка долази с тога, што одвајање маса према специфичним тежинама може наступити тек у случају кад температуре супстанција спадну испод критичне тачке, јер је материја у суперкритичном стању потпуно измешана. Несумњиво је да у земљиној унутрашњости влада подела маса према специфичним тежинама и да горњи услов, према томе, мора бити испуњен. Пошто нема експерименталних доказа о критичним температурама код метала, *Гулд-*

---

[1]) *Dr. Emanuel Kayser, Lehrbuch der Geologie. I. Teil. Allgemeine Geologie.* Zweite Auflage. Stuttgart 1905, стр. 61—62.

[2]) *Reinhard Brauns, Über Beziehungen zwischen dem Schmelzpunkt von Mineralien, ihrer Zonenstruktur und Ausscheidungsfolge in Ergussgesteinen. Temperatur der Laven.* — Tschermaks miner. u. petrogr. Mitt. 1898., стр. 485–491.

берг их је теоретски одредио.[1]) Он је нашао да је критична температура код живе око 1000°C и с помоћу ње је прорачунао критичне температуре других метала:

Олово	Pb	2000°	Злато	Au	4300°
Кадмијум	Cd	2500°	Бизмут	Bi	4600°
Цинк	Zn	2600°	Гвожђе	Fe	5200°
Алуминијум	Al	3000°	Паладијум	Pd	5700°
Калај	Sn	3000°	Антимон	Sb	5800°
Сребро	Ag	3600°	Платина	Pt	7000°
Бакар	Cu	3900°			

На основу ових резултата би се могло претпоставити, да би максимална температура земљиног језгра могла бити око 10000°C.

Земљин губитак топлоте. — Високе температуре у земљиној унутрашњости и њихово опадање према земљиној површини доста јасно показују да је њезина топлотна струја управљена према просторима васионе. Према *Лорд Келвиновој* теорији о спровођењу топлоте може се топлотна струја H изразити формулом $H = \frac{k}{G}$, у којој је G геотермички ступањ, а k коефицијент спровођења. Из формуле се види, да се геотермички ступањ мења пропорцијонално са коефицијентом спровођења: већем коефицијенту спровођења одговара пропорцијонално већи геотермички ступањ. Код стена на земљиној површини је средњи коефицијент спровођења $k = 0.00582$, у C-G-S јединкама[2]), а G је познато.

Ако се прорачуна број секунада у години, може се приближно одредити (јер су коефицијенти спровођења код стена различити) количина топлоте, коју Земља изда у току године, према горњој формули:

$$H = \frac{0.00582 \times 31\,557\,600}{3300} = 55 \text{ гр-кал цм}^2$$

И ако је годишња количина издате топлоте веома незнатна, она је ипак од великог значаја, јер ју Земља непрестано издаје према хладним просторима васионе. С тога би се она морала непрестано хладити, док не изгуби сву топлотну енергију.

Али је проналаском радијума и радиоактивних минерала горња теорија у неколико уздрмана. Доказано је, да у извесним стенама земљине коре има мањих или већих количина радијума, у коме је очувана огромна количина топлотне енергије. *Цоли* је испитивао разне еруптивне и седиментне стене и показао је, да у једном граму еруптивних стена има око 5 до 6×10^{-12} грамова радијума, у граму седимената

---

[1]) *C. M. Guldberg, Die kritischen Temperaturen der Metalle.* Zeitschr. f. physikalische Chemie. I. 1887., стр. 231—236.

[2]) *C-G-S јединке* су ознаке центиметра, грама и секунда.

око 4 до 5×10^{-12} гр., док у граму црвене глине са океанског дна има $33{\cdot}3 \times 10^{-12}$ гр., а у граму радиоларског муља $36{\cdot}7 \times 10^{-12}$ гр. радијума.[1]) Исто је тако и радијоактивним еманацијама водених и зејтинастих извора, као и еманацијама у орећој земљи и ваздуха из тла доказано, да је радијум доста распрострањен.[2]) *Либенов* на основу добијених резултата износи, да је релативно мала количина радијума у Земљи довољна да у њеној унутрашњости одржи константну температуру.[3]) Земља стално издаје топлоту, која се као стална топлотна струја креће кроз њезину кору према површини и очитује се у геотермичком дубинском ступњу. Кад би била позната моћ земљине топлотне спроводљивости могла би се величина струје лако одредити. Ипак се приближан резултат, бар према величини, може добити, ако се претпостави да је коефицијент топлотне спроводљивости $\lambda = 0.006$ цм^2/сек., а геотермички ступањ 33 метра.

Ако се специфична спроводљивост топлоте означи са λ, температуран пад за 1 цм. са τ, земљин обим у центиметрима са u, добиће се количина топлоте ω, коју земљина унутрашњост изда за 1 секунду:

$$\omega = \frac{\lambda \tau u^2}{\pi} = \frac{0{\cdot}006}{3300} \cdot \frac{4002271000^2}{3.1415} = \text{око } 10^{13} \text{ гр-кал. или око } 10^{10} \text{ кгр-кал.}$$

Пошто је *Пашен* одредио да 1 грам радијума производи 226 кгр-кал. на сат или 0.063 гр-кал/сек., морало би у Земљи бити највише 2×10^{14} грамова радијума да целокупна издата топлота буде накнађена.[4]) Ако би било више радијума Земља би постајала све топлија.

Кад би количина радијума била равномерно подељена у целој Земљи било би га у 1 м^3 око 2×10^{-7} гр. или 1/5000 милиграм, јер је земљин волумен око 1083×10^{18} м^3. Али би се према податцима *Елстера* и *Гајтела* морало закључити, да у врстама земаља, које су испитивали, има око 1000 пута већа количина радијума. Ако је тако, било би природно да се његова дезинтеграција у главном ограничава на близину земљине површине, и то тим више, што се еманација тих супстанција догађа само при нижим температурама, а код виших престаје. Ако се пође са тога гледишта, било би на сваком квадратном метру земљине површине (5×10^{14} м^2) око 0·4 грама радијума, колико се налази у 6 цм. дебелом слоју т. зв. пехбленде у Јоахимсталу (Чехо Словачка), а то сведочи да његова количина у дубоким слојевима мора бити мала.

Према свему изгледа прилично истинито, да су радиоактивне материје квантитативно довољне да одржавају температуру земљине уну-

---

[1]) *F. Joly, Uranium and Geology.* — Nature. Tome 78. № 2028, стр. 456—466.

[2]) *Elster u. Geitel, Über die radioaktive Substanz deren Emanation in der Bodenluft und Atmosphäre enthalten ist.* — Physikalische Zeitschrift. 1904. № 1., стр. 11.

[3]) *C. Liebenow, Notiz über die Radiummenge der Erde.* — ibid. № 20., стр. 625—626.

[4]) *F. Paschen, Über die γ - Strahlen des Radiums.* — ibid. № 18., стр. 563—568.

трајности приближно на константној вредности. Међутим, постојањем радијума и његовим процесима дезинтеграције у земљи, принцип *Лорд Келвинове* теорије може ипак бити одржан, и ако је непрестаним стварањем радиоактивних супстанција знатно успорен.[1]) Са тога гледишта полази *Артур Холмс* указујући, да радиоактивност пружа науци ново средство за одређење земљине старости.[2]) По њему уранијум и торијум у земљиним стенама морају бити сматрани као главни фактори, који стварају бар 3/4 земљине топлоте. Задржавајући *Келвинову* претпоставку о првобитној мекој површини, коју принцип радиоактивности ни у ком случају не пориче, *Холмс* износи, да би старост земљина морала бити повећана приближно за 1600 милијона година. *Стрет* претпоставља, да се с помоћу хелијума, који се ствара из радиоактивних минерала, могу извести закључци о старости земљиних слојева.[3]) Заиста, дезинтеграцијом непостојаног уранијума и торијума настаје развитак сталних продуката хелијума и олова. Њихова садржина у радиоактивним минералима је пропорцијонална њиховој старости и ова се, према утврђеној брзини хемијских промена, може одредити, али под претпоставком, да су првобитно били слободни од хелијума или олова. Али, пошто се хелијум непрестаним расипањем (дисипацијом) губи, постепено незгодан је за одређење старости појединих слојева. *Холмс* закључује, да се много сигурније вредности могу добити с помоћу олова.

И ако су, проналаском радијума, старији назори о земљином хлађењу донекле пољуљани, основа за нову, вероватнију теорију још није постављена. Али се на радиоактивности толико ради, да ће се вероватно добити нови докази за решење овог капиталног питања.

Агрегатно стање земљиног језгра. — Према геотермичком ступњу би се температура у дубини од 40 км. попела до 1200°C, при којој се топе стене земљине коре, а у дубини од 50 км. би владала температура од 1500°C, која приближно одговара тачци топљења код разних лава. У истим дубинама би био притисак од 10800 атмосфера, односно 13500 атмосфера.

По томе би се могло закључити да ће у тим дубинама земљина кора нестати. Али не мора бити тако. Експериментално је доказано, да под истим температурним условима свака промена густине производи

---

[1]) О постанку радијума и процесима његове дезинтеграције (разједињења) даје јасне, елементарне податке *H. Guilleminot* у делу *Les Nouveaux Horizons de la Science*. Tome II. — Paris 1913., стр. 283—294.

[2]) *Arthur Holmes, Radioactivity and the Measurement of Geological Time.* Proc. Geologist's Assoc. Vol. 26. 1915. — в. реф. у The Geographical Review. April 1916. стр. 305.

[3]) *J. R. Strutt, The Accumulation of Radium in Geological Time.* Nature. Tome 82. стр. 58.

и промену волумена у истој маси. Ако се густина повећава, волумен се мора смањивати. Раније је указано да мора бити граница, изнад којих се маса и при највећем притиску не може више згушњавати. Ако је тај назор тачан, морала би у свакој дубини бити густина оних елемената, који су у њој налазе. То се у истини види, јер је густина површинске земљине коре 2·6 до 2·8. Она у извесној дубини неодређено граничи са густином од 7·8 до 8·2, јер гвожђе и при највећем притиску неби имало већу густину од 8·0.

С друге би се стране могло очекивати, да ће, због непрестаног прираштаја температура, густина бивати све мања што је дубина већа. Томе се, међутим, противе сви научни резултати, а нарочито вредност земљине средње густине. Према њој температура земљине магме не може бити толико висока да врши отпор притиску.

Питање, у којим дубинама нестаје земљина кора, у оном смислу како ју ми сматрамо, може се теоретски решити с помоћу познатих чињеница. Сваком прираштају притиска за 10 атмосфера одговара повећање температуре од 1°C. Према томе би температуре према дубинама расле у нешто друкчијем односу, а не према геотермичком дубинском ступњу. У дубини од 40 километара била би температура 1095°[1]), а у дубини од 50 километара 1365°C. Али се са повећавањем притиска тачка топљења повећа са 0·03° за 1 атмосферу. Према томе је тачка преласка из чврстог у течно стање померена на веће дубине.

Код притиска од 10800 атмосфера, у дубини од 40 километара, температура би се смањила за 324° и износила би тек 771°C, док би се у дубини од 50 километара под притиском од 13500 атмосфера снизила за 405°, дакле на 960°C. На тај би се начин температуре од 1200° и 1500°C, које одговарају топљењу стена и лава налазиле у знатно већим дубинама. Тек у њима је земљина материја у усијаном течном стању.

У још већим дубинама су температуре свакако још више и течна ће маса постепено прелазити у гасовито стање. Али за свако гасовито стање постоји *критична температура*. Код водене паре је критична температура 374°, а критичан притисак 217 атм. Код водоника је критична температура чак на —241°, а критичан притисак 15 атм., код угљеног диоксида су вредности 31°C и 73 атм., код алкохола 241°C и 62 атм., а код осталих хемијских спојева и елемената је критична температура већином знатно већа.[2]) Изнад критичне температуре појам течности и паре постаје илузоран, јер тада настаје прелаз у *пластичну* или *тегљиву* масу.

---

[1]) ср. темп. земљине површине је 15°C, а притиску од 10800 атмосфера одговара температура од 1080°C.

[2]) *R. Börnstein, Die Lehre von der Wärme.* — Aus Natur und Geisteswelt. № 172. стр. 65.

Танка кора са течним и гасовитим језгром стоји у супротности и са многим астрономским опажањима и с тога се мора одбацити. Сва факта указују на то, да је Земља, и ако не потпуно крута, ипак доста чврста и према спољашњим утицајима тек нешто попустљива. У томе се мишљења прилично подударају, али су још увек разилазе у питању да ли је земљино језгро чврсто или течно. Свакако би правилније и реалније било питање, да ли је језгро у изотропном или анизотропном стању, јер се о земљиној пластичности може донекле говорити са сигурношћу. Али, још нема сигурних, експерименталних доказа како се разне супстанције понашају при врло великим притисцима и високим температурама.

Кад би се пошло од претпоставака, да се материје из којих је Земља састављена понашају, при врло знатном повећању притиска и температура, исто онако као при температурама и притисцима с којима се могу чинити експерименти, могло би се на основу испитивања *Баруса*[1]) и *Тамана*[2]) закључити, да се силикати и већина других супстанција, са изнимком бизмута и воде, при кристализацији стежу. Другим речима, силикати и већина других супстанција имају у изотропном стању већи волумен, него у анизотропном стању. Према томе би се могло сматрати, да су масе у земљином језгру у пластичном, анизотропном или кристаластом стању, јер у њему заузимају најмањи простор. У прилог кристализацији под великим притиском иде и опажање код лава, код којих се кристали, образовани под притиском у земљиној унутрашњости, одмах понова растворе чим лава продре до земљине површине и притисак нестане. Осим тога су и тачке топљења код анизотропних тела често више, него ако су у изотропном стању.

Према свима назорима о земљином језгру и њиховој вероватности *Тине*[3]) изводи крајњи закључак, да је Земља састављена из језгра са максималним количинама гвожђа и никла и из силикатне коре. Између њих постоји танак прелазан слој са великим количинама гвожђа. Кора је према дубини све пластичнија и постепено прелази у масу, која је у латентном кристаластом стању. Пошто је притисак према средишту све већи, честице су све мање покретне и централни делови су, према спољашњим утицајима, крути[4]). Цело језгро је састављено из круте, релативно тегљиве смесе многих супстанција.

---

[1]) *Ch. Barus, The Fusion Constants of Igneous Rock. The Contraction of Molten Igneous Rock on passing from Liquid to Solid.* — Philos. Mag. 1893. V. Series, XXXV. стр. 173—190.

[2]) *G. Tammann, Kristallisieren und Schmelzen, ein Beitrag zur Lehre der Änderungen des Aggregatzustandes.* — Leipzig 1903., стр. 24—26 и 42.

[3]) *H. Thiene*, l. c.

[4]) *Крутост* је појам веома мале еластичности. Разлика између *еластичности* и *крутости* је у томе, што смањивањем еластичности тело постаје све круће. Максимуму крутости одговара минимум еластичности и обратно.

Земљина еластичност и њене последице. — Напред је споменуто да је Земља у одговарајућој дубини тегљива и према томе је природно да мора бар донекле бити еластична. Да Земља заиста има известан степен еластичности доказао је *Шандлер*,[1]) а доцније га је допунио *Швајдар*[2]).

*Лорд Келвин*ово прво одређење земљине еластичности, односно крутости, које почива на таласима дугих периода, може се сматрати као прва апроксимација, према којој је степен земљине крутости већи или једнак крутости челика.

Шандлер је при одређењу земљине еластичности пошао од померања поларних висина. Он је на основу података одредио периоду померања поларних висина и упоредио је са теоретском периодом, коју је с помоћу Ајлеровог правила прорачунао за апсолутну крутост. При томе се показало, да је прва периода много дужа и према томе се разлика у времену мора приписати попустљивости тела, које се обрће око осовине. Ако би Земља била потпуно крута, њезин би пол око географског пола, т. ј. око непоремећеног положаја пола инерције, описивао малу елипсу са периодом од 305 дана (Ајлерова периода). У истини је, услед земљине еластичности, ексцентричност елипсе нешто повећана и периода је продужена на 427 дана.

Сасвим је са других гледишта пошао *Швајдар*. Он с једне стране узима као подлогу лорд Келвинов принцип, са много обилнијим материјалом, а с друге правилна колебања хоризонталне шеталице, која су проузрокована промењљивом привлачном снагом Месеца. На основу заплетених формула долази до закључка, да између камене коре и металног језгра треба да постоји пластичан међуслој, чиме хипотеза постаје много јаснија. Ефективна крутост земљина се при обема претпоставкама подудара и у оба случаја показује вредност $6{,}09 \times 10^{11}$ CGS, док је *Шандлер* дошао до много већег броја, т. ј. $11{,}68 \times 10^{11}$ CGS. Према томе, земљино тело није ополико круто колико се претпостављало и с тога је Шандлерова периода са 427 дана повећана на 432·8 дана.

Пошто Земља има известан степен еластичности, која одговара еластичности (односно крутости) челика, требала би да показује периоде плиме и осеке, које се појављују на свима морима, као последице привлачне снаге Месеца и Сунца. Али је еластичност воде кудикамо већа од еластичности челика и с тога Земља може имати минималну плиму и осеку.

---

[1]) в. стр. 169.

[2]) *W. Schweydar, Ein Beitrag zur Bestimmung des Starrheitskoeffizienten der Erde.* Beitr. z. Geophysik. 1907. Bd. XI. Heft. 1., стр. 41—77. — *W. Schweydar, Die Bewegung der Drehachse der elastischen Erde im Erdkörper und im Raume.* Astron. Nachr. Kiel. № 4855. Bd. 203. 1916., стр. 101—116.

Овом питању се у науци почела обраћати пажња већ скоро пре једног столећа, нарочито од 1872 године, када су вршили испитивања *Целнер*, *Лорд Келвин*, *Ц.* и *Х. Дарвин*, *Волф*, *Ребеур-Пашвиц* и други[1]), али је тек 1907 год. проблем плиме и осеке у земљиној кори решио професор *Хекер* у Потсдаму, на основу нове конструкције инструмента са две хоризонталне сказаљке, које су биле усправне једна на другу и симетрично оријентиране према меридијану. Њима су установљене две правоугаоне компоненте померања у односу према вертикали.[2]) Да би се сви споредни утицаји отклонили инструмент је био постављен у подруму (у 25 м. дубине), где су температуре (11·7°C) и влажност (100%) биле сталне у току целе године. Проматрања су трајала пуних 29 месеца од 1.XII.1902 до 30.IV.1905, сређивана су, проучавана и пренесена у графички приказ, затим је проматрање понова настављено до јула 1907, ради контроле.

Пре свега се показао соларан утицај при загревању земљине површине са периодом од 24 часа, али поред њега и осцилација од 12 часова, која зависи од сунчеве и месечеве привлачне снаге. И овде се видело да Месец има јачи привлачан утицај од Сунца, у односу 1 : 0.4. Апарати нарочито истичу месечеве плиме и осеке, чија амплитуда износи 0.006″ (6 хиљадитих делова лучног секунда), а периода одговара половини месечевог дана. Талас створен сунчевом привлачном снагом много је слабији и одговара половини сунчевог дана. Заједничким деловањем Сунца и Месеца стварају се два дневна таласа у земљиној кори и земљиште испод наших ногу се двапут дневно наизменично спушта и диже са разликом до 20 центиметара.

Неједнакости теже на Земљи и изостазија. — Код посматрања земљиног облика је упозорено, да се мишљење, по коме је земљино тело спљоштен сфероид, све више учвршћивало и да је данас постало сигурност. Много је теже примљено гледиште да земљин облик представља стање равнотеже, које почива нарочито на односу између гравитацијоне и центрифугалне снаге, т. ј. снагâ, које скоро на свима местима земљине површине показују супротне компоненте. Тек новијим испитивањима је доказано, да одступања од хидростатичке слојевитости у најгорњим деловима земљине коре, или, другим речима, неједнаке поделе копна и мора, утичу на облик земљиног тела као целине и мењају сфероид у геоид.

Ти докази су добијени мерењима теже на разним географским ширинама и дужинама. О неједнакостима теже изнесено је неколико по-

---

[1]) *Ch. Lallemand, Les marées de l'écorce terrestre.* Extr. du Bull. de la Soc. Astron. de France. Décembre 1909.

[2]) *O. Hecker, Beobachtungen an Horizontalpendeln über die Deformationen des Erdkörpers unter dem Einfluss von Sonne und Mond.*, Berlin, 1907.

датака у математичној географији.[1]) Тамо је указано да се прорачунате и редуциране нормалне теже на појединим местима не слажу са фактичним одређењима, него да се у највећем броју случајева јављају мања или већа одступања од нормале. Ако је на неком месту опажена вредност теже већа, него што одговара теорији, мора да је земљина кора под њиме састављена из гушћег материјала, т. ј. мора да је под земљином површином сувишак маса. Ако би се тежа мерила на планинском врху, морала би — због видљиве нагомиланости маса — убрзавати клатење шеталице и редукцијом на морски ниво бити већа од нормале. Али се у већини случајева то не догађа; тежа је најчешће приближно нормална и иста као на равници. Да би се то могло протумачити, мора се поћи од претпоставке, да је привидан сувишак планинске масе изравнат (или компензиран) растреситошћу материјала испод планине.

То мишљење је изнео *Прат* око половине прошлог столећа на основу мерења теже у Индији.[2]) На највишој станици у Хималајама, на висини од 4700 м., показало се, да њихова маса нема никакав утицај на трајање шеталициног клатења. Тежа је била приближно нормална и према томе би требало да је под планином мањак маса од 4000 метара дебљине; чак и на висоравнима у унутрашњости Индије осећа се мањак од неколико стотина метара. Доцније је исто доказано за Алпе, Кавказ, Стеновите Планине у Северној Америци и т. д.[3]) У графичком приказу су аномалије теже изнесене у скици 133, на примеру за Северну Америку, и уцртане испрекиданом линијом (стр. 223).

С друге стране се на великим равницама и морима показује сувишак маса. На северозападном делу Панонског басена има велики вишак до 1000 метара дебљине, у централним деловима Јадранскога Мора вишак од 120 метара и више, а у Јонском и Тиренском Мору чак и 1500 метара. Али, ово су све мање-више регионални поремећаји теже. Важније је од тога питање, како се понашају цели континенти и океани.

Хелмерт је на основу теоретског размишљања дошао до закључка, да се исто оно, што се догађа на мањим пределима, показује и код континената, т. ј. као што су планине изравнате подземним мањком маса, тако су исто компензирани и континенти; иначе би тежа на континен-

---

[1]) в. поглавље *Земља као геоид*, стр. 47—50.

[2]) *J. H. Pratt, On the Attraction of the Himalaya Mountains.* — Phil. Transact. London. Vol. CXLV. 1855., стр. 53. и даље. — *J. H. Pratt, On the Deflection of the Plumb-line in India, caused by the Attraction of the Himalaya Mountains.* Phil. Transact. Vol. CXLIX. 1859., стр. 747 и даље.

[3]) Врло јасно, детаљно и на научној основи су изнесене ове везе у расправи *Albert Heim: Die Beziehungen zwischen den Schwereabweichungen und dem Aufbau der Alpen.* Geolog. Nachlese № 24. 1915. — реф. у Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin 1916. № 1., стр. 52-54.

тима морала бити много већа, него на океанима. Да би се тај назор могао потврдити, требало је мерити тежу на океанским пучинама. Али у томе се налазе велике тешкоће, јер се лађе непрестано љуљају и знатно утичу на шеталицу. С тога се морао тражити други начин.

Познато је да барометар са живом подлежи утицају теже, док је термо-барометар независан од ње.[1]) *Мон* је у Норвешкој методом истовремених посматрања ваздушног притиска на термобарометру и барометру са живом извео разлике у тежи, а величином разлике на оба инструмента могао је прорачунати њезину фактичну вредност.[2]) *Хекер* је исту методу побољшао да би могао одређивати тежу и при љуљању лађе. Али у том случају термометри морају бити толико осетљиви да температуру врења воде могу до 0.001°C тачно показати.[3]) Још теже је удесити барометар, да би се елиминирао утицај љуљања и да би се вредност ваздушног притиска могла тачно одредити. Како је средња грешка при одређењу ваздушног притиска требала да буде мања од 0.01 милиметра, морала се висина живе у цеви одредити фотографски.

Хекер је вршио мерења на Атлантику, Индику и Пацифику и доказао је, да је код редуцираних вредности тежа на океанима иста онолика као на континентима.[4]) У том је случају привидан мањак маса на океанима подземно изравнат гушћим масама испод њих, а привидан вишак маса на континентима мање густим масама у дубини. Међутим се у пракси показало, да је тежа при обалама нешто већа од нормалне. То је *Шиец* извео на основу научних резултата Нанзенове поларне експедиције и теоретским је путем дошао до закључка, да се позитиван поремећај теже донекле протеже и на континенталну површ, дакле у плитко море. На већем удаљењу од обале тежа почне опадати, спадне испод нормале и при крају континенталног одсека достигне минимум. Према пучини се тежа понова повећава и најпосле добије нормалну вредност. *Хекер*ова испитивања су потпуно потврдила *Шиец*ов назор и с тога се са више сигурности може рећи, да се земљина површина, с погледом на тежу, може поделити на четири различите области:

---

[1]) в. *Методе за одређење висина*, стр. 82—86.

[2]) *H. Mohn, Das Hypsometer als Luftdruckmesser und seine Anwendung zur Bestimmung der Schwerekorrektion.* Videnskabsselskabets Skrifter. I. Math. - naturw. Kl. 1899. № 2. Christiania. — реф у Meteorol. Zeitschr. 1899., стр. 333—335. — и *H. Mohn, Einige Bemerkungen über die Schwerekorrektionen der Barometerhöhen.* Meteorologische Zeitschrift. 1901., стр. 49—53.

[3]) *O. Hecker, Der Aufbau der Erdkruste in mathematisch - physikalischer Hinsicht.* Geographische Zeitschift. 14. Jahrg. 1908., стр. 13 - 20.

[4]) *O. Hecker, Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Grossen Ozean und erdmagnetische Messungen.* Berlin 1908. Zentralbureau der internationalen Erdmessung. Neue Folge der Veröffentlichungen № 16.

1. унутрашњост копна : тежа нормална
2. обале и приморја : тежа преко нормале
3. континенталан одсек : тежа испод нормале
4. дубоко море : тежа нормална

Од великог је значаја питање из којих се узрока на једним пределима показује мањак, а на другима вишак маса? То је вероватна последица пренашања континенталних маса, т. ј. непрекидног процеса денудације у једним пределима, и сталног процеса акумулације у другима.

Ти процеси, при свој својој спорости и незнатности, морају на неки начин утицати на земљину унутрашњост, јер се са предела денудације масе снашају и оптерећење се смањује, док се у пределе акумулације масе непрестано нагомилавају и оптерећење се повећава. Другим речима, у првим је пределима земљина површинска кора олакшана и мање густа, а у другим је, због нагомилавања, гушћа. Тим начином се у земљиној кори показује стална тежња за успостављањем хидростатичке равнотеже или, по *Датновом* називу, *изостазије*. Пошто динамична снага земљине ротације показује једноставну правилност, према којој се — са практичног гледишта — сме сматрати као константна, може се говорити о статичкој равнотежи земљиног тела. Оно се, при мањим мењањима облика, може прилагодити свакој промени статичког оптерећења тако, да се и изостазија може сматрати као специјалан случај општег стања земљине равнотеже.[1])

Скица 133.

Да би се добио једноставан појам о изостазији може се без веће грешке узети да је Земља округла и да је око њезиног средишта већи број идеалних концентричних кугала на једнаким удаљењима. Оне, према томе, представљају нивоске површине. Ако се прво посмотри нивоска површина са 10 километара дужим полупречником од R (= 6370 км.), на њу не би утицала никаква маса осим ваздушног притиска, јер се највиши планински врх не диже до те висине. Ако се полупречник скрати за 10 километара, на земљин средњи полупречник, тада би изнад те нивоске површине лежале врло различите масе. Веома би знатне масе биле у пределима високих планинских ланаца, а изнад океанских пучина не би их уопште било. При поновном скраћивању земљиног полупречника за 10 километара добила би се нова нивоска површина. И на њој би лежале врло различите масе, јер се скоро до ње спушта океанско

[1]) *Otto Baschin, Das dynamische Gleichgewicht der Erdoberfläche.* Zeitschr. d. Ges. Erdkunde. Berlin. 1915. Heft. 10., стр. 634—639.

дно. Тада би испод планинских ланаца било још више стеновитих маса, а изнад океанског дна би лежао у главном водени слој. Међутим, густина воде, односно њен притисак на дотичну нивоску површину, није ни у пола велики као код стеновитих маса из којих је састављена површинска земљина кора. Ако би се земљин полупречник и даље смањивао у истим односима, исто би се тако смањивале и разлике у притисцима нехомогених маса и све би се више изједначавале.

Хефорд је покушао, да с помоћу померања виска на неколико стотина станица у Северној Америци прорачуна, у којој дубини настаје површина изједначења. Он је прво математичним путем одредио колико би висак до удаљења од 4 километра морао бити скренут под утицајем топографских неједнакости земљине површине, кад видљиви вишци и мањци маса не би били компензирани. Упоређењем са фактичним односима је видео, да висак при посматрањима никад није показивао толико велике вредности, колике би одговарале теоријским закључцима. То је била потврда изостатичког принципа, јер су очевидно површинске неравности, са неједнаком поделом маса, бар делом компензиране подземном поделом маса. Под претпоставком потпуне, а не делимичне компензације, одредио је, да површина изједначења лежи у 113·7 километара дубине[1]). Скоро до истог резултата је дошао и *Хелмерт*, служећи се једном другом методом[2]), и тим подударањем је принцип изостазије још већма потврђен. Али је врло карактеристично, да се за површину изједначења добијају знатно веће дубине чим се поставе мало друкчије претпоставке.

Скица 134.

Односи код изостазије су слични појавама код коцке леда у води. Густина воде је 1·0, а густина леда 0·9, с тога се лед диже изнад водене површине за десети део коцке испод воде. Маса целе ледне коцке *ABCD* једнака је маси растурене воде *EFCD* (скица 134.) и ако су им површине на разним нивоима, па с тога морају и притисци у нивоу *CD* бити такође исти. У томе је нивоу прејак притисак гушћих (водених) маса, који делује на ниже, промењен у снаге, које гоне на више специфички лакше (ледне) масе. Слични су односи владали и у земљиној унутрашњости за време свих геолошких пери-

---

[1]) *J. F. Hayford, The Figure of the Earth and Isostasy.* Unit. States Coast and Geodet. Survey. Washington. 1909. и *J. F. Hayford, Supplementary Investigation in 1909 on the Figure of the Earth and Isostasy.* ibid. 1910. — Опште погледе о изостазији износи *Col. Sir Sidney Burrard, A Brief Review of the Evidence upon which the Theory of Isostasy has been based.* The Georg. Journ., Vol. LVI. July 1920., стр. 47—59.

[2]) *R. F. Helmert, Die Tiefe der Ausgleichsfläche bei der Prattschen Hypothese.* — Sitzber. d. Akad. d. Wiss. Berlin. XLVIII. 1909., стр. 1192—1198.

ода, па владају и данас, јер успостављање изостатичких услова, који су у супротности са тектонским снагама, указује на нужно постојање једног слоја испод компензацијоне површине, у коме би прејак притисак тежих маса земљине коре, са тежњом деловања на ниже, био преобраћен испод лакших маса у снаге, које их гоне на више. *Барел* је у својој расправи о земљиној крутости назвао тај релативно пластичан, тегљив, и мекан, али не течан слој *астеносфером.*[1]) Он лежи између литосфере и барисфере, и прелазак из једне у другу је веома постепен.

Пошто су континенти и океани у главном потпуно компензирани, требала би астеносфера да лежи дубоко и да има знатну дебљину. Али се поремећајне масе у земљиној кори налазе скоро свугде у њеној горњој трећини и показују око 6 до 10 пута веће разлике у притиску, него максималне разлике у астеносфери. С тога се мора претпоставити, да компензација у земљиној кори није потпуна, нити равномерна, да испод ње не владају једнаки хидростатички притисци, и да је то узрок што је површина изједначења скоро у двострукој дубини, т. ј. око 244 до 254 километра. Од интереса су *Барел*ови закључци о чврстини (крутости) земљине коре у разним дубинама.

Ако је у дубини	0 км.	чврстина	100%		
биће „ „	20 „	„	400%		
„ „	25 „	„	500%	литосфера	
„ „	30 „	„	400%		
„ „	50 „	„	25%		
„ „	100 „	„	17%		
„ „	200 „	„	8%		
„ „	300 „	„	5%	астеносфера	
„ „	400 „	„	4%		

а у већим дубинама се чврстина вероватно повећава. Ови закључци су у толико важнији, што се *Барел* изрично ограђује, да се опште физичке особине површинских земљиних слојева пренесу на дубље слојеве без икаквих дубљих и озбиљних размишљања.

Али о потпуним компензацијама може се говорити само када су у питању врло велики простори, поједини копнени трупови или светске котлине као целине. Само те целине стоје у хидростатичкој равнотежи и оне потпуно одговарају појму изостазије. Локални или регионални предели издизања или спуштања земљине коре показују многобројне аномалије; они не стоје у хидростатичкој равнотежи и маса им у дубини још није компензирана.

Како се споро изједначују поремећаји хидростатичке равнотеже види се на примеру Скандинавије, која је знатно олакшана нестанком

[1]) *J. Barrel, The Strenght of the Earth Crust.* Journal of Geology. XXII. 1914. и XXIII. 1915.; реф. у Pet. Mitt. 1916., стр. 27—28.

ледних покривача. Тамо је за време глацијација ледни покривач премашао дебљину од једног километра; он се веома одавна отопио, али се скандинавска обала још и сада споро диже, ма да је од последње глацијације прошло много хиљада година. Толико споро се земљина кора повинује поремећајима хидростатичке равнотеже. Сличних аномалија има доста на континентима, али и у океанима. Тако се на пр. показало, да субмарине геоантиклинале и геосинклинале у Тихом Океану вероватно немају потпуну компензацију. У једној од најдубљих потолина у њему (потолина Тонге), са дубином преко 9000 метара, утврђен је велики мањак маса, док се на суседном гребену Тонге, са средњом дубином од 3000 метара показује велики позитиван поремећај теже. П посматрањем делте код реке Нигера је доказано, да земљина кора одржава на себи веома знатне терете, без наглог изостатичког изједначења.

Постанак океана. — Ако се погледа хипсографска курва земљине коре, скица 138, видеће се на први поглед да је један од најизразитијих њених црта т. зв. континенталан одсек. Он у главном одговара граничном делу између прáвог океанског дна и копнене површине и врло јасно показује како се океанске котлине од обала веома нагло удубљују. Свакако није могуће да су океани при своме постанку нашли готове котлине, у које се вода нагомилала. Ове се својим великим дубинама и удубљењем усред континенталних маса толико јасно истичу, да се о њиховом постанку мора дати објашњење. Из факата се види, да се дно океана спуштало у дубине, и да се површина земљине коре под океаном већма стегла него на околним копнима. Заиста су тектонски утицаји на океанским ивицама веома изразити и делом знатно утичу на облик океанских котлина, али се, при свем том, њихов постанак може протумачити и другим физичким снагама. То питање је покушао да реши *Траберт*, узимајући као основна факта прогресиван процес земљиног хлађења, њезино стезање и неједнакост температура на океанском дну и на истом нивоу у земљиној кори испод континената.[1])

Ако се узму на око океанске котлине, моћи ће се с помоћу изобата прорачунати, да им је средња дубина око 4400 метара. У тим дубинама температура воде спадне на 2^0 до 0^0C. На копну се, међутим, температуре са дубином повећавају, у односу од 3^0C за сваких 100 метара. Пошто је средња годишња температура копнене површине преко 10^0C, она би се до дубине од 4400 метара повећала до 140^0, и температурна разлика између исте дубине копна и океана била би око 140 C. Последица тих неједнакости ће бити, да ће топлотна струја испод океана

[1]) *Wilh. Trabert, Eine mögliche Ursache der Vertiefung der Meere.* — Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien. Mathem.-naturw. Kl. Bd. CXX. Abt. IIa., стр. 175 и т. д. — *Wilhelm Trabert, Lehrbuch der kosmischen Physik.* B. G. Teubner. Leipzig u. Berlin. 1911., стр. 561—567.

бити јача, него испод копна, јер према температури магме дно океана показује већу температурну разлику него копно на истом нивоу. То вреди за све случајеве, ма колика била температура земљине магме.

Величина топлотне струје испод океана није позната, али се може одредити с помоћу топлотне струје у унутрашњости копна: оно изда у току године око 55 грам-калорија на површину квадратног центиметра[1]), а температуран градијент (геотермички ступањ) је око 0.03°C за 1 метар дубине. Пошто је однос између топлотне струје у унутрашњости копна и температурног градијента 55 : 0.03, и пошто се може претпоставити, да је разлика између температурног градијента у копну и испод океана једнака температурној разлици, може се одредити и разлика у топлотној струји, према формули:

$$\frac{55}{0.03} \cdot \frac{140}{r} \text{ гр. кал.}$$

У тој формули је са *r* означен (у метрима) земљин полупречник од средишта до нивоа — 4400 метара. Према томе је $r = R - 4400 = 6365600$ м., а разлика у топлотној струји испод копна и океана 0.03665 гр.-кал. на годину и квадратан центиметар површине.

Пошто се Земља услед сталног издавања топлоте хлади, мора се истовремено и стезати, т. ј. полупречник јој се мора смањивати. Ако се линеаран коефицијент стезања, односно ширења, означи са α, тада би се, при снижавању земљине температуре за 1°C, полупречник смањио за вредност αr.[2]) Али је топлотна струја под океаном за напред одређену вредност већа и иста површина под њим се мора јаче стезати, него на истом нивоу под копном. То је разлог што ће подморски ниво показивати тежњу да се већма приближи земљином средишту, и то би могао бити вероватан узрок удубљивању океана.

Квантитативно се величина удубљивања може одредити овако: Висинска разлика између континенталне површине, са средњом висином од 825 метара, и дубоког океана, са средњом дубином од 4400 метара[3]), износи око 5200 метара. Да би се известан део земљине коре стезањем удубео за ту нивоску разлику, морала би средња температура удубљеног дела бити за t^0 нижа. Кад би се на тај начин објаснила висинска разлика од 5200 метара, свакојако би се добио однос, по коме је

$$5200 = \alpha r t$$

---

[1]) в. поглавље *Земљи и губитак топлоте*, стр. 214—216.

[2]) линеаран коефицијент ширења се код никла, гвожђа, злата, сребра, бакра мења од 0.000012 до 0.000019 (в. *Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie*, II. Band, 2. Abt., IX. umgearb. u. vermehrte Aufl. 1898, стр. 54—55.

Према томе се неће учинити велика грешка ако се узме, да је код Земље линеаран коефицијент ширења 0.00001. Тада ће бити $\alpha r = 63.66$ метара.

[3]) в. поглавље *Вертикална подела копна и мора*, стр. 242.

и којим би се могла одредити непозната вредност t. Она је у томе случају

$$t = 5200 : \alpha r = 81.7^0 C.$$

Закључак је, дакле, ово: да би се постанак океанских дубина протумачио неједнакостима у температурама, требала би да је температура испод океана око 82° нижа него испод копна, у истој дубини. То се доста добро слаже са вероватним односима, јер температурна разлика од 140° постоји само на нивоу — 4400 метара. Ако се од тога нивоа пође дубље температуре ће бивати све више. У дубини од 30 километара била би температура испод океана и копна иста, 910°. Али би средња температура у стубу испод копна, од — 4.4 до — 30 километара, била $[(140^0 + 910^0):2] = 525^0$, а у истом стубу испод океана $[(0^0 + 910^0):] = 455^0$. Температурна разлика између стуба под копном и под океаном била би 70°, а то доста приближно одговара горњој, теоретској вредности.

Из целог излагања излази: 1. да се у океанима показује тежња за сталним, даљим спуштањем, услед нижих температура на дну; 2. да се спуштање може објаснити већом топлотном струјом, која се по океанском дну излива; 3. да је тежња за спуштањем тим изразитија што се више воде нагомилава; и 4. да су свим горњим чиниоцима могле бити створене океанске котлине, које су оштро одељене од копнених површина.

Али се не сме сматрати, да су вредности, с помоћу којих се дошло до овог закључка, непромењиве. Кад су се океани стварали, губитак земљине топлоте био је вероватно већи, а тиме су се мењале вредности топлотне струје и температурног градијента. Разни делови земљиног тела неједнако су се хладили, те су неки делови садашњег копна негда могли бити под морем, а исто су тако неки делови садашњих океана могли у ранијим геолошким периодама бити копна. То се на већем делу Земље заиста и показује, али се уочава и то, да су се од зачетка јављале основне црте данашњих океана. Права дубока мора, без њихових ивичних делова, од вајкада су постојала као таква.

Постанак планина и вулкана. — До сада је говорено о спуштањима и удубљењима извесних делова земљине коре, која у главном настају под утицајима земљиног стезања. Међутим, ако је стезање неједнако, било услед неједнаке спроводљивости топлоте, било услед температурних разлика или због неједнаке чврстине слојева, последице би у свима случајевима биле исте: једни делови земљине површинске коре би, у односу према другима, тонули у дубине.

Али, због чврстог агрегатног стања спуштени делови земљине коре задржавају и даље исти простор. Они се спуштају усправно, осим ако се под утицајем хоризонталних снага не наборају и повећају земљину површину. *Хајм* је то показао на примерима за Јуру, Алпе и друге

планинске системе.[1]) Кад би се све планинске боре исправиле земљина би нивоска површина постала знатно већа. Тако он према разним профилима кроз Јуру указује, да би се удаљење двеју крајњих тачака на профилима продужило за 5000 до 5300 метара, кад би се све боре исправиле. Та разлика је мерило апсолутног стезања земљине коре и означава појас, који је употребљен за целокупно борање јурског планинског система. Релативно стезање или интензитет борања означује се односом између правог удаљења и удаљења пре планинског борања, и код Јуре је $^7/_{12}$ до $^4/_5$, или у средњој вредности $^2/_3$. Према томе је садашње удаљење око $^2/_3$ првобитног удаљења двеју крајњих тачака на јурским профилима. Код Северних Алпа је апсолутно стезање 33200 до 76200 метара, а интензитет борања $^{6}/_{13}$ до $^{4}/_{7}$, или у средњој вредности $^{1}/_{2}$.

Земљин обим је целокупним планинским борањима апсолутно смањен за 360 километара, т. ј. за 0.89% или деветстотинити део првобитног обима. Тиме је и земљин полупречник скраћен за 57 километара, јер је пре борања био 6427 километара. Док су се, дакле, планински системи издигли, истовремено се идеална нивоска земљина површина спустила за 57 километара и приближила се земљином средишту. Тај процес би, отприлике, одговарао трајању од 2500 милијона година.

Према овом назору борање земљине коре није самосталан процес; оно је последица земљиног општег хлађења и стезања, као и великих тоњења околних делова. То се јасно види на унутрашњим ивицама лучних планинских система, у Алпима и Карпатима, јер су на тим деловима постале велике депресије земљине коре. Може се према свему наведеном закључити, да и наборане планине постају истим узроцима, којима су образовани океани.

У случају да нема изостазије, на земљиној би се кори догађала само спуштања и, услед тангенцијалних притисака, борања. Изостазија је, међутим, узрок, што може бити истинских издизања маса на појединим деловима земљине коре, која су последица спуштања дна у океанима. Тај процес је приказан у скици 135.

Скица 135.

Ако се океанско дно спусти од нивоа AB до CD, остаће запремина расхлађеног, утонулог дела површинске коре CDEF непромењена, т. ј. биће ABCD = CDEF, али ће се дуж страна утонуле коре, у правцима CE и DF, појавити бочни притисци. Ако је простор ABCD испуњен водом, биће на пирамиди CDO притисак већи, него у истом нивоу пирамиде AHO или BGO. Изостазија ће бити узрок, што ће у оним дубинама, у

[1]) *Albert Heim, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung.* II. Bd. Basel 1878., стр. 210—215.

којима је земљина маса тегљива, дакле на странама EO и FO, бити делови масâ гурани под пирамиде AHO и BGO, и што ће се нивои AH и BG дотле издизати, док притисак пирамиде ABO, т. ј. ABCD + CDO, не буде једнак заједничком притиску пирамиде AHO + BGO. То ће се догодити када нивои AH и BG дођу у положај A_1H_1 и B_1G_1. Снажна издизања биће нарочито велика дуж линија AC и BD, јер су у њиховој близини тангенцијални притисци најјачи, и с тога се не треба чудити што су ивице океана већином опкољене планинама.

За вулканске се појаве већ одавна зна, да су нарочито честе дуж пацифичких обала, али да их има у дуж Индијског Океана, услед чега се раније претпостављало, да су битни предуслови вулкана раседи и близина воде. Али њих има исто тако и у другим пределима, дубоко у централним деловима континената, као и на океанским пучинама. Дугачак, меридијоналан низ африканских раседа, који се провлаче од Сирије преко Црвеног Мора до Нианса Језера, има дуж целог пружања вулкане. Дуж раседа код великих депресија увек се испољава нека снага, која издиже околне масе, и баш на тој прелазној линији настаје олакшање притиска на усијано земљино језгро. С тога је на тима местима вулканским лавама најлакши пут да доспу до земљине површине. Али се ипак не може рећи, да су раседи једини услов за постанак вулкана.

Заиста је веома значајно, да се највећи део активних вулкана налази у тропским пределима, између оба повратника. То свакако није случајна појава, и доста је вероватна могућност да стварање вулкана и њихових ерупција зависи и од померања земљине осовине у њеном телу, т. ј. услед опште тежње за успостављањем равнотеже. То мишљење нарочито заступа *Шнајдер.*[1]) Утицај померања земљине осовине биће свакако најјачи на земљином испупченом делу, где је ротацијона брзина највећа, а то је случај у тропима. По *Шнајдеру* су вулканске појаве последице поремећаја у земљиној кори, који су изазвати померањем земљине ротацијоне осовине. Циљ вулканских ерупција је да произведен мањак теже, услед стварања планина, надокнаде материјалом из земљине унутрашњости и да га изједначе.

Подела копна и мора.

И ако подела копна и мора не спада у круг геофизичких питања ипак је згодно да се на овом месту изнесу главне чињенице.

Оком је немогуће видети целу површину земљине коре, јер је њен највећи део покривен воденим масама. У том случају представља границу између копнених и водених површина морска обала. Она је у својој битности обична нивоска линија, којом су оштро одељена копна од мор-

[1]) *Karl Schneider, Zur Geschichte und Theorie des Vulkanismus.* Prag 1908.

ских предела. Континенталне масе су највећим делом издигнуте изнад морске површине. само известан, релативно мали део лежи у депресијама, кадикад дубоко испод морског нивоа.

У почетку Новога Века преовлађивало је мишљење, да је копно знатно веће од мора. Још *Биаш*, у својој *Елементарној Географији*, 1772 године спомиње, да ће још толико копна бити откривено, док копнена површина не буде већа од морских. Истина, већ неки ранији географи из XVII. столећа претпостављају, да су морске површине веће, али је то доказано тек после *Кук*ових путовања по океанима од 1768 до 1780 год. Међутим однос између копнених и морских површина ни данас још није сигурно утврђен.

Највише се знање о односима у арктичној области повећало у пределима северно од Северне Америке, где је откривен велики архипелаг, скуп расутих острва по ограниченом делу Леденога Мора. Међутим, источно од острвâ Земље Франца Јосифа, која се пружају и северније од 82° сев. шир., није откривено никакво веће острво, које би лежало северније од 78° сев. шир. У јужној поларној области је новим британским, немачким, белгијским и скандинавским научним експедицијама несумњиво доказано, да се око јужног пола шири веома пространо антарктичко копно. Обале су нарочито испитане јужно од Африке, Аустралије и Јужне Америке, те је тиме утврђено, да им крајњи делови допиру до изван јужног стожерника, на Вилкесовој Земљи до 64°20′ јуж. шир.

И ако су многобројне антарктичне експедиције приближно одредиле границе Антарктика, ипак ни та открића, као ни она на северној поларној области, нису дала дефинитивне резултате. Најпосле, и на самим континентима нису одређене тачне границе између копна и мора нарочито у мање испитаним пределима.

На северној полукугли још није тачније испитано око 3 до 4 милијона км², а на јужној око 14 милијона км², и по томе је од целе земљине површине мање-више познато 493 милијона км², или 97% целе површине, а још треба испитати 17 до 18 милијона км², што одговара величини Јужне Америке.

Упоредно са проучавањем хоризонталне поделе копна и мора, испитивана је и њихова вертикална подела. *Варениус* је 1650 год. указивао, да се уз стрме копнене обале налазе дубока мора, а уз обале континенталних равница плитка, благо нагнута мора. Тиме је изнесена прва чињеница о основном облику копна и океана. Али, док су општи облици копнене површине и њихове висине били већ раније прилично добро познати, о морфологији океанског дна веома се мало знало. Подстак модерном океанографском испитивању дао је у другој половини прошлог столећа *Томсн*[1]) и од тада су учестале велике научне експедиције за

[1]) *Sir Wyville Thomson, The Depth of the Sea.* London 1873.

испитивање океана тако, да данас има прилично тачних изобатских карата, с помоћу којих је добијен појам о општем облику океанског дна.

Хоризонтална подела копна и мора. — Ако се узму на око поједини земљини појасеви, видеће се да је на њима подела копна и мора врло различита. Показаће се, да на обе земљине полукугле превлађују морске површине, али да је на северној нагомилано много више копна, него на јужној. У приложеној таблици је изнесен преглед поделе по појасевима од 10° географских ширина.[1])

појас географске ширине	северна полукугла				јужна полукугла			
	копно		вода		копно		вода	
	у 1000 км²	у %	у 1000 км²	у %	у 1000 км²	у %	у 1000 км²	у %
0° до 10°	10107	22·8	33977	77·2	10422	23·6	33662	76·4
10° до 20°	11299	26·3	31479	73·7	9422	22·1	33356	77·9
20° до 30°	15057	37·6	25141	62·4	9333	23·1	30865	76·9
30° до 40°	15625	42·8	20780	57·2	4175	11·4	32230	88·6
40° до 50°	16501	52·4	14996	47·6	989	3·2	30508	96·8
50° до 60°	14495	56·9	11112	43·1	205	0·8	25402	99·2
60° до 70°	13574	71·8	5331	28·2	1783(?)	9·4(?)	17122(?)	90·6(?)
70° до 80°	3089	26·6	8505	73·4	8493(?)	72·7(?)	3101(?)	27·3(?)
80° до 90°	346(?)	8·9(?)	3561(?)	91·1(?)	3907(?)	100·0(?)	0(?)	0(?)
од 0° до 90°	100093	39·25	154882	60·75	48729	19·1	206246	80·9
цела Земља					148822	29·2	361128	70·8

Из ове таблице се могу извести следећи закључци:

1. на северној поларној калоти (од 70° до 90°) знатно превлађује море, а на јужној копно;

2. на појасу северне полукугле од 70° до 40° превлађује копно, али му процентуалан однос према екватору опада;

3. на појасу од 40° сев. шир. до 60° јуж. шир. и површина и процентуалан однос копна непрестано опада;

4. на појасу од 10° сев. шир. до 30° јуж. шир. процентуалан однос између копна и мора остаје скоро константан; средњи однос је 22.9 : 77.1.

Међутим, ако се погледа глобус моћи ће се лако видети, да је око извесног дела земљине површине нарочито нагомилано копно, а око антиподног дела вода. *Биаш* је први дао појам о т. зв. копненој и воденој полукугли, али услед тадашњег недовољног географског знања није успео да проблем правилно реши.

На први поглед изгледа да се место пола континенталне полукугле може лако одредити, али је оно скопчано са доста великим тешкоћама Тим питањем се нарочито бавило у прошлом столећу и пол је стављан

[1]) *Dr. Otto Krümmel, Handbuch der Ozeanographie.* Bd. I. у *Bibliothek Geographischer Handbücher* begründet von *Friedrich Ratzel.* Stuttgart 1907., стр. 13.

у Лондон, Париз, Амстердам, неки су га поставили на гринички меридијан, у Ла-Маншу, а други југозападно од Париза, што јасно указује на тешкоће. Најновије одређење захваљујемо *Бержеу*.[1]) По њему пол копнене полукугле лежи на малом атланском острвцу Dumet, око 17 километара југозападно од ушћа реке Вилен, на 47°24′42″ сев. шир. и 2°37′13″ зап. дуж. Гр. (скица 136.) Граничним кругом копнене полукугле обухваћена је цела Европа, Африка и Северна Америка, највећи део Азије и три

Скица 136. — Копнена земљина полукугла

Скица 137. — Водена земљина полукугла.

четвртине Јужне Америке. Карактеристично је да пол копнене полукугле лежи у близини двеју највећих светских вароши. Прва је Лондон, престоница државе са највећим бројем колонија, варош најживље трговине и саобраћаја, а друга је Париз, једно од најлепших и најзнаменитијих историјских места, варош велике културе, уметности и трговине.

На истој географској ширини јужне полукугле, на 177°22′47″ ист. дуж. Гр., источно од Новог Селанда, лежи пол водене полукугле (скица 137.). Граничним кругом ове полукугле обухваћена је од Јужне Америке једино Аргентина и Патагонија, затим Аустралија са свима острвима Јужног Кинеског Мора и јужног дела Тихог Океана, делови Индо-Кине, Кине и Јапана и цео Антарктик.

Однос између копна и мора на обема полукуглама је овакав:

на копненој полукугли					

Прва разлика између копнених и водених површина је у томе, што су океани у непрекидној вези, док су копнене површине одсечене једне од других. Два највећа континентална острва су Еуразија - Африка, са 55·5% целог копна и обе Америке са 26·1%. Та два огромна острва заузимају преко 80% целе копнене површине. Она су просечена једино вештачким каналима: Африка од Еуразије Суецким каналом, а Северна од Јужне Америке Панамским каналом. Два идућа највећа острва су Аустралија са 5·3% копна и хипотетичан Антарктик са 5·6%. Сва остала копна имају мање површине. Са већом површином од 100000 км² има свега 21 острво.

Велика и мала острва су веома измешана и разбацана, али се између њих и континената ипак показује нека тешња веза. Копно се, као што је познато, нагомилава према северним поларним ширинама. Оно је тамо просечено једно Гренландским Морем и Беринговим Мореузом, који је толико тесан, да се границе Старог и Новог Света виде слободним оком. Даље се види, да се и сва већа острва гомилају око великих континената, а нарочито око Еуразије. Два најудаљенија острва од континената су Нови Селанд, који је од Аустралије удаљен око 1700 километара и Мадагаскар, који је од Африке удаљен око 500 километара.

Карактеристична црта континената је да се према Југу сужавају. Они добијају облик купе, чија је осовина окренута Северу, а врхови се пружају ка Југу. Три главна континентална врха су јужни делови Јужне Америке, Африке и Аустралије. Али сличне облике имају и континентални делови северне полукугле: Северна Америка, Гренланд, Арабија, Предња Индија и т. д.

Три светска океана су спојена широким појасом око антарктичкога копна. Од 66° па до 40° јуж. шир. скоро цела земљина кора је покривена океаном. Одатле се он рачва и пружа се према Северу у три широка појаса. И океани се, исто као и копна, постепено сужавају, али су им врхови управљени према Северу. Али, док Индијски Океан нестаје већ на 25° сев. шир., Тихи се Океан пружа до 66° сев. шир. и овде се, преко Беринговог Мореуза, спаја са Поларним Морем. Једино је Атлантски Океан слободно везан са Поларним Морем, преко широког Гренландског Мора и Девисовог Мореуза.

Између општег облика континената и океана постоје, дакле, извесне сличности: први се сужавају према Југу, а други према Северу. Осим тога се показује још једна, врло карактеристична, заједничка црта: Сви велики континенти су у антиподалном положају према светским океанима. Тако је на пр. Антарктик на супротном делу од Поларног Мора, Еуразија-Африка су у антиподалном положају према Јужном и Централном Пацифику, Јужна Америка према северозападном делу Пацифика, Северна Америка према Јужном Индику, и најпосле Аустралија—Нова Ги-

неја су на противној страни Северног Атлантика. То је *закон антипода*, који указује на потребу противних тежина око земљиног тежишта.[1])

На основу тих аналогија је у XVII. столећу покушавано, да се постави теорија о облику копнених облика. Али те сличности се мењају чим се промене морски ниво. Познато је, да морска површина није константна, и да мала померања морског нивоа дају друге облике границама између копна и мора. Већ изобата од — 200 м. даје копненом облику сасвим други изглед. Копна су у томе случају међусобно јаче повезана, свих плитких, трансгресијоних мора нестаје и копнена се површина повећава за 31 милијон км² или за 6% целе земљине површине.[2])

Да би се о величини копна и океана, и о њиховој разуђености добио јаснији појам изнеће се у бројевима њихове површине[3]).

Континенти	површине у милијонима км²				проценти		средње удаљење од обале у км.
	труп	полуострва	острва	целина	труп	удови	
Европа	6·52	2·70	0·79	10·01	65	35	340
Азија	33·54	7·94	2·70	44·18	76	24	780
Еуразија	40·06	10·64	3·49	54·19	74	26	—
Африка	29·20	—	0·62	29·82	98	2	670
Северна Америка	17·95	2·04	4·10	24·09	74·5	25·5	470
Јужна Америка	17·58	0·05	0·15	17·78	99	1	550
Аустралија	7·18	0·42	1·30	8·90	81	19	350

Општи резултат ове таблице може се свести на ово: копно северне полукугле, на којој је знатно више нагомилано, много је већма разуђено од копна јужне полукугле. Док је за два северна континента, Еуразију и Северну Америку, разуђеност 26%, за три јужна континента је само 4·5%. Однос је према томе 5·8 : 1, т. ј. северни континенти су око 6 пута разуђенији од јужних. Код средњег удаљења од обала су односи нешто друкчији. У главном је средње удаљење све веће што је већи континент; то се још изразитије показује, ако се узме само труп без удова. Ипак Јужна Америка има већу вредност од Северне Америке, ма да је ова по своме трупу нешто већа. Узрок те разлике је велика разуђеност и неправилнија обала Северне Америке, у односу према Јужној Америци.

Ако се простори, код којих је удаљење од обала мање од средњег удаљења означе као „блиски обали“, а остали као „удаљени“, добиће се за поједине континенте овај процентуалан однос:

---

[1]) *Émile Belot, L'origine des formes de la terre et des planètes.* Paris 1918., стр. 92—95.

[2]) Ако се површина копна (148·8 мил. км²) означи са 100%, копно је изобатом — 200 м. повећано за 20·8% или за $^1/_5$ целог садашњег копна.

[3]) *Hermann Wagner, Lehrbuch der Geographie. I. Band. Allgemeine Erdkunde.* IX. Auflage. Hannover u. Leipzig. 1912, стр. 289.

	блиски	удаљени
Европа	62%	38%
Азија	61	39
Северна Америка	58	42
Јужна Америка	56	44
Аустралија	55	45
Африка	53	47

Јасно је, да предели „блиски обали“ морају у сваком случају имати већу вредност од удаљених, али се врло јасно види, да ће прве вредности бивати све мање, што је процентуална вредност трупа већа. Тако на пр. код три јужна копна отпада на труп 95·5% и с тога је „блиско обали“ само 55%.

Код океана је много теже одређивање граница, јер се они од 40° јуж. шир. спајају. Морфолошки би било најлогичније да им се границе одреде подморским гребенима, који их деле, али је најједноставнији и најсигурнији начин да се ограниче меридијанима, који пролазе кроз јужне врхове јужних континената. На тај је начин Индијски Океан одељен од Тихог Океана меридијаном тасманијског Јужног Рта (South Cap), т. ј. 147° ист. дуж. Гр., а од Атлантског Океана меридијаном африканског Рта Игле (Cap Agulhas), односно 20° ист. дуж. Гр., док је Атлантски Океан одељен од Тихог Океана Хорновим Ртом (Cap Hoorn) у Јужној Америци, на меридијану 67° зап. дуж. Гр. Осим тога су Тихи и Атлантски Океан и на северној полукугли у међусобној, али посредној вези, јер се између њих шири Поларно и Берингово Море. При томе је Тихи Океан морфолошки ограничен Алеутским Острвима, а Атлантски Гренландом, Исландом и Фер Еерима. За океане, ивична и споредна мора (без Каспијског Мора и Аралског Језера) изнесене су површине, дубине и разуђеност[1]) у таблици на стр. 237.

Из ове се таблице пре свега види, да је Тихи Океан исто онолико велики као оба друга заједно. Даље се види, да процентуално највише споредних мора има Атлантлик, а најмање Индик. Ако се целине означе са 100% тада отпада на удове или споредна и ивична мора Атлантика 9·62%, Пацифика 7·96%, а Индика тек 1·97%. Осим тога сви океани имају знатно веће средње дубине од споредних и ивичних мора, али је разуђеност код споредних мора већа, него код слободних океана. Разуђеност G у овом случају показује за колико је стотинитих делова истинита дужина границе u већа од обима круга, односно калоте v, која има исту површину, и може се изразити формулом

$$G = 100 \frac{u - v}{u}$$

[1]) *O. Krümmel, l. c.*, стр. 144. и 32. — Средње дубине целих океана прорачунао је Мајнардус; в. *W. Meinardus, O Krümmels Handbuch der Ozeanographie.* Geogr. Zeitschr. 1912., стр. 36.

Из таблице се види, да је највећма разуђено Европско Средиземно Море, Источно Море и Црвено Море, а код осталих је разуђеност већином мања од 50. Напослетку треба споменути, да на труп Атлантика отпада 81,507 мил. км², а остатак од 14,352 мил. км² на Поларно Море.

Океани и Мора	површина у мил. км²	средња дубина у м.	највећа дубина у м.	разуђеност
труп				
Атлантик са Поларним Морем	95.859	3450	8256	45.0
удови				
Британско Море	0.213	62	263	66.7
Северно „	0.572	95	665	39.4
Источно „	0.407	55	463	59.6
Евр. Средиз. „	2.967	1430	4400	77.0
Амер. „ „	4.585	2090	6269	41.7
Хедзонов Залив	1.223	128	202	52.1
Залив Св. Лоренса	0.219	128	572	54.8
цео Атлантик	**106.045**	**3260**		
труп				
Пацифик	165.799	4095	9780	31.8
удови				
Аустралијанско Море	8.125	1090	6505	51.8
Ист. Кинеско „	1.242	175	1100(?)	44.0
Јапанско „	1.044	1530	3575	41.1
Охотско „	1.507	1270	3370	45.4
Берингово „	2.275	1445	5700	31.2
Калифорнијски Залив	0.167	985	2904	43.5
цео Пацифик	**180.159**	**3860**		
труп				
Индик	73.442	3930	7000	38.1
удови				
Црвено Море	0.458	488	2249	56.1
Перзијански Залив	0.233	25	122	35.5
Андаманско Море	0.791	780	3156	30.9
цео Индик	**74.924**	**3860**		
Слободан Океан	**335.100**	**3870**	**9790**	**38.3**
Споредна Мора	**26.028**	**1190**	**6505**	**47.6**

Вертикална подела копна и мора. — Најновијим испитивањима, нарочито у кругу океанографије, омогућено је да се добије јаснији појам о вертикалној подели маса на Земљи и о степену одступања од идеалне морске површине. Познато је, да се површина земљине коре налази на врло неједнаким удаљењима од својег средишта. Највиши планински врх, Маунт Еверест, диже се до 8839·8 метара висине[1]), а најдубље по-

[1]) Према најновијим податцима енглеске експедиције у Хималаје Гаурисанкар је знатно нижи но што се раније мислило, тек 7144·3 метара, и доста је далеко на

знато место на дну Тихог Океана спуштено је до 9780 метара испод морског нивоа. Али, ако се пође од земљиног сфероидног облика, врх Маунт Евереста неће бити најудаљенија тачка од њезиног средишта, јер лежи на 27°59′23″ сев. шир., где је земљин полупречник доста краћи него око екваторијалних предела. С тога је најудаљенија тачка земљине површине од средишта врх Чимбораса, на 1°29′ јуж. шир., са висином од 6310 метара. То се може доказати ако се узме у обзир земљин полупречник за 28° и 1°30′ геогр. шир. и ако му се дода надморска висина ових двају врхова. Тада је Маунт Еверест на удаљењу 6372·733 + 8·840 = 6381·573 километара од земљиног средишта, а Чимборасо 6377·383 + 6·310 = 6383·693 километара.[1])

Подела висина и дубина на Земљи уцртана је у географским картама са линијама истих висина и дубина, т. ј. изохипсама и изобатама, а с помоћу њих су прорачунате површине појединих висинских и дубинских појасева на површини земљине коре. Однос између тих појасева изнесен је у приложеној таблици:[2])

Висински појасеви на копну			Дубински појасеви у океану		
Висине у метрима	површине		Дубине у метрима	површине	
	у мил. км²	у %		у мил. км²	у %
изнад 4000	2·7	0·5	од 0 до — 200	29·0	5·7
од 3000 до 4000	3·3	0·6	до — 200 до — 1000	13·0	2·5
од 2000 до 3000	10·0	2·0	до — 1000 до — 2000	19·0	3·7
од 1000 до 2000	24·0	4·7	до — 2000 до — 3000	36·0	7·1
од 500 до 1000	27·0	5·3	до — 3000 до — 4000	79·0	15·5
од 200 до 500	33·0	6·5	до — 4000 до — 5000	113·0	22·2
од 0 до 200	48·5	9·5	до — 5000 до — 6000	67·0	13·1
испод 0	0·5	0·1	до — 6000 до — 7000	3·7	0·7
			испод — 7000	1·3	0·3
Копно	149·0	29·2	Море	361·0	70·8

Из ове се таблице види, да је подела висинских појасева на копну сасвим друкчија од поделе дубинских појасева у океанима. Око 55% целог копна, а 16% целе земљине површине, отпада на висине од 0 до 500 метара, док је у океанима подела много саразмернија. У њима припада појасу од — 4000 до — 5000 метара само 31% целог океана или 22% целе земљине површине, док на појас од — 3000 до — 5000 метара долази 53% целог океана или 38% целе земљине површине.

југоистоку од највишега врха Маунт Евереста, који је раније сматран за Гаурисанкар; в. *The Geogr. Journ.* Vol. LIX. Febr. 1922. Map II. Preliminary Map of Mount Everest, Made by the Expedition of 1921.

[1]) *Ludvig Henkel, Der äusserste Punkt der Erdoberfläche.* Pet. Mitt. 1913. April, стр. 195 и *August v. Böhm, Der äusserste Punkt der Erdoberfläche.*, Ibid. 1913. Juli, стр. 23.

[2]) *Hermann Wagner*, l. c., стр. 279.

На континентима се јављају максималне позитивне вредности на појасу од 0 до 200 метара висине, са 9·5% земљине површине, а максималне негативне вредности у океанима отпадају на појас од 4600 до 4800 метара дубине, са 12·1% земљине површине. Од интереса је да се спомене, да дубине испод 4000 метара имају највеће пространство од 10° јуж. шир. до 20° сев. шир., док су дубине испод 5000 и 6000 метара најраспрострањеније у пределу између 10° до 40° сев. шир., т. ј. у субтропској зони, којој припадају и највећа издизања маса, односно највиши планински системи. Према томе изгледа, да су дислоцирајуће снаге земљине коре развиле на појасу од 10° до 40° сев. шир. највећу моћ свога деловања.

Осим тога треба указати и на то, да се на појасевима од по 10° геогр. шир. показују од 50° сев. шир. до 60° јуж. шир. сасвим једнолике средње дубине, између — 3800 до — 4120 метара, дакле у средњу руку око 4000 метара, и да, према томе, вода на појасу од 20° сев. до 20° јуж. шир. има запремину од 520 мил. км³. Пошто цела вода у океанима има запремину од 1330 мил. км³ отпада на овај појас око 4/10 целокупне океанске воде. Половина целокупне океанске воде лежи вероватно у појасу од 25° сев. до 25° јуж. шир., јер на појасу од 30° сев. до 30° јуж. шир. има запремину од 745 мил. км³ или 56% целокупне океанске воде. Тим закључцима се значај тропских мора показује у новој светлости. Да би се видело, колико огромна разлика постоји између њих и других делова океана треба истаћи, да на средиземна мора отпада око 3% целокупне океанске воде, или око 40 мил. км³, а на ивична мора тек 0·6% или 8 мил. км³ воде.

С помоћу карата са изохипсама и изобатама прорачуната је средња висина континената, као и средња дубина свих мора. За континенте је средња висина знатно повећана откако је откривен већи део антарктичког копна. *Мајнардус* је на основу ваздушних притисака у тим пределима прорачунао, да је средња висина Антарктика око 2000 метара,[1]) што се доста добро подудара са податцима *Шеклтонове* антарктичке експедиције, јер су се неки од чланова попели до висина од 3000 метара. Узимајући и те податке у рачун одређено је, да је средња висина целог копна око 825 метара. У океанима је средња дубина несравњено већа; она би одговарала нивоу — 3680 метара или, у округлом броју, дубини од 3700 метара испод морске површине.[2])

---

[1]) *W. Meinardus, Die mutmassliche mittlere Höhe des antarktischen Kontinentes.* Pet. Mitt. 1909., стр. 304. и 355.

[2]) При штампању сам примио расправу *Dr. Erwin Kossinna, Die Tiefen des Weltmeeres.* Veröffentl. des Inst. für Meereskunde. Neue Folge A. Geographisch-naturwiss. Reihe. Hf. 9., Berlin 1921. — Косина је на три разна начина одредио средњу дубину океана и добио скоро сасвим исте вредности, око 3794 метара; та вредност је око 100 метара већа од најбољих ранијих прорачунавања.

Ако се графички повежу све површине, које заузимају поједини висински и дубински појасеви, добиће се *хипсографска курва земљине коре*. У томе координатном систему су на апсциси унесене површине појединих висинских и дубинских појасева, а на ординати одговарајуће висине и дубине. На тај начин хипсографска курва даје шематску слику опште поделе маса на земљи (скица 138).

Према облику хипсографске курве могу се разликовати два јасно одељена дела земљине коре:

1. *континентална табла* од 8840 до — 200 метара, која обухвата све континенталне масе и сва плитка мора, — преплаву или трансгресију континенталне табле, и

2. *абисална област* од — 3000 до — 9780 метара, у којој леже благо нагнуто оксанско дно од — 3000 до — 5000 метара и дубоке, абисалне[1]) котлине и потолине испод — 5000 метара.

Скица 138.

На ивици благо нагнуте континенталне табле почиње стрм нагиб земљине коре, који граничи са ивицом благе абисалне области. То је област *континенталног одсека*, која је у главном ограничена изобатом од — 200 и — 3000 метара. У њој се океанско корито веома нагло удубљује; с тога је она релативно незнатна и узана, јер заузима тек 13·8% земљине површине.

Из хипсографске се курве јасно види, да морски ниво у истини не дели континенталне од чисто океанских делова. Показује се, да се континентална табла сасвим правилно спушта до — 200 метара. Кад би се континенти ограничили том нивоском линијом, они би били јаче повезани једни са другима и копно би добијало знатно заобљенији облик, што је већ раније споменуто.

Подножје континенталног одсека, које није много дубље од средњег нивоа земљине коре, обухвата скоро цело копно и одељује сва споредна

[3]) Према грчком ἄβυσσος = без дна; по томе *абисална* област означава бездан или амбис.

мора од океана тако, да котлине споредних мора представљају самостална удубљења у копненом трупу. То су *ингресијона мора*, чији су изразити типови Европско и Американско Средиземно Море. Ма колико да су ингресијона мора дубока, њихове средње дубине врло се ретко спуштају испод подножја континенталног одсека. Између њих и океанских котлина постоје већином подводни гребени копнених маса, који су морфолошке границе између континената и океана.

Ако се са тога гледишта посмотри подела копна и океана видело би се, да су сва копна опкољена водама, а сви океани копном. Тиме се однос између копненог трупа и океанских површина мења, јер када се копну са 149 милијона км² прирачунају транспресијона мора са 13 милијона км² и ингресијона мора са 50 милијона км² добија се за површину копненог трупа 212 милијона км², т. ј. 41·5% земљине површине, према 256 милијона км² океанских котлина, односно 50·2% земљине површине[1]). Осталих 42 милијона км² или 8·3% земљине површине отпада на континенталан одсек, чија је вредност у овом случају знатно смањена, јер је велики део пренесен на ингресијона мора.

Када би све копно било снесено, и испунило сва постојећа удубљења земљине коре, тада би се океанско дно повисило за 1300 метара и средња дубина океана ММ (скица 138) не би више била 3700 метара, него би се смањила на — 2400 метара. Тај ниво би означавао *средњу висину земљине коре*, КК. Али, ако би у исто време сва количина океанске воде остала иста, морски би се ниво попео за 200 метара и цело копно, односно земљина кора, било би покривено океаном, са дубином од 2600 метара.

Као закључак свих горњих излагања о хоризонталној и вертикалној подели маса добијају се следеће вредности, у којима су изнесени односи између најосновнијих облика на земљиној кори:

Копно 149 мил. км² = 29·2%
Океан 361 „ „ = 70·8%: споредна мора 50 мил. км² = 9·8%: плитко море 3·2% | конт. табла 34.9% | конт. труп 41·5%
конт. одсек 5·0%
дубоко море 1·6%
светски океан 311 мил. км² = 61·0%: плитко море 2·5%
конт. одсек 8·3%
дубоко море 50·2%

Ови односи су у скици 139. приказани графички. У њој је са КК означен средњи ниво земљине коре. Изнад њега се дижу земљине континенталне масе за 2400 + 825 = 3225 метара, или у средњу руку за 3220 метара. Али, пошто су сва споредна мора унесена у континенталан труп, средња дубина океана се повећава за 700 метара; према

[1]) *Wilhelm Trabert. Lehrbuch der kosmischen Physik.* B. G. Teubner, Leipzig und Berlin. 1911., стр. 279—281. — Овде су друкчије вредности него код Траберта, јер су унесени најновији податци о подели копна и мора.

томе је она — 4400 м. и лежи око 2000 метара дубље, испод средњег нивоа земљине коре. По томе се види, да је нивоска разлика између средње дубине океана и средње висине копна око 5200 метара, или у средњу руку 5000 метара.

Из приложене скице се могу извући ови општи закључци: 1. океани су веома оштро одељени од копна услед веома стрмог и уског континенталног одсека; 2. океани нису случајна удубљења у земљиној кори; 3. океанске котлине представљају изразиту физичку појаву и дају земљином изгледу најглавније црте.

Скица 139.

Резултати геолошких испитивања доводе заиста до закључака, да су данашњи предели океана и данашња континентална табла у главним потезима постојали и у ранијим геолошким периодама. Гдегод се на данашњем копну налазе трагови негдашњих мора, већином су то била континентална мора, која су са свих страна била ограничена копном. Осим тога, морски седименти, који су оголићени на деловима данашњег копна, показују разлике према седиментима на океанском дну. Први имају сличности са наслагама трансгресијоних мора, док је у абисалним областима океана најважнији седименат црвена глина, са 10% органских састојака.

ЗЕМЉОТРЕСИ

Раније је, на страни 207, споменуто, да се извесни закључци о стању земљине унутрашњости могу добити на основу земљотресних појава, а с друге је стране доказано, да су земљотреси у доста тесној вези са тектонским кретањима. Из тих и других разлога је у новије доба земљотресима обраћена већа пажња; њихово је проучавање узело научан карактер и *Сеисмологија*[1]) је постала засебан огранак Геофизике. Она се у главноме развија у два правца: *геолошко-географски* се претежно бави оним особинама земљотреса, које су приступачне људским чулима, док радови *физичко-математичног* правца почивају на инструменталним регистрирањима сеисмичких таласа. Данас има на свима деловима Земље доста много сеисмичких станица, којима је задатак да сабирају материјал, а на основу њега се изводе научни закључци.

---

[1]) *Сеисмологија* је наука о земљотресима, изведена од грчке речи σεισμός = потрес, којој је основа σείω = потресам, тресем.

Пре но што се пређе на тумачење појава треба дати појам о земљотресу. Познато је, да сваки јак удар на земљину површину изазива мањи или већи потрес, према јачини удара. Потреси се у томе случају показују као слабо таласање земљине површине, које се од места потреса шири на све стране и које је најјаче у тренутку удара, а затим постепено слаби, док не исчезне. То је најочевидније при проласку тешких камиона, јер се под њиховим теретом, односно ударима на земљину површину, затресе и цела кућа.

Ребеур-Пашвиц је почео од 1889 године да својим веома осетљивим инструментом са хоризонталном шеталицом врши систематска испитивања о гибању тла и при томе је дошао до изненађујућег закључка, да тле никад није у потпуном миру. Молекиларно кретање или еластично таласање је сталан процес на Земљи[1]).

Али обични удари, који се догоде *на* земљиној површини, немају никад већи значај, јер проузрокују врло незнатне и сасвим ограничене потресе, док су земљотреси они удари, који се догоде *у унутрашњости* земљине коре и према томе потреси, који су изазвани на природан, а не на вештачки начин. Они се увек осећају на доста великом простору, а кадикад и на целој Земљи. И при ударима у земљиној унутрашњости настају таласања, али се по својој природи битно разликују од највећег броја познатих таласа, а нарочито од водених таласа. *Поасон* је први доказао, да се поремећај равнотеже шири кроз еластичне медије у две врсте таласања. Услед промена у запремини настаје једна врста таласа, који се зову кондензацијони таласи или таласи згушњавања. Они су *лонгитудинални* или *уздужни*, и у правцу ширења осцилирајући таласи. Њима се придружују спорији *трансверзални* или *попречни таласи*, код којих је карактеристично, да се еластична премештања честица, т. зв. ударне деформације, догађају у правој линији, усправно на правац ширења, дуж паралелних страна, док се то код воде догађа у кружним линијама. Те две врсте познате су у науци као *таласи еластичности*.

Елементи земљотресног поља.[2]) Подземно место надражаја, односно дубина, у којој се догоди удар, и настане првобитан потрес, зове се *хипоцентар земљотреса*. Он је полазна тачка таласања и зраци удара се одатле шире на све стране. Пошто се удар никад не догоди у зем-

---

[1]) *E. Rebeur-Paschwitz, Über Horizontalpendelbeobachtungen in Wilhelmshaven.* Astron. Nachr. 1892. Bd. CXXX.

[2]) За изучавање земљотреса могу послужити ова дела: *John Milne, Seismology.* Internat. scient. series LXXXV. London 1898. — *Clarence Edward Dutton, Earthquakes in the Light of the New Seismology.* London, 1904. John Murray. — *August Sieberg, Handbuch der Erdbebenkunde,* Braunschweig 1904. — *William Herbert Hobbs, Earthquakes, an Introduction to Seimic Geology.* New York, 1907. D. Appleton & Co.; на немачки превео *J. Ruske,* Leipzig 1910. — *Comte de Montessus de Ballore, La science séismologique Les tremblements de Terre.* Paris, Armand Colin. 1907.

љином средишту, него најчешће у дубини од десетак километара, зрак удара ће најпре доспети до земљине површине на ономе месту, које је непосредно изнад хипоцентра, на истом земљином полупречнику; то место је названо *епицентар*. Али се у истини показује, да се потрес истовремено осети на већем простору око епицентра, који се може назвати *епицентрална област*. На том је простору разорно дејство земљотреса најјаче и најуочљивије, по чему се може закључити, да у њему нема само молекиларног кретања, него да настаје кретање већих пласа, т. зв. моларно кретање.

Моларног кретања има у целом простору, на коме је емерзијони угао мањи од 45°, а појам о величини тога простора добиће се с помоћу скице 140. У њој је E епицентар, P хипоцентар, са линијом $H_1 H'_1$ је означен хоризонт тачке E_1, а са линијом $H_2H'_2$ хоризонт тачке E_2. У томе случају су $\sphericalangle H'_1 E_1 P$ и $\sphericalangle H_2E_2P$ емерзијони углови ε, т. ј. углови под којима лежи раван хоризонта према сваком поједином зраку удара. Пошто је у скици $\sphericalangle H'_1E_1P = \sphericalangle H_2E_2P = 45^0$, биће површина моларног кретања ограничена тачкама E_1 и E_2.

Скица 140.

Из скице се види и то, да ће површина E_1E_2 или епицентрална област морати бити тим већа, што је дубљи хипоцентар, јер су тада тачке E_1 и E_2 размакнуте много даље. *Олдхам* је цео усек земљине коре E_1PE_2 назвао „језгро земљотреса“, будући се у њему догађа моларно кретање, а изван њега има једино молекиларног кретања.[1]) У случајевима, кад је хипоцентар веома дубоко, потрес се осети на целој Земљи и тада је *свешски земљотрес*.

Према границама епицентралне области могу се сви земљотреси поделити на две главне групе. Унутар граница лежи т. зв. *макросеисмичко поље*, т. ј. предео, на коме се земљотрес непосредно чулима осети, а изван њих је *микросеисмичко поље*, на коме се земљотреси могу тек посредно утврдити, с помоћу инструмената. Ипак су *макросеисми* и *микросеисми* у ствари једно и исто; разлика између њих је само у томе, што је посматрач у првом случају толико близу епицентра да земљотрес чулима осети, док је у другом случају толико удаљен да се само на инструментима може оцртати. Међутим *Џон Милн* макросеисме друкчије дефинира. По њему макросеисми или *велики земљотреси* узнемире целе континенте, а по гдекад и целу Земљу, и последице су изненадног убрзавања у процесу борања; праћени су раседима

[1]) *R. D. Oldham, Report on the Great Earthquake ot 12-th June 1897.* Mem. of the Geolog. Survey of India. Tome XXIX. 1889.

и моларним премештајима маса знатне величине. Код макросеисама није поремећена само земљина кора, него и хомогено језгро испод ње. Према томе он у макросеисмима истиче у главном величину простора, на коме се земљотрес осети.[1])

Ширење потреса. — На основу диаграма истих земљотреса, али са разних и неједнако удаљених станица, дошло се до важних закључака о њиховом ширењу (пропагацији). Пре свега је доказано, да се ширење извршеног деловања сеисмичке енергије догађа у облику таласа еластичности, који се јављају у две разнородне врсте.

Од хипоцентра се кроз земљину унутрашњост шире т. зв. *унутрашњи таласи*. У случају кад би земљина кора и језгро били хомогени, т. ј. кад би били истог састава, таласи би се на све стране ширили у концентричним кружним линијама, а зраци удара би имали праве линије. Међутим је *Шмит* доказао, да се то не би могло догађати ни при истом саставу земљине унутрашњости, јер би еластичност стена према дубини бивала све већа, услед повећаних притисака од горе[2]). Према томе, брзина ширења не може бити у свима дубинама једнака, јер су на разним удаљењима од земљиног средишта различите густине маса. Као последица променљиве еластичности унутрашњи таласи не описују кружне, него — вероватно — елипсоидне површине, које морају бити ексцентричне. С тога се и зраци удара не шире у правим линијама, јер због прираштаја еластичности са дубином подлежу непрекидном преламању и добијају криве облике. Зраци се, дакле, крећу оним путем где наилазе на најмањи отпор и којим за најкраће време доспу до земљине површине. Кривина им је таква, да су према земљином средишту испупчене, а према њезиној површини удубене. Курве, које зраци удара описују, зову се *брахистохроне*[3]) или линије најкраћих времена.

Скица 141.

За унутрашње таласе је карактеристично да највећим делом пролазе кроз земљино језгро или магму, а мање кроз саму земљину кору.

Сви ови појави су изнесени у скици 141. У њој је са *P* опет означен хипоцентар, а са *E* епицентар. На кружној земљиној површини унесена је степенска подела од епицентра (0^0) до антипода или анти-

[1]) *John Milne, Seismological Observations and Earth Physics.* — The Geogr. Journ, Vol. XXI. 1903., стр. 1—2.

[2]) *Aug. Schmidt, Wellenbewegung und Erdbeben.* Württemberger Jahresberichte 1888.

[3]) Од грчког βραχύς = кратак и χρόνος = време.

епицентра (180°), у размицима од 30°, док су изван ње удаљења у мегаметрима[1]). Према томе се зраци удара шире правцима P30°, P60° и т. д. Сви они су испупчени према земљином средишту, а једини прави зраци су PE, који се шири од хипоцента ка епицентру, и зрак P 180°, који полази из хипоцентра и, пролазећи кроз земљино средиште, долази до антиепицентра. Они су с тога прави, што на све концентричне нивое у земљиној унутрашњости падају усправно.

Пошто су унутрашњи таласи таласи еластичности јављаће се у обе врсте, т. ј. као лонгитудинални и као трансверзални. Али је доказано, да се први шире брже од других, и да по теорији одговарају односу $\sqrt{3}:1$. Брзина њиховог ширења може се одредити према времену, које прође док се зрак удара од епицентра (јер није сувише удаљен од хипоцентра) прошири до извесног удаљеног места, т. ј. док се земљотрес на томе месту инструментима осети. Лонгитудинални унутрашњи таласи се уопште зову први предзнаци, а трансверсални други предзнаци земљотреса. Питањем о брзини ширења унутрашњих таласа бавили су се *Милн* и *Бендорф* и добили су скоро исте резултате, с тога ће се изнети само Бендорфове вредности[2]). По њему ће при

епицентралном удаљењу	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	мегамет.
први предзнаци почети после	2,1	3,6	6,5	9,1	11,3	13,2	14,8	16,0	16,9	17,4	17,6	минута
други „ „ „	4,2	7,0	12,1	16,6	20,5	23,8	26,5	28,6	30,1	31,0	31,3	„

Једино зрак који се шири према антиепицентру креће се правом линијом и за 17,6 минута се на удаљењу од 12740 километара осете први предзнаци. Према томе се може одредити, да је брзина унутрашњег ширења код првих предзнака $[12740:(17{,}6\times 60)]=12{\cdot}06$ км сек., а код других $[12740:(31{,}3\times 60)]=6{\cdot}78$ км/сек. Те средње брзине су сигурно тачне, јер се зрак шири у правој линији, не подлежи скретању и представља максималну вредност. Средња брзина ширења биће код свих осталих брахистохрона сигурно мања, јер зраци удара не пролазе кроз средиште и подлеже јачем скретању. За њих ће се добити најмање вредности, ако им се средње брзине не прорачунају према дужини појединих брахистохрона, него према њиховим тетивама. Тако би на пр. за зрак P 90° дужина тетиве била 9 мегаметара, а брзина унутрашњег ширења $[9000:(13{,}2\times 60)]=11{\cdot}4$ км/сек. Али, пошто се он не шири тетивом, него кривом линијом P90°, биће ми истинска средња брзина ширења између 11·4 и 12·1 км/сек. Може се, дакле, приближно узети, да је средња брзина ширења код првих предзнака око 12 км/сек., а код других око 6·8 км сек.

Да се унутрашњи зраци у истини крећу кроз земљину унутрашњост може се доказати на овај начин. Ако би се ти таласи ширили по зем-

---

[1]) 1 мегаметар = 1000 километара.

[2]) *H. Benndorf, Über die Art der Fortpflanzung der Erdbeben im Erdinnern.* Mitteilungen der Erdbebenkommission d. Akad. d. Wiss. Wien. № XXIX. 1905.

љиној површини, од епицентра према антиепицентру, дошло би се до чудноватог закључка, да им је брзина ширења тим већа, што је веће епицентрално удаљење. То се може непосредно извести из горњих цифара, ако се разлике у епицентралним удаљењима поделе са временским разликама одговарајуће појаве првих, односно других предзнака. Тако се на пр. при епицентралном удаљењу 1 мегаметар први предзнаци осете после 2,1 минута или после 126 секунада; према томе би брзина ширења од епицентра до 1000 километара удаљења била 1000 : 126 = 7·9 км/сек. На тај би начин при

епицентралном удаљењу	0	—1	—2	—4	—6	—8	—10	12	—14	—16	—18	—20	мегамет.
брзина ширења код													
првих предзнака била	7·9	11·1	11·5	12·8	15·2	17·5	20·8	27·8	37·0	66·6	166·7	км/сек	
других „ „	4·0	6·0	6·5	7·4	8·5	10·1	12·3	15·9	22·2	37·0	111·1	„	

То се, међутим, противи физичким законима и много је вероватније да се ти таласи шире кроз земљину унутрашњост, јер су тада вредности за разна епицентрална удаљења прилично константне. То схватање је појачано и другим чињеницама, о којима ће се доцније говорити. Осим тога је *Бендорф* утврдио, да се брзина ширења код првих предзнака, т. ј. лонгитудалних таласа, у разним удаљењима од средишта мења, и да ће на зраку удара бити оваква:

удаљење од земљиног средишта

0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	0,975	1·0 R

права брзина ширења лонгитудалних таласа

15·7	15·7	15·7	15·7	15·7	15·3	14·5	12·7	11·3	11·1	11·0	10·3	8·8	5·5 км/сек.

Види се, дакле, да брзина ширења у земљиним средишним деловима има максимум и да се према површини непрестано смањује; отприлике на удаљењу 0,8 земљиног полупречника смањивање престане, да на удаљењу 0,95 R почне врло нагло опадање до земљине површине. Ипак је средња брзина ширења код унутрашњих лонгитудиналних таласа око 12 км/сек.

Унутрашњи таласи, као што је речено, доспу прво до епицентралне области; ту покажу највећу снагу и одатле почиње нов систем трансверзалних таласа, који се шире по земљиној површини. По томе су ови названи *површински таласи* и карактеристични су с тога, што им је брзина ширења скоро константна, али им се интензитет са удаљењем од епицентра постепено смањује. И њихова се брзина ширења мора прорачунати на исти начин као код унутрашњих таласа. Код њих се при

епицентралном удаљењу	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	мегамет.
осете таласи после		4·4	8·8	17·6	26·4	35·2	44·0	52·8	61·6	70·4	79·2	88·0	минута
и брзина ширења је		3·8	3·8	3·8	3·8	3·8	3·8	3·8	3·8	3·8	3·8	3·8	км/сек.

Али, код појединих случајева ће се видети, да је брзина ширења код површинских таласа на разним местима врло различита и да у знатној мери зависи од промена у саставу тла, од садржине воде, порозности

земљишта и т. д. *Мишел Леви* и *Фуке*[1]) су на основу испитивања у француским рудокопима дошли до ових закључака:

у чврстом граниту је брзина ширења	од 2450 до 3141	м/сек.
у чврстом пешчару	од 2000 до 2526	„
у пермском кречњаку	1190	„
у камбријском мрамору	646	„
у растреситом песку	300	„

Шематски облик и интензитет површинских таласа приказан је на површини круга, т. ј. земљине површине, у скици 141. Међутим физички карактер њихов још није сигурно одређен; може бити да су то истинска таласања површинске земљине коре или хоризонтална померања молекила у близини земљине површине. Једино је потпуно сигурно, да је облик површинских сеисмичких кретања друкчији, него у земљиној унутрашњости.

Инструменти. — Најглавније особине земљотреса могу се одредити само с помоћу нарочитих, веома осетљивих инструмената, који се зову *сеисмоскопи, сеисмометри, сеисмографи* и *клинографи.*

Старије сеисмографе су представљали плитки, округли судови, на чијим је ивицама било 8 или 16 плитких олучића, који су оријентирани у 8, односно 16 главних праваца. У суду је било толико живе, да се при најмањем потресу излила кроз један или више олучића. Према количини изливене живе, и положаја олучића, кроз које се излила, могла се са приличном вероватношћу одређивати јачина и правац ширења код сваког појединог земљотреса.

На неким су местима употребљаване вертикалне шеталице, са дужином до 2 метра и тегом од 100 килограма на врху. При сваком иоле јачем поремећају равнотеже шеталица почне да се клати, а свако се клатење може разложити у две компоненте, с помоћу двеју полуга, од којих једна означује правац С-Ј, а друга И-З. Поред њих је био намештен сеисмограф са котурима нагарављених трака хартије, која се са једног котура аутоматски одвијала, а на другом се увијала. Часовник је на хартији уписивао ударе минута, а врхови полуга њиховакретања.

Скица 142.

Али су инструменти са вертикалном шеталицом доста неосетљиви, услед великог трења. Много је осетљивији инструмент са хоризонталном шеталицом, на пр. *Милнове* конструкције, који изгледа овако: На врху учвршћеног статива *N* (скица 142) обешен је танак металан

[1]) *F. Fouqué, Les tremblements de terre.* Bibl. scient. contemporaire. Paris 1888., стр. 219.

кончић *ab*, који одржава хоризонталну шеталицу *cbd*. Она је удешена тако, да јој је дужи крак *bd* начињен од жице алиминијума, а краћи *bc* да је дебљи, и да свршава у оштром врху *c*, који се сасвим овлаш дотиче статива и није на њему учвршћен.

Цео иструмент лежи на узиданом чврстом стубу и да би се очувао од свих спољашњих утицаја затворен је у лимену кутију. Пошто је врх *c* тек у овлашном додиру са стативом, шеталица је толико осетљива, да би јој други крај, при нагибу земљишта за 0,2″ и њихању од 30 секунада, скренуо из нормалног положаја за 1 милиметар.

Код *P* је унесена светиљка, чија се светлост кроз огледало *M* прелама и одбија према тачци *d*, где кроз пробушену рупицу пада на омот фотографске хартије *Q*. Она се помоћу аутоматског часовника одмотава и замотава на калемима *k* и кад се шеталица креће на лево и на десно добија се на омоту хартије оцртан облик и величина кретања.

Од новијих, компликованијих иструмената могу се споменути *Вихертов* астатичан сеисмометар, *Виченшинијев* микросеисмометар за хоризонтална и вертикална кретања тла, *Шлитеов* клинограф и др., али овде није место да се о њима опширније говори.

Облик сеисмичких таласа и земљотресне фазе. — По инструменталним опажањима је доказано, да при земљотресима свака честица тла врши осцилаторно кретање у хоризонталном и вертикалном правцу. Амплитуда је при томе и код истог земљотреса веома променљива, а исто се може рећи и за трајање таласања. *Омори* је према јапанским податцима одредио, да је хоризонтално кретање много изразитије од вертикалног, и да је однос између првог и другог приближно као 3 : 1. Али то одређење је више емпириско и тек је *Шлитер*[1]) успео, да својим клинографом несумњиво докаже, како дугачки земљотресни таласи у истини имају нагибе као водени таласи, али да ни код великих земљотреса нагиб никада није већи од неколико стотинитих делова степенског секунда. Наравно да се то не сме уопштити, јер ће се доцније видети, да је у извесним случајевима и вертикална компонента врло изразита.

При разним удаљењима станица од епицентралне области шеталице на сеисмометрима показују различита кретања. У пределу где је земљотрес постао, у језгру земљотреса, појаве се истовремено са подземним ударом изразита велика кретања, али после кратког времена престану.

На диаграмима удаљених земљотреса, т. ј. код оних станица чије је епицентрално удаљење веће од 1000 километара, већином се показују доста константни односи. И ако неправилности у појединостима нису ретке, ипак се на сваком диаграму могу прилично јасно распознати и

---

[1]) *Wilhelm Schlüter, Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen.* Gerlands Beiträge zur Geophysik. Band V. Heft 1.2., 1901., стр. 314—360, Heft 3. 1902., стр. 401—466.

разликовати три, односно четири основна елемента: први и други предзнаци, главна фаза и завршна фаза.

Први осетни знаци потреса у земљином телу, који доспу до удаљених станица и осете се само на инструментима, зову се *предзнаци, прва фаза* или по енглеском *претходно дрхтање*. Амплитуда или висина тих таласа изражена је у микронима[1]), а периода, односно дужина је такође врло незнатна. Ова се изражава у времену и варира од 0·1 до 5 секунада. При почетку земљотреса вертикална компонента код таласа је много изразитија од хоризонталне, и код врло удаљених земљотреса може бити по неколико минута само вертикалног кретања, пре но што се опазе кретања у хоризонталном правцу. Предзнаци се могу поделити на два разнородна дела, на прве и друге предзнаке или на фазу I^1 и I^2. Први предзнаци су сићушна, оштра, ударима слична апериодска таласања са врло малим амплитудама и кратким периодама, док други предзнаци имају веће амплитуде и дуже периоде, али још увек задржавају доста оштар и ударима сличан карактер; осим тога се шире много спорије. Они су у теоретском примеру, по *Омориј*у, изнесени у скици 143.

Код претходног дрхтања је карактеристично, да траје тим дуже, што је веће епицентрално удаљење станице посматрања, као што се види из ових података:

удаљење од епицентра у км.	70	3100	6100	8700	13 200
трајање предзнака у секундима	9	343	862	1210	1 890
однос трајања према удаљењу	0·13	0·11	0·14	0·14	0·14

Ове цифре доводе до новог закључка: да трајање прве фазе не зависи ни од трајања целог земљотреса, ни од његове јачине, него искључиво од епицентралног удаљења. Осим тога, ове чињенице иду у прилог схватању, да се предзнаци земљотреса шире кроз земљину унутрашњост, јер је однос трајања према удаљењу константан, а то се потпуно слаже са физичким законима.

Кад зрак удара доспе из хипоцентра до епицентра одатле ће почети ширење самосталних низова таласа по земљиној површини, који изазивају осцилације т. зв *главног потреса*. Да се они заиста шире по земљиној површини пружа јасан доказ мало пре споменута чињеница, по којој се таласи главног потреса према предзнацима тим већма задоцњавају, што се површински таласи даље шире, т. ј. што долазе до већег епицентралног удаљења. Само се на тај начин може објаснити све дуже трајање предзнака, односно све веће задоцњавање појаве главног потреса.

Те осцилације се у диаграму појаве изненада и по величини знатно одступају од предзнака. Оне означују *активно деловање* земљотреса или *главну фазу* сеисмичких кретања, која се — према *Омориј*у — може по-

[1]) Микрон је хиљадити део милиметра и означава се са μ.

делити на шест споредних фаза (скица 143. II^1, II^2 до II^6). Главна фаза је састављена из низа синусоидних, периодских таласања са релативно дугачким периодама. Оне су доста променљиве; варирају од 40 до 70 секунада, али се прво појаве дужи, па постепено све краћи таласи до периоде од 30 и 25 секунада, затим таласи са највећим амплитудама, али не и са најизразитим кретањем тла. По *Омориј*у је прва споредна фаза карактеризована малим бројем врло спорих осцилација, а донекле и друга има доста споре осцилације, док су у трећој фази главног поремећаја доста убрзане. Ако се код трансверзалних осцилација главне фазе појаве таласи већих и мањих дужина, требало би очекивати, да им је и брзина ширења различита, али су ипак у делу изразитих кретања осцилације једнаке и према њима се одређује брзина ширења. Према досадашњим податцима се може закључити, да је средња вредност брзине ширења код трансверзалних таласа главне фазе око 3·8 км/сек. На основу те вредности се може прорачунати, да ће се главна фаза проширити до епицентра за $20000^{км} : 3{\cdot}8$ км/сек. $= 1^h\ 27^m\ 43^s$, а преко целе Земље од епицентра па поново до њега за $40000 : 3{\cdot}8 = 2^h\ 55^m\ 26^s$.

Скица 143.

Код слабих су земљотреса амплитуде релативно мале, али се код разоравајућих потреса и оне, као и периоде, знатно повећају. У тим се случајевима у главној фази осети истинито издизање и спуштање већих пласа земљине коре.

Трајање главне фазе је променљиво, као и код предзнака; некада је, код блиских земљотреса, ограничено на неколико секунада, а кадикад на 30 минута и више. У Јапану главна фаза код блиских земљотреса најчешће траје мање од два минута, а врло ретко је дужа од 25 минута, док код удаљених земљотреса траје најчешће од 5 до 15 минута, затим од 15 до 25 минута, па више од 25 минута, и тек онда мање од 5 минута.

Напослетку треба споменути, да брзина ширења код површинских таласа вероватно зависи и од епицентралног удаљења, јер су на пр. при земљотресу у Сињу, 2. јула 1898 године, на разним станицама прорачунате оволике брзине ширења [1]):

	епицентр. удаљење	брзина ширења
Падуа, Италија	420 км.	2,33 км сек.
Хоенхајм, Виртемберг . . .	816 „	2,35 „

[1]) *A. Faidiga, Das Erdbeben von Sinj.* Mitt. d. Erdbebenkomiss. d. k. Akad. d. Wiss. Wien. Neue Folge № 17. 1903.

	епицентр. удаљење	брзина ширења
Вилхелмсхафен, Олденбург	1265 км.	2,65 км/сек.
Кју, Енглеска	1339 „	3,05 „
Јурјев, Русија	1784 „	3,25 „

После главне фазе сеисмичке осцилације почну слабити; амплитуде се све већма смањују, али се још дуго осећају слаба, неизразита кретања. То је *завршна фаза* земљотреса, у којој се уздрмане пласе земљине коре умирују. При великим земљотресима ова фаза на удаљеним станицама траје веома дуго. И у њој *Омори* разликује три споредне фазе III^1, III^2, III^3, које нису много карактеристичне (в. скицу 143).

Као што је напред споменуто, при земљотресу у близини епицентра неће се показивати све фазе. На сеисмографу се сваки појединачан удар оцрта као такав; претходног дрхтања уопште нема, а и завршна фаза врло брзо престане. Све се сврши за 15 до 30 секунада. Код блиских земљотреса, са мањим епицентралним удаљењем од 1000 километара, појаве се пре главног удара само први предзнаци, сићушни таласићи са периодама од 1 до 6 секунада, затим непосредно дугачки таласи главног потреса, са просечним периодама од 10 секунада, и најпосле завршна фаза. При већим епицентралним удаљењима почну се оцртавати и други предзнаци, фазе бивају све изразитије и имају све дуже трајање.

Трајање земљотреса. — Трајање целог земљотреса веома је променљиво, као што је неједнако и трајање појединих фаза. У извесним случајевима цео се земљотрес сврши само са једним ударом, који не траје дуже од тренутка, али је довољан да нанесе огромну штету. Код знаменитог труса у Каракасу (Венецуела) 6. марта 1812 год. провинција и варош је опустошена са три удара, од којих је најдужи трајао 3 до 4 секунда. Ипак су такви случајеви доста ретки, јер најчешће главном удару следују неколико удара разне јачине, у мањим или већим размацима времена. Код београдског земљотреса 24. марта 1922 год. он се чулима осећао неколико секунада, па после првог удара други, али слабији. На апаратима је, међутим, осетно кретање трајало 6^m22^s и за то се време догодило 16 потреса неједнаке јачине. У даљих 4^m2^s бележени су завршни таласи и тада се главан потрес свршио. Код јапанских макросеисама трајање је много дуже; просечно се земљотрес осећа око 100 секунада, а екстремне вредности варирају од 10 до 570 секунада, односно од $^1/_6$ до $9^1/_2$ минута.

Микросеисмичко кретање код великих земљотреса наравно је много дуже, чему се не треба чудити, када се зна са колико се осетљивим инструментима бележе таласања земљиних честица. То је узрок што се код снажних трусова дрхтање на сеисмометрима осећа по неколико часова.

Треба нарочито истакнути, да је трајање истог земљотреса у епицентралној области знатно краће, него на удаљеним станицама, што се

може закључити и по ранијем излагању о трајању појединих фаза. *Ф. Сис* је изнео да су при разорном љубљанском земљотресу 14. априла 1895 год. потреси у централном делу трајали највише 10 секунада, док се на удаљењу од 600 километара осећао неколико часова [1]).

Изгледа, да трајање целог земљотреса стоји у вези са трајањем главне фазе. Ако је ова краћа од 5 минута цео ће земљотрес, са првом и завршном фазом, бити већином краћи од 30 минута, а ако је главна фаза дужа од 15 минута, биће и цело трајање око 60 минута. По томе би цео земљотрес трајао око пет пута дуже од трајања главне фазе.

Али се кадикад земљотреси продуже на дужи одсек времена; тада се у истом пределу јављају данима, недељама, чак и месецима, и слабији удари почесто се групишу око јачих. У тим се случајевима каже да су то *земљотресни ројеви*. За њих је карактеристично, да је број удара обрнуто пропорцијоналан протеклом времену од главног удара, т. ј. што је дуже протекло време, тим мања ће бити честина удара. Њихов број је кадикад огромно велики. Тако се на пр. на Хавајским Острвима у марту 1868 год. осетило преко 2000 јачих потреса, па и у доцнијим месецима, али све у мањем броју. Исто се тако после пустошећег земљотреса у јапанским провинцијама Овари и Мино од 28. октобра 1891 год. до краја месеца догодило још 720 удара, у новембру 1086 удара и у децембру 421. Доказано је осим тога, да ће број удара бити тим већи, што је јачи био главан потрес и што је мањи део земљине површине био уздрман.

При појединим јачим трусовима у Јапану и на Формози јављају се пре главног удара неколико претходних потреса, а кадикад и читав низ накнадних потреса неједнаке јачине. Постанак ових се своди на накнадне еластичне утицаје стеновите пласе, која се ослободила напона и не треба их мешати са ројевима. Они се могу продужавати десетинама година, али и код њих честина у доцнијим годинама све више опада. Предео, у коме се опазе накнадни удари, не мора се потпуно поклапати са епицентралном облашћу главног потреса, јер се епицентри накнадних удара чешће премештају на друга места, али ипак у области најјачег поремећаја равнотеже, што се догађало и приликом последњих земљотреса у Шумадији, марта 1922 год.

Снага земљотреса. — Да би се могла одредити снага код појединих земљотреса, или њихов интензитет, потребни су податци са сеисмограма, нарочито у случајевима микросеисмичких кретања. Код макросеисама се снага огледа на пукотинама, раседима, рушевинама и т. д., али се ни у том случају не добија апсолутна вредност интензитета. Она се може одредити тек онда, ако је познат главан узрок разорном дело-

[1]) *Franz Suess, Das Erbeben von Laibach am 14. April 1895.* — Jahrb. der geol. Reichsanstalt. Wien 1896. Band 46. Heft 3. и 4.

вању и сигурно се неће погрешити ако се узме да је тај фактор убрзавање у процесу кретања или акцелерација.

При одређењу јачине појединих земљотреса нарочито су меродавни дугачки таласи, а пошто најјаче механичко деловање настаје под утицајем хоризонталне компоненте може се за подлогу узети максималан износ хоризонталног интензитета. Величина акцелерације је изражена математичном формулом, у којој су непозвате вредности баш оне, које се непосредно налазе у сеисмограму сваког земљотреса. Ако се са a означи максимална амплитуда таласа у милиметрима, а са t периода у секундима, моћи ће се брзина кретања изразити као $v = \frac{2\pi a}{t}$ и по томе ће максимум акцелерације A за прву секунду бити:

$$A = \left(\frac{2\pi}{t}\right)^2 a = \frac{4\pi^2 a}{t^2} = 2\pi^2 \cdot \frac{2a}{t^2} = 19{\cdot}74\,\frac{2a}{t^2}$$

Ако је A мање од 17 мм/сек² земљотрес се неће чулно осетити, него само на инструментима и биће микросеисам, док је у свима осталим случајевима макросеисам. Примера ради могу се узети неколико јаких земљотреса, који су бележени на опсерваторији у Токију и за које је према горњој формули вредност v и A:

датум	2a =	t =	v =	A =
3. јуни 1892 г. . .	28·4 мм.	2·0 сек.	44·6 мм/сек.	140 мм сек.²
30. мај 1894 г. . . .	76·0 „	1·3 „	183·0 „	888 „
18. јануар 1895 г. .	41·0 „	0·9 „	143·0 „	997 „
20. фебруар 1897 г.	22·8 „	1·5 „	47·4 „	200 „

За одређење јачине има неколико различитих скала, али је у новије доба уопште примљена *Меркали - Канканиева аисолутна скала,* која је од свију најправилнија и којом су земљотреси карактеризовани величином акцелерације. Та скала изгледа овако:

степен	ознака земљотреса	акцелерација
I	микросеисмичан	< 2·5 мм/сек².
II	врло слаб	2·5 до 5 „
III	слаб	5 до 10 „
IV	умерен	10 до 25 „
V	доста снажан	25 до 50 „
VI	снажан	50 до 100 „
VII	врло снажан	100 до 250 „
VIII	разоран	250 до 500 „
IX	пустошећи	500 до 1000 „
X	уништавајући	1000 до 2500 „
XI	катастрофалан	2500 до 5000 „
XII	велика несрећа	5000 до 10000 „

Према овој скали би се први и четврти јапански земљотрес могли означити као врло снажни, а други и трећи као пустошећи.

Али, ако се земљотрес догоди на океанским пучинама, јачина му се неће моћи означити ни једном од оних скала, које вреде за копнене пределе. С тога је *Рудолф* поставио нарочиту скалу за океанске трусове, према величини њиховог утицаја на бродове, и његове су ознаке ове:

степен ознака

I. Врло слабо треперење, више шум, који се најчешће чује само испод палубе и могу га осетити само они, који су у нарочито згодном положају за опажање. Одговара III. степену горње скале.

II. Слабо треперење, необична трешња у броду, која је кадра да људство тргне из сна, нарочито ако је испод палубе. Одговара IV. степену горње скале.

III. Треперење у целом броду, као да се по палуби котурају велика бурад. Одговара IV. степену горње скале.

IV. Умерено јак потрес, као кад се сидро баца у дубоку воду и уже нагло одвија. Одговара IV. степену горње скале.

V. Доста јак потрес, као да је брод ударио на плићак, остењак и прешао преко њега, или се сударио са другим предметима (баркама, мањим лађама, поломљеном лађом). Одговара IV. степену горње скале.

VI. Јак потрес да покрене лаке, неучвршћене предмете (чаше, тањире, шоље и т. д.); крма се дрма овамо и онамо, а точак у руци крмара поиграва. Одговара V. степену горње скале.

VII. Доста јаки потреси услед удара; балвани пуцају и немогуће је да се на крову брода стоји усправно. Одговара VI. степену горње скале.

VIII. Врло јаки потреси, настали ударима. Катарке, лантине, једеци и сви предмети на крову се уздрмају, компас буде одбачен, термометар се сломије и т. д. Одговара VIII. степену горње скале.

IX. Изванредно јаки потреси. Брод буде одгурнут на страну, почне се љуљати, издиже се, успорава се у току или буде задржан. Одговара VIII. степену горње скале.

X. Разорно деловање. Људи на крову падају, топови искачу са лафета, саставци на крову попуцају, брод пропушта воду. Одговара IX. до XII. степену горње скале.

Код јаких земљотреса разоравање не зависи само од интензитета, него и од оријентације, положаја и грађе зграда, као и од састава земљишта на коме леже. Пре свега се сваким земљотресним таласом земљина површина деформира. Она се прво почне нагибати на једну страну,

затим се спушта, па се нагиба на другу страну, а онда се понова нагиње на прву страну и т. д. Ако је на томе терену какав чврст предмет, висока зграда, стуб, торањ, висок димњак и т. д., његова ће се брзина кретања повећавати са удаљењем од положаја равнотеже, т. ј. нивоске површине тла. С тога ће чврсти предмети, у тренутку прелаза од једног према другом нагибу, показати највећу тежњу да се и даље креће у правцу ранијег нагиба, према закону инерције. Замахна ће сила око врхова бити најјача и на горњим се деловима предмета створе пукотине; они се преломе и падну на земљину површину.

На оштећеност зграда у великој мери утиче састав подлоге. Доказало се, да је земљиште у сеисмичком погледу тим отпорније, што је чвршћи састав стена, а то се прилично подудара са њиховом геолошком старошћу. То се може објаснити тиме, што се у чврстим стенама истичу једино потреси, док се у растреситом земљишту упоредо догађају и клизања, стропоштавања и пренашања маса, под утицајем сеисмичких таласа. Нарочито је неотпоран растресит материјал, као што је већина младих, терцијерних, дилувијалних и алувијалних творевина, али је интересантно, да ће дебели слојеви шљунка деловати сеисмичким таласима насупрот, ублажаваће их и слабити. Исто су тако значајни односи издани, промочљивост тла ваздушним талозима, размекшавање стена наглим променама температура, мразом у пукотинама и т. д. Свакако ће пукотине, које су створене при утолегању растреситог тла, одговарати много мањем сеисмичком интензитету, него исте творевине у чврстим стенама.

Известан значај имају и топографске прилике, јер изгледа да уска планинска бїла, истакнути гребени и остењци могу бити много јаче потресени, него широке увале или пространи платои. Али много већу важност има начин подизања зграда, јер се увидело, да зграде са дубоким темељом и армираним бетоном могу да се одупру и врло јаким потресима, но још су отпорније дрвене куће, брвнаре и нарочито колибе од лаких, попустљивих и еластичних плетера, које су врло честе код урођеника у пределима честих земљотреса. Па ипак је цело једно насеље са плетерима сручено у провалију приликом јапанског земљотреса 1891 године, између места Нагоја и Тифу. Напослетку је и трајање земљотреса од важности за њихов утицај на зграде, јер ако при кратком трајању не би нанели никакву штету, могли би при дужем трајању да везе између најглавнијих делова конструкције знатно олабаве, па можда и да их униште.

Некоја посматрања иду у прилог мишљењу, да се интензитет земљотреса са дубином смањује, вероватно с тога, што притисак горњих слојева све више спречава велике осцилације. Тако се на пр. велики загребачки земљотрес 1880 год. јасно осећао у рударским окнима Виса (Wies), у Штајерској, до дубине од 30 метара, док се у дубинама од

60 до 120 метара уопште није осетио, а код скоро исто толико снажног љубљанског земљотреса 1895 год. интензитет се према посматрањима у рудницима (до 40 километара удаљења) на 200 метара дубине знатно смањио и у већим дубинама скоро исчезао.

За практичне сврхе је веома важно да се утврди, колики сеисмички интензитет имају поједини предели на Земљи; али, пошто су за то потребна бар 50-огодишња посматрања, што имају само неколике станице, то питање још није правилно решено. Оно је тим већма отежано, што ни конструкција кућа, ни материјал од кога су саграђене, ни природа земљишта нису свугде једнаке. Све то се мења од места до места. Ипак су *Рудолф* и *Сиртеш* указали, на који се начин интензитет макросеисама може одредити без личног утицаја посматрача[1]). Они истичу, како се приликом упоређења макросеисмичког интензитета, који је одређен према степену разоравања, са микросеисмичким ширењем земљотресних таласа испоставило, да се већи број разорних земљотреса осети до врло малих удаљења. Као доказ може послужити разоран земљотрес у Кечкемету, 8. јула 1911 године, који се на епицентралном удаљењу од 210 километара тако слабо оцртавао, да се поремећај једва могао уочити. То је разлог што се одређење макросеисмичког интензитета не може узети као основа за квалитативну карактеристику. Много ће се боље утврдити разлике у сеисмичкој активности, ако се као база постави удаљење до кога се микросеисмичко кретање сваког земљотреса осети. На тај начин као *велике земљотресе* означују оне, који се осете на великом или врло великом удаљењу, без обзира на њихово деловање у епицентралној области, а сви су остали поремећаји равнотеже у земљином телу *мали земљотреси*, ма били праћени и разорним деловањем. По томе се могу карактерисати и сви други земљотреси, који настају у пустим пределима или на океанском дну и за које се разорна акција не може одредити.

Сеисмичка дејства. — Приликом субмаринских трусова, који се осете на великом делу Земље, може се кадикад опазити да им следују истински поремећаји маса. Морско огледало се и при снажним потресима доста често бар чулно не узнемири. Само они, који се налазе у лађама и у близини епицентра, осете као да је лађа насела или ударила о стену. Кадикад се, међутим, после подморских земљотреса појаве огромни, т. зв. сеисмички плимски вали (у Јапану их зову *цунамис*), и цео се океан по неколико часова љуља. Они су највеличанственији, али и најсудбоноснији, и најчешће доспу до обала ако је епицентар у близини. Поремећај маса у тим случајевима мора без сумње настати испод океанског дна и почети сасвим изненадно, да би показао толико велико дејство. Наравно да се димензије покренутих пласа не могу непо-

[1]) *Dr. Emil Rudolph und Dr. Siegmund Szirtes, Zur Erklärung der geographischen Verteilung von Grossbeben.* Pet. Mitt. 1914. I. Halbband., стр. 130.

средно одредити, али се посредним путем може добити појам о величини поремећаја. Испитивања у епицентралним областима, која су инжењери после земљотреса вршили на кабловима, доказују, да се дубине океана знатно повећају на доста великом простору. Тако су између јуна 1895 и марта 1896 године дубине Тихог Океана изван ушћа реке Есмералдос, у екваторијалном делу Јужне Америке, поново премераване и показало се, да су се од 24 метра удубле до 370 метара и више. Исто се тако при трусу 1896 године код Филиатре, у Пелопонезу, дубина мора повећала за 350 метара.

Када се дејство земљотреса осети на обалама, може се износ спуштања или издизања непосредно одредити, а то је још чешћи случај код великих земљотреса на копну, где је поремећај видљив. Тим разним начинима се успело, да се одреди значај неколиких најјачих земљотреса од XVII столећа на даље, који се огледа у овим карактеристичним примерима:

1. У Дубровнику је 6. априла 1667 год. ујутро настао кратак, али толико снажан потрес, да се варош са Омблом, Лопудом и даљом околином претворила у рушевине. Од Дубровника су остала само утврђења, бедеми и известан број оштећених кућа. У рушевинама је затрпано око 5000 људи. При падању грађе настао је пожар, који је и остатак града уништио, а спаса није могло бити, јер су цистерне и студенци пресушили. Тако је и већи део оних, који су се спасли од прве погибије, пропао. Море се јако узбуркало, повукло се далеко од обала, површина му се спустила за два лакта, и после три дана се вратило у природне границе. Тај земљотрес се осетио дуж целе јадранске обале и учинио велике штете у Котору, Будви, Бару и неким другим местима.

2. При земљотресу на Јамаици 6. јуна 1692 год. обала Порт Роајала се спустила за 8 до 12 метара и потопљено је око 405 хектара земљишта. Све то се догодило за три минута. Делови града, који су били саграђени на чврстим, белим кречњацима, остали су при потресу нетакнути, док је остали део града, чије су куће подигнуте на песку, био толико уздрман, да су се зграде до темеља порушиле.

3. Приликом великог перуанског земљотреса 28. октобра 1746 године Лима је скоро сасвим разрушена и од 53000 становника тек незнатан део је спасао животе. Цела западна обала Јужне Америке има врло честе земљотресе и Лима је 15 пута била разорена.

4. Под сеисмичким ударима 1762 год. потонуло је 110 километара обале у пределу Читагонга, на североисточној обали Бенгалског Залива.

5. За време земљотреса у Лисабону, 1. новембра 1755 год., варош је разрушена, кеј се потопио, огроман сеисмичан плимски вал је преплавио обалу. Том приликом је затрпано и удављено више од 30000 душа.

6. У Калабрији и Северној Сицилији догодило се од 1600 године преко 20 великих, т. ј. катастрофалних земљотреса, при којима је увек било много материјалних и људских жртава. Од њих је нарочито познат потрес, који је настао 5. фебруара 1783 год., а поновни удари су трајали у целом фебруару и марту. Тада је цела Месина разорена, упропашћено неколико стотина насеља и погинуло око 100000 становника; она је и при неколико доцнијих земљотреса врло много страдала.

7. 1790 године, при потресима у пределу Каракаса, у Венецуели, известан је део земљишта потонуо и образовало се језеро са пречником од 730 метара и појединачним дубинама до 30 метара.

8. При деструктивном земљотресу 4. фебруара 1797 године погинуло је под рушевинама вароши Квито, у републици Екуадор, око 40000 становника. Први удари у Риобамби (1°42′ ј. ш.) трајали су око 4 минута, потреси су се скоро без прекида обнављали, и идућег дана су имали приближно исту снагу као при почетку. Рojеви слабијих потреса су око Острва Малих Антила трајали још 8 месеца.

9. Приликом земљотреса у 1811 и 1812 години створена је западно од Новог Мадрида, близу Мисисипија, утолеглица са дужином око 130 до 150 километара и ширином од 55 километара, што одговара површини од 30000 км².

10. Јужно од ушћа Индуса преобраћено је у области Кача (Cutch) за време сеисмичких удара 1819 године око 5200 км² копна у језеро, а истовремено се велики део приморја на дужини око 93 километра и ширини око 29 километара издигао за 3 метра изнад морског нивоа.

11. У Чили су се у првој половини прошлог столећа догодила два разорна земљотреса са врло значајним последицама. Потрес се у 1822 год. проширио дуж обала до удаљења од 2200 километара. Обала се при томе издигла за 90 до 120 центиметара, а копно, око 2 километра дубље у унутрашњости, издигло се за 1·5 до 1·8 метара. Вероватно је издигнуто 180000 км² земљине површине. Ако се претпостави, да се просечно издигла за 90 центиметара, морало је око 270 км³ земљине коре сасвим изненадно променути свој положај. Слично се и скоро у истим размерима догодило и 1835 године. Исто су тако земљотреси у Чили 1868 и 1877 године пореметили цео Тихи Океан и сеисмички вали су се око јапанских обала дизали и спуштали пуних пет часова.

12. На Новом Селанду се при земљотресу 1855 год. око 850 км² земљине површине издигло за 0·3 до 2·7 метара изнад ранијег нивоа.

13. Катастрофалан земљотрес се догодио 20. октобра 1891 године у Јапану, где је нарочито оштетио провинцију Мино и Овари. При њему је за време од неколико секунада рушевинама затрпано 7280 људских живота, рањено је 17400, разорено 179350 зграда, а оштећено

78300 зграда. Утицај овог земљотреса на промене земљиних облика показаће се доцније.

14. У Асаму је приликом земљотреса 1897 год. поремећено 18500 км² земљишта; оно се просечно померило за 5 метара дуж равни удара. Накнадном је триангулацијом утврђено, да су се у хоризонталном правцу догодиле разлике од 1·2 до 7·3 метара, а у вертикалном од 0·6 до 4·2 метра. Тај предео је био знатно поремећен, и у ранијим односима извршена велика промена.

15. У вече 15. априла 1896 год., при тихом времену и веома ниској осеци, изненада се појавио на северозападној обали острва Хондо неколико метара висок сеисмички плимски вал. Он је у месту Каманши оборио и засуо песком и рушевинама све на шта је наишао или је собом однео у море. За пет минута је разрушено 7600 кућа, погинуло 27000 људи, а рањено око 50000. Осим 18 бродова и цунки[1]) била је и теретна лађа са товаром од 200 тона одбачена 450 метара дубоко на копно. Рибари су на морској пучини опазили како се талас ближи са заглушавајућим шумом, како је барке снажно издизао и спуштао, али им није нанео никакву штету.

Из ових се примера види, колико је разнолико и велико дејство јаких земљотреса. Извесни велики градови рушени су по неколико пута, али изгледа, да се ране катастрофалних земљотреса доста брзо залече. Доста су ретки случајеви, да преплашено и избезумљено становништво за увек напусти своје упропашћене домове, што се догодило са богатом вароши Антигуа, у Гватемали, после земљотреса од 29. јула 1773 год. Напротив је раније становништво најчешће намамљено на одважан ризик, да се понова окући на рушевинама, јер је код њега укорењено веровање да се разорни земљотреси догоде једанпут или двапут у столећу. Очигледни докази су Лима, Месина, Валпараизо, Сан Франциско и неки други градови. Наравно да при томе има велики значај навика, јер становништво у изразитим сеисмичним областима не обраћа пажњу лакшим потресима.

Величина и облик потресеног предела. — Сва горе описана дејства земљотреса догађају се само у епицентралној области, са изузетком сеисмичког плимског вала, а одатле интензитет на све стране опада. Ако се код одређеног земљотреса уцртају у географске карте линије истих интензитета, т. ј. ако се линијама ограниче површине исте јачине потреса, добиће се *изосеисте*. *Плеистосеиста*[2]) у тим случајевима ограничава простор најјачег чулног сеисмичког утицаја и означује се са 10; у њој треба тражити епицентар. Плеистосеиста већином има мање

[1]) *Цунк* је неспретна кинеска лађа са две катарке и два једра од рогозине.

[2]) Од грчког πλεῖστος = највише.

или више централан положај, а на њу се надовезују остале изосеисте, са све мањим јачинама. Њихов облик је врло ретко правилан, ма да се теоријски представља као кружан или елиптичан. Томе се не треба чудити када је познато, да ни земљина кора, ни њена површина није сасастављена из хомогеног материјала. Често су и врло мали предели састављени из врло различитих стена и неједнаке структуре.

У томе су погледу јапански и енглески геофизичари вршили експериментална испитивања и доказали, да је модулус[1]) еластичности стена, а према томе и брзина ширења сеисмичких таласа, уопште тим већи што старијој геолошкој формацији припадају. Палеозојске и мезозојске стене су скоро увек компактније, тврђе и чвршће повезане, него наслаг младих геолошких формација. Исто је тако доказано, да су влажни слојеви много еластичнији од сувих. То су важне основе за тачно решење питања о спровођењу сеисмичке енергије. Када се узме у обзир и ова чињеница, да је ширење сеисмичке енергије у правцу пружања слојева брже, него попречно на њих, биће потпуно јасно, зашто се потреси и на блиским местима почну јављати у неједнака времена.

Неједнакости се јављају и код величине потресеног предела, што се види из ових примера. При земљотресу 4. марта 1880 год. у Казамићиолиу, на Острву Искиа, он се чулно осетио само на томе острву и ближој околини, али не у Напуљу, који је око 30 километара даљи. Сасвим је друкчије било код великих земљотреса у Лисабону 1775 год., јер се проширио до Северне Африке, Скандинавије и Ческе. За љубљански земљотрес 1895 године познате су и површине појединих изосеиста, из којих се види, колико се површине слабијих интензитета повећају према површини плеистосеисте:

интензитет =	10	површина =	570	км²
„	9 и 8	„	8400	„
„	7 и 6	„	47000	„
„	5 и 4	„	97000	„
„	3	„	160000	„
„	2	„	400000	„

Површина највећма потресеног дела била је ограничена на 570 км², док је област, изван које се потрес није чулно осетио, обухватила простор од 400000 км², што одговара полупречнику од 357 км. Потреси су се поглавито ширили у правцу од Истока на Запад и главном потресу су претходили неколико удара, а после се осетио безброј накнадних потреса[2]).

За Јапан су односи о величини потресеног предела сигурније одређени, на основу дужих посматрања. У 40% од свих случајева полупречник

---

[1]) *Модулус* је ознака константног фактора или мултипликатора, који служи за везе између променљивих величина.

[2]) *Franz Suess*, l. c.

потресеног простора није већи од 50 до 100 километара, што одговара површини од 7850 до 31500 км². Много су ређи случајеви, да је полупречник 250 и 300 километара, т. ј. да је потресена површина 196000, односно 282700 км². Ипак се границе макросеисмичког поља не могу никад са довољно сигурности одредити, али изгледа да је код највећег познатог земљотреса у Источној Индији, 12. јуна 1897 год., било уздрмано око 4,000.000 км².

До много већих удаљења се осећају микросеисмичка кретања, па заузимају и много већу површину, која у извесним случајевима одговара земљиној површини. Тако се на пр. потрес, који је настао у Вернију (43°30′ с. ш., 76°48′ и. д.), руском Туркестану, осетио у Пулкови после 23 минута, а у Потсдаму после 26 минута. Исто се тако на оба места осетио и земљотрес 19. априла 1889 год., коме је епицентар био у Токију, а дужинска разлика између Токија и Потсдама је 127°.

С погледом на величину потресеног предела могло би се, са извесним ограничењима, рећи, да земљотреси са малом дубином хипоцентра могу имати врло велики интензитет, али су ограничени на мали простор, док ће у случају дубоких хипоцентара земљотрес имати незнатне последице, али ће потресен предео бити већи.

Честина земљотреса. — *Милн* је при својим испитивањима сеисмичких особина успео, да донекле утврди законску везу између интензитета и честине земљотреса. Он је на основу јапанских инструменталних диаграма закључио, да честина и средња јачина земљотреса у извесном пределу у главном имају исти смисао, и да би се главна пажња требала обратити честини. Али за то су потребне дугогодишње серије бележења, а таквих је станица врло мало. Ипак се из познате јачине може закључивати о честини, и обратно, чиме се у главним цртама омогућава упоређење главних сеисмичких особина у разним пределима.

Милн је с тога покушао, да према разним претпоставкама одреди средњи број годишњих трусова на Земљи[1]): 1. На основу сеисмичких података у Јапану закључује, да се годишње догоди око 1000 земљотреса, нарочито у близини обала. Од 1899 до 1901 године било је у Јапану 29 великих земљотреса, а у истом добу је на осталом делу Земље било 168 по величини сличних земљотреса. Ако је број слабијих потреса на ограниченом пределу пропорцијоналан броју великих земљотреса, могло би то вредити и за целу Земљу. Пошто се у Јапану годишње догоди 10 великих земљотреса и око 1000 мањих потреса, добио би се однос $10 : 1000 = 56 : x$, по коме би на земљи било бар 5600 земљотреса у току године. При томе не треба заборавити, да се многи земљотреси догоде на дну океана и не осете на копненим станицама. Њима би се че-

[1]) *John Milne,* l. c., стр. 19—20.

стина земљотреса у Јапану сигурно повећала за неколико пута, а пропорцијонално томе и честина на целој Земљи. Под претпоставком, да се честина повећа за 4, догодило би се 22400 земљотреса годишње.

2. Ако је број земљотреса у ограниченом пределу пропорцијоналан његовој површини, могао би се приближно прорачунати њихов број у свима осталим пределима. Средња честина на континентима изнесена је по податцима *Монтеси де Балора*, при односу површина узета је за јединку Европа, чија је сеисмичност најбоље позната, и где се догоди око 2000 земљотреса годишње. На тај ће начин на другим континентима бити оволико земљотреса, ако им је сеисмичност иста као у Европи:

континент	средња опажена честина	однос површине	прорачуната год. честина
Европа	2027	1	2000
Азија	733	5	10000
Африка	69	3	6000
Северна Америка	561	2	4000
Јужна Америка	164	1·8	3600
Аустралија са Океанијом .	269	1	2000
Целокупан број . .	3823		27000

3. Пошто области сеисмичке активности, у односу према асеисмичким пределима, могу бити врло различите, требало би сеисмичке области спојити уједно, да се добије сигурнија процена. Као јединку сеисмичке области *Милн* узима Средњу и Јужну Европу (Швајцарска, Јужна Немачка, Ј. Француска, Италија, Балканско Полуострво), у којој је средња годишња честина по *Монтесиу* око 1900. По томе су у другим сеисмичким областима, према одређеним односима површина, годишње честине оволике:

сеисмичка област	односи површина	прорачуната честина
Средња и Јужна Европа	1	1900
Азија и Јапан	3·5	6650
јужно од Јапана до Јаве и од Суматре до Нове Гинеје	2·5	4750
северно од Јапана до Аљаске	1	1900
Северна и Јужна Америка	4	7600
Африка	0·5	950
Зап. Индија, Нови Селанд и друге сеисмичке области	1 (?)	1900
целокупан број		25650

Према свима претпоставкама долази до крајњег закључка, да се у години догоди просечно 26000 земљотреса или 70 дневно. Да та вред-

ност није сувише смела може се доказати тиме, што је *Рудолф* у каталог земљотреса за 1903 годину унео 4760 земљотреса најразличитијег интензитета из свих цивилизованих предела на Земљи, што одговара дневној честини од 13 земљотреса[1]) и што *Монтеси де Балор* упозорује, да се било у доброј или рђавој години догоди око 80000 осетних потреса, што би одговарало честини од 219 земљотреса на дан[2]).

Одређење епицентра и хипоцентра. — Одређење епицентра има не само теоретски, него и велики практичан значај, услед чега је са разних страна покушавано, да му се положај утврди и у оним случајевима, ако је потрес настао у ненастањеним пределима или на океанском дну.

Правац у коме лежи епицентар може се непосредно одредити с помоћу *Вихертовог* астатичког сеисмометра, који је нарочито за то удешен. И кнез *Галицин* је од 1909 год. покушавао, да епицентар одреди са једне станице посматрања и при томе указао, да се азимут епицентра може утврдити на основу диаграма са двеју хоризонталних шеталица, које се секу под правим углом и од којих једна означује правац С-Ј, а друга И-З. Поњему се азимут α одређује мерењем амплитуде померања светлосне тачке на ауторегистреру при почетку првих прудзнака, т. ј. у тренутку појаве првих лонгитудиналних сеисмичких таласа. Ако се са l означи редуцирана дужина шеталице, са k трансмутацијони коефицијент за галванометарско бележење на инструменту, а са A_1 дужина оптичког зрака за фотографско бележење кретања, које одговара галванометру, тада вредност

$$C = \frac{\pi l}{kA_1}$$

представља карактеристичну константу сеисмографа, која се унапред може лако одредити. Ако су, даље, $У_E$ и $У_N$ амплитуде истог максимума на сеисмограмима при почетку првих предзнака (за компоненте И-З и С-Ј), а C_E и C_N одређене вредности горњих констаната, биће тражени азимут изражен овом формулом[3]):

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{C_E}{C_N} \cdot \frac{У_E}{У_N}$$

Али је доказано, да при одређењу са двема хоризонталним шеталицама азимут може показивати грешку од 180°, т. ј. епицентар може лежати

---

[1]) *E. Rudolph, Katalog der im Jahre 1903 bekannt gewordenen Erdbeben.* Gerlands Beiträge zur Geophysik. III. Erg. Bd. Leipzig 1905.

[2]) Comte *F. de Montessus de Ballore, Les bases de la théorie géologique des tremblements de terre.*, Annal. de Géogr. XXVe année. 1916., стр. 402.

[3]) *B. Galitzine, Sur la localisation de l'épicentre d'un tremblement de terre d'après les observations d'une seule station sismique.* Compt. rend. de l' Acad. des Sciences. Tome CLXII. Paris 1916., стр. 878—880.

у два супротна правца. Ипак би се могло закључити у коме је правцу епицентар, ако се баци поглед на географску карту са сеисмичким областима, јер би он свакако лежао у пределу чешћих земљотреса.

*Галицин*овом методом су одређивани у 1914 и 1915 год. епицентри већег броја доста далеких земљотреса, према податцима са сеисмичких станица: Тифлис, Ташкент, Иркутск, Пулково, Макајевска, Јекатеринбург и ни у једном случају грешке у одређењу географских дужина и ширина нису биле веће од 4^0 [1]).

Швајдар[2]) са друге стране доказује, да азимут може бити једносмислено одређен само у оном случају, ако се узме у помоћ и вертикалан сеисмометар. Он би могао одлучити, која фаза дилатацијоних таласа (таласа ширења) доспе прва до станице посматрања и да ли би азимут, као резултанта обеју шеталица, променуо пранац за 180^0.

Исто је тако важно да се утврди и *удаљење епицентра.* При томе се за макросеисмичко одређење не могу поставити опште важеће формуле, него примена познатих чињеница искуства, док микросеисмичко одређење служи за приближно локализовање епицентра. Микросеисмичка је метода нарочито важна, ако о земљотресу има само инструменталних бележења, а није познат плеистосеистички простор, било да је у удаљеним тешко приступачним пределима, било да је под морем. У тим се случајевима служи емпиријским формулама, које су у последње доба знатно побољшане.

За земљотресе са епицентралним удаљењем преко 1000 километара може се послужити правилом, које је поставио *Ласка* и којим се удаљење врло лако одређује. Треба да се са сеисмографских диаграма одреди за сваки земљотрес тачно време, у које почињу први и други предзнаци. Ако се почетак првих предзнака означи са t_1, а других са t_2, тада ће временска разлика у минутима, смањена за 1, одговарати епицентралном удаљењу у мегаметрима. Формула је:

$$(t_2 - t_1) \text{ мин.} - 1 = \Delta \text{ мегаметара.}$$

На примеру то изгледа овако: Приликом земљотреса у Сан Франциску, 18. априла 1906 године, забележено је на сеисмолошкој станици у Штрасбургу, да су први предзнаци почели у $1^h24{\cdot}6^m$, а други у $1^h35{\cdot}2^m$. По томе је $(t_2 - t_1) = 1^h35{\cdot}2 - 1^h24{\cdot}6 = 10{\cdot}6$, и према формули је $\Delta = 9{\cdot}6$ мегаметара.

Још тачније се одређење добија. ако се за прорачунате разлике у времену $(t_2 - t_1)$ нађу у следећој таблици одговарајућа удаљења која је прорачунао *Цајсиг*[3]).

---

[1]) *B. Galitzine, Sur la localisation de l'épicentre d'un tremblement de terre.* — Compt. rend. de l'Acad des Sciences. Tome CLXII. Paris 1916, стр. 954—956.

[2]) *Dr. W. Schweydar, Bestimmung des Azimuts des Erdbebenherdes aus den Registrierungen auf einer Station.* Pet. Mitt. 1911. II. Halbband, стр. 326—327.

[3]) *Handwörterbuch der Naturwissenschaften.* III. Band., Jena, G. Fischer, 1913., стр. 704.

километри	200 м.	200 с.	400 м.	400 с.	600 м.	600 с.	800 м.	800 с.	1000 м.	1000 с.
0	0	22	0	44	1	06	1	27	1	48
1000	2	08	2	27	2	46	3	05	3	23
2000	3	40	3	57	4	13	4	28	4	43
3000	4	58	5	10	5	24	5	35	5	47
4000	5	58	6	10	6	20	6	31	6	42
5000	6	53	7	04	7	15	7	25	7	36
6000	7	47	7	58	8	08	8	19	8	29
7000	8	39	8	50	9	00	9	10	9	20
8000	9	30	9	40	9	50	10	00	10	10
9000	10	20	10	30	10	40	10	49	10	58

$10500 = 11^{м}\,20^{с}$, $11000 = 11^{м}\,41^{с}$, $11500 = 12^{м}\,01^{с}$, $12000 = 12^{м}\,21^{с}$, $12500 = 12^{м}\,39^{с}$, $13000 = 12^{м}\,56^{с}$.

За блиске земљотресе, са мањим епицентралним удаљењем од 1000 километара, служи *Конрадова* формула, у којој улази у рачун разлика у времену од почетка првих предзнака t_1 до почетка главних таласа t_3 и по њој је

$$5{,}8 + 8{,}09\,(t_3 - t_1) - 0{,}009\,(t_3 - t_1)^2 = \Delta \text{ км.}$$

За $(t_3 - t_1)$ су вредности унапред прорачунате и временским разликама у секундима одговарају ова епицентрална удаљења[1]):

$(t_3-t_1) =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	сек.
$\Delta =$	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	165	164	202	240	км.
$(t_3-t_1) =$	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	сек.
Δ	278	315	352	388	424	459	494	528	562	595	629	661	693	725	км.

Све новије методе за одређивање епицентра и начин рада приказали су *Рудолф* и *Сиртеш*, осим тога су изнели и најглавнију литературу о томе питању[2]).

Са много више тешкоћа може се одредити *дубина хипоцентра*, што би за теорију земљотреса било најважније. Јасно је, да би за то одређење служила једино инструментална бележења и с тога су сви покушаји за добијање погодне формуле били управљени у томе правцу. Али главна тешкоћа не лежи у теоретском прорачунавању, колико у познатој и јасно наглашеној чињеници, да о физичким односима у дубоким слојевима земљине коре нема несумњиво доказаних података, као ни о утицају геолошког и тектонског склопа на спроводљивост сеисмичке енергије, односно на брзину ширења земљотресних таласа. Све док се та питања не реше, не може се довољно расудити, колико су разне ме-

[1]) *Handwörterbuch der Naturwissenchaften.* III. Band., стр. 705.

[2]) *Dr. Emil Rudolph und Dr. Siegmund Szirtes, Nomographische Bestimmung des Epizentrums.* Pet. Mitt. 1913. II. Halbband, стр. 182—185, 249—252.

тоде тачне, јер се у истини доказало, да су разним методама добијене неједнаке вредности о дубини поремећаја код истог земљотреса. Са тим ограничењима могу се изнети неколико примера о вероватној дубини хипоцентра код разних разорних земљотреса и неколико општих чињеница, које су тачне и сигурне.

При одређивању хипоцентара се показало, да у врло широким границама колебају, али да у најчешћим случајевима леже неколико километара испод земљине површине. Даље је доказано, да дубина хипоцентра не зависи од јачине потреса, али да је при истом интензитету уздрман простор земљине површине тим већи, што је хипоцентар дубљи. Код земљотреса у Калабрији 8. новембра 1905 године хипоцентар је био приближно у дубини од 7 км.; при земљотресу, у Јегри (Мађарска), 26. јуна 1903 год., у дубини око 5 км., а површина потресеног предела је износила 8800 км²; при калифорнијском земљотресу, 18. априла 1906 године, у дубини између 16·5 и 32·5 км.; код љубљанског земљотреса, 14. априла 1895 год., у дубини око 60 км., са површином потресеног предела око 400000 км²; у Чарлстону, при земљотресу 31. августа 1886 год., хипоцентар је био у дубини од 102 км., са површином уздрманог простора од 796000 км², док је код индијског земљотреса 12. јуна 1897 год. лежао у дубини од 170 км., а површина потресеног предела је означена раније.

Врло су ретки случајеви, да хипоцентар лежи у дубинама од неколико стотина километара, али је код њих карактеристично, да се осете на највећем делу Земље и да немају видљив утицај на њезину површину. То би произилазило из чињенице, што су поремећаји маса настали у земљином језгру, које на кору нема јачи и осетнији утицај.

Узроци земљотреса. — Поред свакојаких сујеверних представа о земљотресима и о узроцима њиховог постанка, било је још у Старом Веку неколико мислилаца, као Демокрит, Сенека, Лукрециус, који су наговештавали на истинске и праве узроке, али је сваки налазио само *један* узрок за *све* земљотресе. То питање је сведено на право мерило тек у другој половини прошлог столећа, а заслуга припада нарочито новијим геолозима, који су се бавили тектоником и извели тројну поделу. У њој су земљотреси карактеризовани према узроцима и названи: 1. *експлозијони* или *вулкански*, 2. *трусови сурвавања* и 3. *дислокацијони* или *тектонски*, ма да је често доста тешко разликовати први од трећег типа, јер у појединим случајевима постају заједничким деловањем. Ипак, сви они имају једну општу особину, што је свака врста земљотреса проузрокована поремећајима равнотеже у земљином телу. Поред ових узрока има и других, који су ређи и доцније ће се споменути.

Услови за *вулканске земљотресе* у главном су снажни удари маса успињућих гасова и пара из земљиног језгра на њезину површину. Испод

гротла сваког активног вулкана има врло пространих шупљина, које су толико дубоке да се испуне водом. Али, ако се вулкан припрема на ерупцију, течна и усијана лава ће испунити шупљине и гротло, и водена пара ће почети да избија у крупним мехуровима, који се све већма шире, јер им је унутрашњи напон према спољашњем притиску све јачи, што се више издижу. На тај ће начин усијана магма да се ускомеша и почеће снажни напади и удари на стеновит покров вулкана, чиме се вулкан уздрма и затресе. По својој јачини су удари из унутрашњости врло неједнаки; некада су толико снажни као експлозије динамита и праћени потмулом тутњавом, док се у другим случајевима осете само у гротлу или његовој непосредној близини. Одатле се сеисмички таласи шире на све стране, али најчешће до удаљења од неколико километара, где осетан потрес престане. Леп пример за то пружа врло јака ерупција Везува у априлу 1906 године, када су се у Напуљу осетили само најјачи потреси, док су их сеисмичке станице у Средњој Италији само инструментално могле забележити.

Али, ако је гротло до великих дубина запушено стврднутим масама лаве, удари ће морати да буду кудикамо јачи, јер ускомешана водена пара у отопљеној лави има да надвлада много већи отпор. Међутим, чим масе водене паре пробију себи пут, и лава се са другим придодацима излије, земљотрес брзо ослаби и накратко престане. Доста честа дуготрајна уздрхталост вулкана вероватно се може свести на неизразита кретања магме, док потреси — који у међувремену настану — одговарају експлозијама. Том мишљењу иде нарочито у прилог, што су у многим случајевима земљотреси у вулканским пределима праћени детонацијом, т. ј. тутњавом. Ипак, у извесним случајевима, експлозијони потреси настану или пре почетка, или после, или независно од ерупције.

Земљотрес се у последњем случају може означити као неуспели покушај ерупције, јер вулкан за време потреса није био активан. То се може протумачити тиме, што су кретања усијаних маса у вулканском огњишту била довољно јака да изазову ударе, али не да избију до земљине површине. Такав, неуспео покушај се догодио 15. октобра 1911 године као разоран земљотрес на источној страни Етне, а настао је двадесет дана после њезине снажне ерупције.

Непосредни утицаји вулканских земљотреса већином су скривени у земљиној унутрашњости и не могу се видети; али промене, које изврше на облицима земљине површине, настају најчешће при самој ерупцији. Оне су већином незнатне, ма да сами земљотреси могу имати велике и погибељне последице. Иначе су ови земљотреси по простору и трајању неизразити и најчешће имају сасвим локалан карактер.

Сличан је случај и са *трусовима сурвавања,* који су изазвати било сломом, било наглијим слегањем подземних шупљина. Ове се могу ства-

рати на неколико начина: исплакањем, пролокавањем и наједањем појединих слојева у земљиној кори. Не треба нарочито подвући, да су трусови сурвавања ограничени на оне пределе, у којима подземна вода хемијски и механички утиче на растварање и распадање стена, од којих су највећма растворљиве камена со, анхидрит, гипс и кречњак. Али, пошто је кречњачких слојева много више, него свих осталих заједно, најчешћи ће трусови сурвавања бити у пределима крша, где има силних пукотина, подземних канала, ходника, речних токова, пећина и других шупљина. Под непрестаним утицајем воде исплакање ће толико напредовати, да ће се сводови шупљина у извесном тренутку сурвати, под притиском стеновитих маса од горе, а то ће изазвати јачи земљотрес. Потреси ће услед снажних удара утицати на околне стене: да их раздрмају, да им прошире пукотине и на тај начин олакшају стварање нових пећина.

Значај подземних вода на растварање стена видеће се из ових примера: Према издашности топлице у Карловим Варима (Чехословачкој) и количини њених минералних састојака могло се прорачунати, да унутрашњим слојевима земљине коре одузме годишње 3064 $м^3$ разних соли, што значи, да би се у току двадесет година могла створити око 40 метара дугачка, исто толико широка и дубока пећина. Извор Падер, у Падерборну (Вестфалској), има још много већи значај на растварање подземних стена, јер за време од 3 месеца однесе онолику количину кречњака, која би одговарала простору са пречником од 50 метара дужине и 9 метара дубине или запремини од 15700 $м^3$. Другим речима, његовим растварањем би у току године била створена скоро исто онолика пећина, као у Карловим Варима за 20 година.

Чести су трусови сурвавања у вароши Ајслебен (Саксонска), северозападно од Лајпцига, где су се од септембра 1892 до 1895 године догодили у већем броју, са подземном тутњавом и са спуштањима тла. Испод те вароши се провлаче рударска окна, и испитивањима је доказано, да су трусови последице Süsser See-а, језера, које има подземан оток у окна, јер је језерском водом растворен око 300 метара дугачак таван камене соли.

Трусови сурвавања се понекад појаве у слабим, неколико пута поновљеним кретањима тла, а гдекад исцрпу целу снагу у једном кратком, али снажном удару, са неколико неизразитих накнадних потреса. У најужим границама могу бити силовити, па и разорни, али су због мале дубине хипоцентра увек локалног значаја. Њихове се последице огледају и на земљиној површини: стварају се прслине и пукотине, левкасти облици, плитке потолине и ждрела, који су карактеристични за такве пределе. *Сапер* је мишљења, да су у средњеамериканском кршу бар неке вртаче постале сурвавањем: 1. што имају изразит кружан или овалан облик са већим пречником од 100 метара и окомитим глатким странама

и 2. што су у том пределу врло чести земљотреси са јаком подземном тутњавом, т. зв. ретумбо[1]). Али се у кретацејском кречњаку стварају и други облици, јер су на пр. у Кокскомб Планини (британски Хондурас) велики делови земљишта испрекрштани пукотинама, дуж којих су се неки делови спустили за 0·5 до 2 метра, као у шаховском пољу, док су други остали на старом нивоу.

Највећи значај има група *тектонских*, односно *дислокацијоних земљотреса*, који су нарочито карактеристични по њиховом катастрофалном дејству, великом проширењу, дугом трајању и по постојаној снази. Они су последице поремећаја пласа и блокова, т. ј. дислокација, било услед борања, раседања, спуштања или издизања, и дају чулан доказ о акцији напона у чврстој земљиној кори. По њиховим непосредним везама са свима орогеним процесима добили су и свој назив.

Чим се унутрашња равнотежа код пласа земљине коре ма на који начин поремети, мораће да се појаве изненадна хоризонтална и вертикална померања, клизања или раседања неколиких стеновитих блокова, при чему ћу настајати појединачни удари. Трење на храпавим странама блокова изазваће еластичне сеисмичке таласе и потмулу тутњаву. Ма колико да је процес борања или тоњења пласа спор, не може се замислити без небројених појединачних потреса. Наравно да се потреси неће узастопце догађати; напротив ће се чешће смењивати периоде мировања и незнатних дислокација, са врло слабим потресима, између којих су дислокације понекад изразитије, па и земљотреси много јачи. Увек се у постепеној еволуцији планинских система догоде и мале револуције, а земљотреси су њихове последице. То су разлози, што се пре најјачих и најчулнијих трусова, т. зв. главног потреса, често догоди различит број слабијих претходних удара и даљи низ накнадних земљотреса са променљивом снагом. Они ће се појављивати док се пласе не слегну, не доспу у стање изостазије, да за неко време остану у положају мировања.

Према врстама дислокација могу се код тектонских земљотреса разликовати неколико типова. Тако се на пр. у спољашњој зони набораних планина јављају *попречни потреси*, ако им је осовина усправна на правац пружања планине, или *уздужни потреси*, ако је паралелна са пружањем. У унутрашњој зони је највећи број земљотреса у вези са вертикалним раседима, као и у степеничастим и пласастим пределима спуштања, јер су ова чешћа од издизања. Ту се могу разликовати периферни, радијални, централни и пласасти потреси спуштања. Али, пошто се на дислокацијоним раседима упоредо са земљотресима најчешће догађају и вулканске ерупције, раније се нису могли разликовати и оделити вулкански од тектонских земљотреса.

---

[1]) *Karl Sapper, Erdbeben und Erdoberfläche.* Geogr. Zeitschr. XV. Jahrg. Leipzig 1909., стр. 75.

Типови дислокацијоних земљотреса и њихове последице видеће се у следећим примерима. Изразит тектонски земљотрес догодио се у Калифорнији, 18. априла 1906 год., при коме ја нарочито страдао Сан Франциско. Он се према Северу ширио преко Орегона до Кус Бе-а (Coos Bay), јужно до Лос Ангелеса, т. ј. од 43°20′ до 34°, а на Исток кроз већи део Средње Калифорније и западан део Неваде. Појас највећег разоравања заузима површину од 10000 км², лежи с обе стране раседа, који се пружа у правцу СЗ-ЈИ и може се пратити од Холистера до Адлер Крика, на 320 километара дужине, а вероватно се по океанском дну продужује на Север до Јурека (Eureka). Померање пласа се догађало у хоризонталном правцу, дуж скоро вертикалне раседне површине у земљиној кори. При томе се источно крило приближило за 2 до 7 метара на ЈЈИ., а у исто време се спустило за нешто више од 1 метра. На тај је начин на земљиној површини створена дубока бразда, односно расед. Околношћу, што је расед пресекао водоводе, гасне и електричне инсталације, катастрофа се у Сан Франциску погоршала; гасови и електричне кратке везе проузроковале су пожар, а испражњене водоводне цеви нису дале ни кап воде да би се локализовао.

На алувијалном тлу се, међутим, место раседа догодило степеничасто спуштање паралелно поређаних пруга земљишта у долини реке Салинас.

Изразитије су последице вертикалних кретања, јер стварају терасирано земљиште, са мање више стрмим и високим одсеком, те боље упадају у очи. Најбољи пример тог типа је познати земљотрес, који се догодио 28. октобра 1891 године у јапанским провинцијама Мино и Овари. При њему се у епицентралној области долине реке Нео отворила пукотина са дужином од 112 километара, од којих су 64 км. били видљиви. Ту је, у близини места Нидори, створена врло јасна денивелација, јер је велики део земљишта са ливадама, баштама и њивама померен за 4 метра постранце, а локално и до 7 метара на ниже. Цео један друм је био прекинут и нашао се за 6 метара ниже, но што је био пре земљотреса. На другом су месту многе куће нестале у провалији земљотресне пукотине. Осим тога је железнички мост на реци Нагава сасвим порушен, а дуж реке се изломила цела обала у велики број дубоких уздужних пукотина.

Издизања маса при дислокацијоним земљотресима такође су доста изразита, али се тешко могу опазити, нарочито ако се издижу у облику свода. Такав се случај десио 1835 године у Јужној Америци, где се земљотрес осетио дуж обала Чиле од 27° до 43° јуж. шир., на дужини од 1700 километара. После њега се показало, да се земљина површина у луци Концепциона издигла за 1 до 1·5 метар, на недалеком Острву Санта Марија северан се део издигао за 2·5 метра, а југозападан

за 3 метра, што се јасно видело на стрмим обалама. Наслаге са љуштурама сада су лежале око 3 метра изнад ознаке високе плиме, а пространа стеновита зараван, која је била под морем, претворила се у копно. На сличан се начин морао издићи и један део океанског дна, јер је при поновном премеравању дубина око острва доказано, да су се смањиле за 2·5 метра.

Још много више се земљиште издигло у Заливу Јакутат (Disenchantment Bay) на Аљасци, где се при периоди разорних земљотреса у септембру 1899 године поред осталог преломио и велики језик ледника Муир. На неким су местима пласе шкриљаца утонуле у дубину, док су се на извесним деловима жала издигле за 10 до 16 метара, што сведоче издигнути трагови граница, до којих је допирао млат мора. Највећи опажени износ у вертикалном кретању догодио се 1875 године приликом земљотреса на Исланду, са денивелацијом од 20 метара.

При великим земљотресима могу да се врхови планина одваљују и да се низ падине стропаштају, или да огроман материјал са падина клиза и гради плазине. Последње је нарочито погодно, ако су делови планина састављани од растреситог или водом наквашеног материјала. Такав се случај догодио за време споменутог земљотреса у Јапану: један се део брега одломио, јер му је подлога била из хумозног земљишта, и клизајући низ падине он се, заједно са шумарком и жбуњем на својој површини, зауставио у долини реке Нео, а горе су остале оголићене стене. Исто се то догодило и пре неколико столећа, 25. јануара 1348 године, у Корушкој, где се недалеко од Бељака срозао велики грот са планине Добрача у долину реке Гајла и засуо две варошице и 17 села. Плазина је загатила реку и вода се на великом простору ујезерила. То је била последица земљотреса и створеног раседа дуж реке.

Промене у облику земљине површине могу и на други начин да утичу на копнене воде. Услед денивелације могу на речним токовима настати водопади, ако се земљиште спусти низречно, или ујезерење ако се спусти узречно. Али, ако им се сурване масе испреч на пут могу да скрену у други правац или да их загате, па да настану поплаве. У тропима се таква вода устоји, претвори се у баруштине, које су легло заразних инсеката, и на тај се начин може објаснити, зашто у тропима после јаких земљотреса избију епидемије, нарочито маларичне грознице.

Поред ова три главна типа земљотреса у новије време је постављено још неколико типова, по њиховим узроцима или пореклу, али су они већином мање важни, па и од мањег интереса. У ту групу спадају т. зв. релески земљотреси и океански трусови, који су значајнији од првих.

Као што је у извесним случајевима доста тешко повући границу између дислокацијоног земљотреса и вулканских појава, то вреди у још већој мери за *океанске трусове*, јер свака субокеанска експлозија мора

проузроковати земљотрес, али, с друге стране, могу субокеанским ударима да се стварају пукотине, које су у стању да изазову вулканску ерупцију. Ипак се са сигурношћу може рећи, да су сви они морски трусови тектонски, који се као снажни потреси осете и на копну. По узроцима се, дакле, и морски трусови могу урачунати у горње типове, али засебно место заслужују по своме субокеанском пореклу. *Сиштеш* је први указао, да се у сеисмограму на први поглед види, да ли је хипоцентар земљотреса у копненом или субокеанском делу земљине коре. Због гушћег састава слојева у субокеанској земљиној кори сеисмограми морских трусова имају у главној фази правилнији ток, чудновато мале амплитуде и врло дугачке периоде, док сеисмограми копнених земљотреса показују многолике утицаје лако покретних пласа, што се огледа у неправилности тока, у кратким периодама и великим амплитудама.

Релески (relais) *потреси* могу бити изазвани дислокацијоним земљотресом и трусом сурвавања. Пошто се сеисмички таласи шире од једне према другим пласама, и пошто је покретљивост појединачних пласа веома неједнака, моћи ће, приликом јачег земљотреса, да у мање или више удаљеним пределима постојећи напони ступе у акцију и тамо изазову секундарне потресе. Тако се истовремено са великим земљотресом код Бељака, 4. децембра 1690 године, догодио потрес у Мајсену, у Саксонској. Ти мањи и слабији потреси, који се догоде на већем удаљењу од првог земљотреса и са њим не стоје у узрочној вези, зову се релески или симултани (истовремени) потреси.

Код класификације земљотреса, међутим, има још једно питање, које је од већег значаја и за узроке земљотреса веома важно. Још пок. *Едуард Сис* је дошао до закључка, да заплетени тектонски и орогени процеси, т. ј. сви они догађаји услед којих се образују нови планински системи, достижу вероватно до релативно малих дубина, по чему би хипоцентар са дубином од неколико десетина километара са геолошког становишта изгледао као сувише дубок. С тога су неки веома признати геофизичари обратили томе питању нарочиту пажњу, и на основу свестраног испитивања дошли до нових назора, по којима не само узроци земљотреса, него и образовања планинских система леже у променама агрегатног стања земљине унутрашњости, због сталног хлађења.

Познато је, да водена пара при хлађењу почне прелазити у течно стање и то под ваздушним притиском од 760 мм. при температури од 100°C, а под притиском од 400 мм. при 83°C., и даље, да вода при даљем хлађењу почне прелазити у чврсто стање, најчешће при температури од 0°C, и најзад, да у извесним случајевима подлежи кристализацији, што доказују снежни кристали хексагоналног система. То се, међутим, догађа и код свих хемијских елемената и већине спојева, само су код сваког од њих температуре топљења, односно смрзавања, т. ј. преласка

у чврсто стање и кристализовање врло различите. Код метала су оне већином врло високе, често изнад 1000°C, што значи, да се већ при толиким температурама почињу кристализовати. То исто би се морало догађати и у земљиној унутрашњости, јер Земља стално издаје у простор васионе нешто од своје магазиниране топлотне енергије. Услед непрестаног хлађења догађа се у земљиној унутрашњости преображај маса у кристале разних облика, и то, према приликама, на два начина: Ако је преображај спор биће условљени орогени процеси, односно секуларна, врло дуготрајна издизања, а посредно и спуштања земљине површине, при којима се ступање напона у акцију показује у земљотресним појавама. Али се преображаји могу догодити и при наглијим променама притиска; тада ће се прво осетити земљотресни удари, а њима ће бити омогућене и дислокације. На тај би се начин земљотреси прве врсте, код којих хипоцентар лежи у једном од „горњих“ појасева земљине коре, и који су непосредне последице кретања пласа при процесу образовања планина, могли назвати као *чисто тектонски*. У „доњем“ појасу, где влада латентна пластичност и услед приraштаја температура све већа мекоћа стена, биће претпостављено трење покренутих пласа у вишем слоју мање, а тиме битан узрок за поремећаје отпада. Ту је првобитно настао удар, услед процеса кристализације у земљиној унутрашњости, а тек њиме проузроковано кретање пласа, мањих или већих обима. Удар, који је изазван процесом кристализације, шири се као такав кроз пластичне слојеве своје околине, али кад доспе до чврстих стеновитих пласа, његово се ширење претвори у еластичне таласе, услед трења на ивицама пласа. У тим дубинама, можда од 30 или 40 километара на ниже, догађаће се по правилу *чисто магматични потреси* или комбиновани *тектонско-магматични потреси*, ако се утицаји поремећених пласа у горњим слојевима прошире до доњег и утичу на магму. *Бранка* поред тога указује, да начин деловања магматичне масе није ниуколико једнолик, и да се морају разликовати експлозијони, интрузијони и кристализацијони потреси, који се делимично могу разделити на двоје. Обични експлозијони потреси (било експлозијом гасова у самој магми или изван ње) не изазивају трајне промене нивоа на земљиној површини, док је то код интрузијоних и кристализацијоних потреса врло вероватно. Осим тога су магматични потреси знатно старији од трусова сурвавања и дислокацијоних земљотреса[1]).

Напослетку изгледа, да су и померања земљине осовине у њеном телу важан узрок за постанак земљотреса, из истог разлога као и за постанак вулкана[2]). При сваком колебању земљине осовине стварају се

---

[1]) *W. Branka, Über die Bedeutung der magmatischen Erdbeben gegenüber den tektonischen.* Sitzber. d. Preuss. Akad. d. Wiss., Berlin 1917., стр. 380—399.

[2]) в. поглавље *Постанак планина и вулкана,* стр. 228—230.

нови услови равнотеже. Ако је колебање изразито, Земља нећи моћи да се лако прилагоди новом стању, и тежња за успостављањем равнотеже огледаће се у чешћим појавама земљотреса. *Милн* је први поставио ту хипотезу и изнео везу између тоталног колебања пола и великих земљотреса (у његовом смислу), за периоду 1895 до 1898 године[1]). Доцније је *Канкани* периоду продужио до 1902 године, али он уноси бројеве светских земљотреса, који су инструментима забележени бар на четири континента[2]). Односи се виде из приложене таблице:

година	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902
колебање пола	*0·53*	0·91″	**1·07″**	1·03″	0·72″	*0·32″*	0·53″	**0·97″**
број великих одн. светских земљотреса . . .	*9*	18	**46**	30	27	*17*	22	**29**

Из бројева се јасно види, да је при максималним удаљењима ротацијоног од географског пола највећи број великих одн. светских земљотреса, а при најмањим удаљењима да је најмањи. Потпуна симетрија, међутим, не постоји из напред изнесених и других узрока.

Периоде земљотреса. — Са разних је страна покушавано, да се и код земљотреса одреде дневне, месечне и секуларне периоде, као и за многе друге појаве на Земљи, које су у вези са активношћу Сунца и привлачним утицајима Месеца. Али, по свему изгледа, да се дневна периода уопште не може утврдити, јер је и сувише неизразита. За то су питање нарочито употребљени податци са јапанских станица; *Хан* је на основу њих прорачунао часовне честине петогодишњих посматрања од 1885 до 1889 године и указао је, да се изразитији дневни ток може уочити тек онда, ако се споје по три узастопна часа заједно, почињући од поноћи. Тада се максимум честине јавља ноћу, између 0 до 3 часа, а минимум по подне, од 3 до 6 часова[3]). Али доцније, кад је урачунао и идућу 1890 годину, и прорачунао дневну честину за цео Јапан, на основу 3842 случаја, као и дневну периоду за Токијо од 1876 до 1891 године, показала се веома знатна неправилност. Тек када би се сабрали сви дневни и ноћни часови за себе (од 6^h_a до 6^h_p и обратно) показала би се већа ноћна честина код средњих вредности свих јапанских земљотреса, али би у Токију била већа честина у дневним часовима[4]).

---

[1]) *J. Milne*, l. c., стр. 18.

[2]) *A. Cancani, Zur Hypothese über eine Wechselbeziehung zwischen den Variationen geographischer Breiten und der Bebenhäufigkeit.* Die Erdbebenwarte. Laibach. Bd. III., 1903., стр. 49—57.

[3]) *J. Hann, Jährliche und tägliche Periode der Erdbeben in Japan.* Met. Zeitschr. 1892., стр. 316.

[4]) *J. Hann, Tägliche und jährliche Periode der Erdbeben in Japan.* Met. Zeitschr. 1895., стр. 159—160.

Конрад[1]) је на основу 2497 макросеисама у аустријским Алпима и карстним пределима прорачунао за периоду 1897 до 1907 год. дневни ток честине земљотреса и дошао је до закључка, да максимум честине пада на 2 до 3 часа по поноћи, са 193 земљотреса, а минимум између 8 до 9 часова ујутру, са 49 земљотреса.

Слично се показује и код годишњих периода, јер и оне немају већу правилност. У Норвешкој су земљотреси најчешћи у јануару, а најређи у јулу; зимски максимум и летњи минимум су врло изразити[2]). Скоро иста периода као у Норвешкој, показује се и у Швајцарској. У алписким и карстним пределима односи су нешто промењени[1]). Тамо се главан максимум честине јавља у марту, а минимум у јулу; секундаран максимум и минимум падају на јуни, одн. октобар. У зиму и пролеће се јавља 61·2% земљотреса, а у лето и јесен тек 38·8%, дакле нешто више од трећине. С друге стране се код односа у Трсту[3]) види прелазак од алписке карстне периоде ка јапанској периоди земљотреса. У оба предела максима падају у времена око равнодневица, а минима се јављају око солстиција. Напослетку у Индијском Архипелагу годишња је периода сасвим неизразита[4]). Ако се сума свих земљотреса у овој области означи са 100%, честине у екстремним месецима варирају од 7·9% до 9·4%, а сви други месеци имају вредности између њих. Лепши и правилнији ток честине у годишњој периоди добија се методом хармоничке анализе, који је у таблици на страни 277. означен као прорачуната честина. Вредности у њој означују проценте.

Са нешто више сигурности може се говорити о месечевом утицају на честину земљотреса, ма да га *Монтеси* потпуно негира. *Нот* је, с помоћу *Милн*овог каталога са више од 7000 великих јапанских земљотреса од 1885 до 1892 год., прорачунао потребне податке методом хармоничне анализе[5]). Значај његових испитивања је у томе, што је сав материјал узет са доста ограниченог предела, у коме су услови за појаве земљотреса подједнаки. *Нот* је дошао до ових општих закључака:

1. да честина јапанских земљотреса подлежи периоди, која се поклапа са месечевим даном. Полудневна месечева периода је најизрази-

---

[1]) *V. Conrad, Die zeitliche Verteilung der in den österreichischen Alpen- und Karstländern gefühlten Erdbeben in den Jahren 1897 bis 1907.* Mitteil. d. Erdbebenkomission d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien. № XXXVI. 1909.

[2]) *J. Hann, Jährliche Periode der Erdbeben in Norwegen.* Met. Zeitschr. 1890., стр 77.; главни резултати из расправе *T. Ch. Thomassen*-а.

[3]) *E. Mazelle, Jährliche Periode der Erdbebenstörungen in Triest.* реф. *J. Hann*-а у Met. Zeitschr. 1906., стр. 232.

[4]) *J. Hann, Jährliche Periode der Erdbeben im Indischen Archipel.* Met. Zeitschr. 1905., стр. 39.

[5]) *C. G. Knott, On Lunar Periodicities in Earthquake Frequency.* Proc. of the Roy. Soc. London 1896—1897. Tome LX.. стр. 457—466.

тија и с погледом на релативну честину, као и на правилност, којом се фазе прилагођавају временима месечевог пролаза кроз меридијане. Према томе је највероватнији узрок дневног тока честине месечева привлачна снага;

2. да постоји 15-одневна периода у вези са конјункцијама и опозицијама Месеца и Сунца;

3. да величина фазе иде у прилог мишљењу, по коме постоји истинска веза између промена месечевог удаљења од Земље и честине земљотреса, јер максимална честина пада скоро тачно у времена перигеума.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Норвешка, 1834-1887 год., 328 земљотреса												
одређена честина	**13·70**	7·95	9·75	6·70	7·95	5·80	*4·90*	10·35	9·75	6·40	7·50	9·15
прорачуната честина	11·35	**11·75**	10·45	7·85	5·50	*4·60*	5·50	7·05	8·15	8·65	9·05	10·10
Алпи и карст, 1897—1907 год., 2497 земљотреса												
одређена честина	10·7	11·2	**11·9**	10·4	9·1	*5·5*	6·8	6·4	6·0	5·9	8·4	7·8
Трст, 1898-1902 год., 1039 земљотреса												
одређена честина	7·6	**8·8**	8·5	7·7	*7·6*	8·2	9·35	**10·15**	9·6	8·0	7·5	*7·0*
прорачуната честина	7·95	**8·75**	8·65	7·90	*7·45*	8·05	9·30	**10·05**	9·55	8·20	7·10	*7·05*
прорачуната честина за мес. са 30·42 дана	7·45	**9·50**	8·35	7·80	*7·45*	8·30	9·20	**9·55**	9·70	7·85	7·60	*6·85*
Токиј, 1876-1893 год., 1300 земљотреса												
одређена честина	*8·00*	9·15	9·40	9·10	**10·90**	7·45	6·65	*5·55*	5·55	**10·25**	8·30	9·70
прорачуната честина	*8·15*	9·25	10·35	10·90	**12·45**	7·20	4·40	*2·75*	3·75	**10·65**	9·80	10·35
Индијски Архипелаг, 1871-1901 год., 3551 земљотрес												
одређена честина	8·6	8·8	8·3	8·4	8·2	8·4	8·2	8·2	8·4	**9·4**	7·9	7·9

Линке је десетак година доцније још боље утврдио везе између месечевих фаза и земљотреса, на основу блиских и удаљених земљотреса на Острву Самоа[1]). Он је повезао све земљотресе у дану сваке месечеве фазе са три ранија и три доцнија дана и у двема узастопним годинама показала се ова честина, у процентуалним вредностима:

	блиски земљотреси				удаљени земљотреси			
	I четврт	пун Мес.	III четврт	нов Мес.	I четврт	пун Мес.	III четврт	нов Мес.
1905 год. .	*16·6*	23·0	25·4	**35·0**	23·0	**33·0**	23·0	*21·0*
1906 год. .	*19·2*	19·2	25·8	**35·8**	*18·4*	22·8	25·0	**33·8**
сред. вредн.	*17·9*	21·1	25·6	**35·4**	*20·7*	**27·9**	24·0	27·4

Из таблице се види, да је месечева периода код блиских земљотреса у обе године иста, док је код удаљених скоро супротна. При томе изгледа

[1]) *Dr. F. Linke, Fern- und Naherdbeben auf Samoa.* Met. Zeitschr. 1908., стр. 235.

да је месечева периода за блиске земљотресе реална, а за удаљене да то није случај. *Линке* указује да утицај Месеца у разним пределима може бити сасвим различит: да земљотреси *једног, ограниченог* предела показују зависност од месечевих фаза, али да је у средњој вредности из *свих других* предела та зависност друкчија, према томе, да ли они имају чешће или ређе земљотресе од оног ограниченог предела.

Ако се обрати пажња само сизигијама и квадратурама, без обзира на фазе, добија се јасна разлика у честици између првих и других, и с погледом на блиске, као и на удаљене земљотресе, што се види из ових цифара:

	блиски земљотреси			удаљени земљотреси			проценат
	1905	1906	ср. вредн.	1905	1906	ср. вредн.	свих земљотреса
сизигија . .	58·0%	55·0%	56·5%	54·0%	56·6%	55·3%	55·9%
квадратуре	42·0	45·0	43·5	46·0	43·4	44·7	44·1

У последњим су се годинама понова почеле тражити периоде у разним геофизичким појавама, па и код земљотреса. Тако је *Тернер* на основу кинеских земљотреса од 285 до 1065 год. утврдио 15-омесечну периоду[1]), која би правилније требала да траје 452 дана. У његовим се изравнатим бројевима земљотреса показују два максимума и два минимума честине, који у истини вероватно не постоје. С тога је *Мохоровичић* извршио изравнавање на други начин и добио много правилнији однос са једним максимумом и минимумом честине, као што се види из ових бројева[2]):

месеци	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	збир
изравнати бројеви	46	52	56	60	64	65	66	64	60	56	52	46	41	*39*	40	807
разлика	—4	+3	—10	0	+1	+17	+4	—5	—5	+1	—1	—9	+1	+7	—3	—1

У другом су реду изнесене разлике према одређеном средњем месечном броју земљотреса, без икаквог изравнавања. Ова периода честине се доста добро подудара са *Шадлер*овом периодом код промене поларних висина[3]) и даљи је доказ о њеној тачности.

Поред ових периода има вероватно и дужих, од којих је најинтересантнија периода од два и по столећа (тачније око 260 година). Она изгледа тим истинитија, што ју је *Тернер* доказао за земљотресе и поплаве Нила, *де Лури* за приraштаје дебљине код калифорнијских дрвета, а *Ајнштајн* за периодска колебања месечеве дужине, све у 1919 и 1920 години. Осим тога се са њом прилично тачно подудара и периода од приближно 265 година, коју је *Тернер* утврдио 1914 године за

---

[1]) *H. H. Turner, On the Fifteen-month Periodicity in Earthquake Phenomena.* Monthly Not. ot the Roy. Astron. Soc. Edinburgh 1919, стр. 461—466.

[2]) *S. Mohorovičić, Die zweiundeinhalb Jahrhundert lange Periode der Erdbeben- und Klimaschwankungen.* Met. Zeitschr. 1921., стр. 373—375.

[3]) в. поглавље *Промене поларних висина*, стр. 169.

честину сунчаних пега, на основу кинеских података. Последња је чињеница доказ, да узрок свих ових појава лежи изван Земље[1]).

Сеисмичке области на Земљи. — Неколико деценија после прве карте о географској подели земљотреса, коју је израдио *Малет* 1858 године, обратили су томе питању већу пажњу енглески научењак и оснивач модерне сеисмологије *Џон Милн*, који је дуже време боравио у Јапану, и француски официр *Монтеси де Балор*, који се неколико година бавио у републици Салвадор, у Средњој Америци. Они су питање о географској подели земљотреса схватили на разне начине и с тога дошли до различитих закључака.

Милн у једном од својих радова[2]) расправља о сеисмичкој и вулканској активности, о њиховој честини, узроцима и ефектима, затим о субокеанском клизању и стропоштавању копнених маса, утицају струја и промена у плитким водама. У даљем излагању пружа доказе о променама у облику океанског дна, на основу поремећаја и прекидања каблова, и као главан закључак износи важност и потребу за испитивањем и снимањем сеисмичких области. Доцније је *Милн* остварио своју идеју и издао карту сеисмичких области, обраћајући сву пажњу макросеисмима у његовом смислу[3]). Он претпоставља, да такви земљотреси имају значајан узрок, који се огледа у знатним кретањима маса, и нарочито се ограничава да пронађе средишта оних земљотреса, који су последице поремећаја великих пласа.

Питање о фактичном распрострањењу земљотреса на копнима, било локалне или регијоналне природе, решио је *Монтеси де Балор*[4]). Он је на научној подлози приказао географску поделу свих макросеисама у обичном смислу, на основу 171434 земљотреса, али се сувише ослања о геологију и тражи тектонске везе чак и тамо, где се боље могу објаснити другим узроцима. При толико обилном материјалу могао је доћи до важних и општих закључака.

Пре свега је *Монтеси* увидео, да су земљотреси нормалне и правилне појаве на Земљи, и да представљају изразити геолошки феномен. Пошто је геолошко испитивање толико напредовало, да су упознати основи склопа земљине коре, *Монтеси је* покушао да похвата везе између геолошког склопа и честине земљотреса. Међутим је напред указано са колико се тешкоће може одредити истинска честина и с тога је био упућен на емпиријску класификацију. Он је области са честим и

---

[1]) *S. Mohorovičić*, l. c. У чланку су цитирани и сви радови.

[2]) *John Milne, Suboceanic Changes.* The Geogr. Journ., Vol. X. 1897., стр. 130—146

[3]) *John Milne, Seismological Observations and the Earth Physik.* ibid., Vol. XXI. 1903., стр. 1—25, са картом.

[4]) *F. de Montessus de Ballore, Les tremblements de Terre. Géographie seismologique.* Paris, Colin 1906.

снажним земљотресима назвао *сеисмичким; асеисмичке* су области са слабим и ретким земљотресима, или уопште без њих; *пенесеисмичке* у којима су при променљивој честини доста снажни. Тачне границе између једних и других области не могу се поставити. Честину земљотреса у појединим областима *Монтеси* назива њиховом *сеисмичношћу*, коју означава дужином (у километрима) једне стране квадрата оноликог предела, у коме би се — при једнакој подели земљотреса — догодио један земљотрес годишње. Према томе је честина земљотреса тим већа, што је мањи број километара: сеисмичност Јонских Острва је 6·18, Еубеје 9·7, Атике 19·4, Далмације 29·8, Крита 70, Македоније 92·6, Србије (у границама пре 1912 године) 199, Бугарске 294, Румуније 324·5.

Исто је тако емпиријским, односно статистичким путем *Монтеси* дошао и до других закључака, од којих су најважнији ови[1]):

1. Сеисмичност је у главном пропорцијонална апсолутном рељефу или, другим речима, екстремним нивоским разликама у извесном пределу на пр. висинским разликама између највиших тачака на Кордиљерима и највећих дубина суседне океанске потолине. То се може рећи и овако, да је од два оближња предела мање стабилан онај, у коме је већи средњи нагиб. Млади планински ланци (у геолошком смислу) још су веома високи, јер спољашње деструктивне снаге нису имале довољно времена да их снизе; они су уједно врло нестабилни и опкољени сеисмичким областима, као Хималаје, Стеновите Планине и Алпи. Има и нижих планинских ланаца, јер је протекло време од њиховог издизања омогућило дуготрајнију деструкцију; ту су потреси мање чести и ретко кад разоравајући, а предели око њих су пенесеисмички. У тим планинама, као што су Скандинавски Алпи или Апалешн, тектонски чиниоци исчезавају. Напослетку има стародревних ланаца, као хуронски ланци у Канади, који су ерозијом и денудацијом скоро потпуно уништени; у њима је тектонско деловање исчезло и земљотреси су непознати.

2. Сеисмичност је у најопштијим цртама пропорцијонална интензитету тектонских догађаја, под претпоставком, да се упоређују предели исте геолошке старости. Тиме је оштрије одређен однос између апсолутног рељефа и сеисмичности.

3. Честина потреса и интензитет великих земљотреса опадају у односу протеклог времена од издизања извесног планинског система до наших дана, што ће рећи, да ће у областима млађе тектонике земљотреси бити лакше изазвани. То се може показати на примеру трију европских планинских система: Апенин, Алпи, Пиринеји. То је ред опадања њихове сеисмичности, а уједно и њиховог издизања од најмлађег до најстаријег система, као и ублажавања апсолутног рељефа. Осим тога је *Монтеси*

---

[1]) види и *F. de Montessus de Ballore, Les bases de la théorie géologique des tremblements de terre*, l. c., стр. 401—412.

прорачунао да код европских земљотреса на област каледонског борања отпада 0·6%, на област арморикaнског борања 4·5%, на област алписких борања 86·3%, а на врло пространу, ненаборану област тек 8·6%. С друге стране се у архајским и палеозојским деловима Европе јављају 18·3%, у мезозојским 39·4%, а у терцијерним и кватернерним пределима 42·3% земљотреса.

4. Сеисмичке и вулканске појаве су независне једне од других. И ако се појаве вулканских земљотреса не могу порећи, ипак сеисмичке области нису увек у близини активних или угашених вулкана; шта више, вулканских ерупција може бити и у пенесеисмичким, као и асеисмичким областима.

5. Сеисмичке се области гомилају дуж ивица великих раседних линија у земљиној кори, дуж високих планинских ланаца и дубоких океанских потолина. Те две врсте основних црта земљиног рељефа имају једну заједничку особину што су линеарне, т. ј. што су им дужине знатно веће од ширина. Ослањајући се на *Ог*ове геосинклинале[1]) доказује, да се земљотреси догађају скоро искључиво дуж два појаса, по два највећа круга на Земљи (у геометријском смислу), који се секу под углом од 67°. То је *средоземан* (медитерански или алписко-кавкаско-хималајски) и *циркумпацифички* (или андо-јапано-малајски) *круг*, т. ј. две главне линије високих предела, које су идентичне са мезозојским геосинклиналама. Код њих су се дебели слојеви борали, стискали, ломили, и у терцијеру се, приликом стварања младих планинских система, издигли у геоантиклинале[2]). Циркумпацифички појас, са 38·5% земљотреса, пружа се у главном дуж обала Тихог Океана, а један огранак се око Чимбораса одваја у правцу Колумбије, северног дела Венецуеле, Малих и Великих Антила. Средоземан се појас у главном провлачи од Запада на Исток планинским ланцима северно од Средиземног Мора, преко Мале Азије и Кавказа у Централну Азију, а други огранак преко Хималаја и индокинеских планина до Малајског Архипелага. На тај појас отпада 52·6% земљотреса. Наравно да у тим појасевима има извесних пенесеисмичких и асеисмичких предела, као што изван њих има неколико сеисмичких области.

6. На океанском дну има дубоких потолина, у којима се још није догодило издизање, после њиховог удубљивања. То су геосинклинале, које још нису прешле у геоантиклинале. Напори издизања код њих не

---

[1]) *E. Haug, Les géosynclinaux et les aires continentales. Contributions à l'étude des transgressions et des régressions marines.* Bull. de la Soc. Géol. de la France. 3-me serie. Tome XXVIII. 1900., стр. 617—711, карта на стр. 633.

[2]) *F. de Montessus de Ballore, Géosynclinaux et régions à tremblements de Terre. Esqusse de géographie sismico-géologique.* Bull. de la Soc. Belge de Géol. Tome XVIII. 1904., стр. 243—267.

могу да успу, али је закон апсолутног рељефа одржан, јер је на пр. потолина Тускароре, источно од Јапана, средиште многих субокеанских трусова.

7. У супротности са уским појасевима геоантиклинама има огромних просторија у којима су слојеви остали хоризонтални, као што су платформа Русије и пампаси Аргентине. Оне су тектонским чиниоцима врло мало узнемирене и с тога су асеисмичке. Има и других предела, где су слојеви често доста наборани или поремећени, али су доцније пинепленирани. При свем том што имају релативно равне површине ти предели су пенесеисмички или чак сеисмички. То је случај у Бразилији и највећем делу Африке, а донекле и код канадског штита. Напослетку се у пределима епирогенетских кретања, т. ј. оних, у којима је раније било трансгресија и регресија мора, у извесним случајевима показало, да сеисмичност стоји у одређеном односу са величином и старошћу епирогенетског деловања. Као пример могу послужити средњи део Мисисипијеве долине, балтичка провинција, унутрашњост Кине, сиријска потолина и др.

У појединостима је *Монтеси* дошао до ових закључака о подели земљотреса:

1. северно атлантска континентална област (земље између Стеновитих Планина и Урала)	8939	земљотреса	= 5·21%
2. кинеско-сибирска континентална област .	3479	„	= 2·03
3. аустралијанско-индијска-мадагаскар. „ .	374	„	= 0·22
4. африканско-бразилијанска област . . .	457	„	= 0·27
5. пацифичка област	2033	„	= 1·19
према томе: на континентима се догодило	15282	земљотреса	= 8·92%
6. циркумпацифичка геосинклинала	66026	„	= 38·51
7. средоземна „	90126	„	= 52·57
према томе: на геосинклиналама се догодило . .	156152	земљотреса	= 91·08%

Сасвим је други начин узео *Милн* при својим покушајима, да картографски прикаже географску поделу земљотреса. Он полази само од регистрованих удаљених земљотреса и, пошто је хтео да што тачније одреди положај епицентара, испитао је само велике земљотресе, док потресе мањег проширења, који су кадикад локално доста значајни, не узима у обзир. Велика предност његових испитивања је у томе, што је имао већину материјала са оних станица, које су биле снабдевене истим инструментима и на исти начин радиле. *Милн* је 1903 године употребио посматрања са 38 сеисмичких станица British Association-а од 1899 до 1901 године. Доцније је придодавао податке из даљих година и тиме

добио знатно већи број великих земљотреса, а с друге стране боље утврдио главне сеисмичке области.

Велика је *Милн*ова заслуга, што је нарочито упозорио да примарна кретања маса при великим земљотресима већином настају на океанском дну, и да је његово даље спуштање главан узрок земљотресима великог проширења, као и орогеним процесима на ивичним деловима океана. По њему су главне сеисмичке области на стрмим одсецима континенталне површи. Многа непосредна посматрања иду томе у прилог, јер је за већи број доцнијих земљотреса доказано, да им је епицентар у океану, нарочито у субокеанским потолинама близу континената. *Милн* је у ранијим својим картама означавао сеисмичке области елипсама, док у најновијој карти од 1912 год. уноси само велике осовине[1]). Осим тога је и број области повећао од 12 на 16. Од њих су четири чисто океанске: једна у Атлантском Океану, чија се осовина пружа дуж сумбаринске кичме, од 50⁰ сев. шир. преко Азора, Острва Св. Павла и Асцензије до 40⁰ јуж. шир., две у Индијском Океану, од којих прва од источне обале Мадагаскара паралелно са источном обалом Африке, а друга од западне обале Предње Индије преко Лакадива и Маледива до 50⁰ јуж. шир., и једна у Тихом Океану, од западног краја Каролинских Острва према Паумоту Острвима до Ускрснјег Острва (Рапануи); седам области оивичавају Тихи Океан; једна се припија уз залив Јужне Аустралије; једна се пружа око антарктичког копна; три остале области леже у трима континентима Старог Света: две највеће се подударају са директрисама алписког система и пружају од Атласа до Индијског Архипелага, одговарајући средиземном појасу, а трећа има меридијански правац, од Сирије преко Црвеног Мора и система раседа у Источној Африци.

Рудолф и *Сиртеш* су Монтесиове и Милнове закључке подвргли анализи и изнели, да се извесне поставке *Монтесиа* не могу у потпуности одржати[2]). Код њега је, пре свега, класификација постављена једино према честини, а не и према интензитету, који је друга карактеристична ознака земљотреса. Осим тога, тврдња, да се сеисмичке области налазе скоро искључиво у пределима најмлађих геолошких периода, и да сеисмичност пропорцијонално слаби са њиховом већом старошћу, није потпуно тачна, јер је околина Бајкалског Језера сеисмички у нај-

---

[1]) *John Milne, Seimological Observations and the Earth Physics.*, 1. c. — *J. Milne, Recent Advances in Seismology.* Proc. of the Roy. Soc., Ser A. 77. 1906., стр. 365—376. — *J. Milne, Seismological Investigations.* Report of the Brit. Assoc. Scheffield 1910 (1911), стр. 44—71. — Dr. *John Milne, A Catalogue of Destructive Earthquakes A. D. 7. to A. D. 1899.* Brit. Assoc. for the Advancement of Science. London 1912, 22 стр.

[2]) *Dr. Emil Rudolph* und *Dr. Siegmund Szirtes, Zur Erklärung der geographischen Verteilung von Grossbeben.* Pet. Mitt. 1914. I. Halbband, стр. 124—130 и 184—189, са 2 карте.

већем степену живахна област, као и Калабрија, на СИ. делу Сицилије, а обе су саграђене из најстаријих слојева. Код *Милнових* закључака упозорују, да некоје од његових области нису утврђене епицентрима, нарочито у Индијском и Атлантском Океану. Важније је, што су за известан, али незнатан број његових епицентара утврдили, да нису тачно одређени, ни постављени на право место, јер су употребљене само станице са британске сеисмичке мреже.

С тога су *Рудолф* и *Сиртеш* у новом картографском приказу географске поделе епицентара унели извесне промене и допуне, на основу свега материјала који су имали на расположењу. Рад им почива на рачунском и графичком приказу епицентара за *велике земљотресе* од 1903 до 1909 године. И они, као и Милн, закључују, да највећи број епицентара лежи *испред* обала, на океанском дну, или у близини океанских потолина. Најважније сеисмичке области оивичавају Тихи Океан, али нису повезане једна са другом, него су мање-више одвојене. Те области су већином уске и пружају се упоредно са планинским ланцима:

1. Прва област почиње на западној обали Јужне Америке, око 40⁰ јуж. шир., и скоро непрекидно допире до 12⁰ јуж. шир., пружајући се дуж Кордиљера Анда.

2. Око 8⁰ јуж. шир. почиње друга област. Осовина јој у правцу северних Кордиљера скреће на СИ, преко Колумбије и Венецуеле, и у луку се наставља преко Малих и Великих Антила до Средње Америке.

3. Трећа се област пружа крај пацифичке обале, од 8⁰ до 15⁰ сев. шир., дуж низа вулкана у Средњој Америци.

4. Мексиканска област је карактеристична по томе, што се шири попречно кроз копно, од пацифичке обале до Мексиканског Залива, отприлике по упореднику 19⁰ сев. шир.

5. Пета област има упоредно пружање са венцем Сиера Неваде и Каскада; она почиње од Калифорније и наставља се као релативно узан и дугачак појас до 45⁰ сев. шир.

6. Најизразитија област почиње на најзападнијем делу Северне Америке, око 55⁰ сев. шир., па се без прекида шири преко Аљаске, Алеутских Острва, Камчатке, Курилских и Јапанских Острва, на Риу Киу (Љу-Чу) Острва, Формозу и Филипинска Острва до Целебеса.

7. После извесног прекида почиње нова област, која се као бочни огранак шесте области пружа од Острва Халмахеира упоредно са северном обалом Нове Гинеје, преко Саломонских Острва и Нових Хебрида до 20⁰ јуж. шир.

8. Јужно од Токија одваја се други огранак, који се као засебна област шири на Југ преко Бонин Острва до Гуама, најјужнијег у Маријанским Острвима.

Изолирану сеисмичку област већег простора представља предео око Тонга и Кермадек Острва, а изолирану област малог обима Хавајска Острва.

У Атлантском и Индијском Океану нема изразитих и великих сеисмичких области. У Антлантику је већи број епицентара расут по субокеанској кичми, нарочито око Азорских Острва; преко епицентра око Канарских Острва долази се до оног дела океана, у коме лежи већи број појединачних, изолираних купа, вероватно вулканског порекла. Цео тај предео је једина већа сеисмичка област у Антлантику. Мање сеисмичке области у њему представља западна половина Исланда, а у Поларном Мору северозападан део Шпицбергена. У Индијском Океану се осовина епицентара поклапа са меридијаном 60⁰ ист. Гр. од 30⁰ јуж. до 10⁰ сев. шир. Да ли се одатле преко иранске висоравни продужује до Каспијског Мора не може се са сигурношћу рећи, ма да су на тој линији доказани 6 епицентара.

Нешто јужније од места на коме се од циркумпацифичког лука одваја бочан огранак код Острва Халмахеира, почиње други велики сеисмички појас: средоземни или медитерански. Као што је споменуто, он се највећим делом поклапа са низом планинских ланаца, који су постали из т. зв. Тетиса, бивше геоантиклинале:

1. Од лука Банда Острва почиње прва медитеранска сеисмичка област, која се као узан појас пружа преко острва Флореса, Јаве, Суматре, Никобара и Андамана, кроз долину Иравадија на Север, до унутрашњости Јужне Кине.

2. Сасвим одвојено и у источно-западном правцу шири се друга област дуж ланаца Хималаја, до сучељавања са Хундукушом.

3. У трећу, пространу сеисмичку област спадају Јерменија и Мала Азија, у коју се може урачунати и појас сиријске потолине.

4. Динарско-пиндска област (по писцима илирско-грчка) везује се са трећом облашћу преко Македоније на Северу, а низом епицентара око Крита на Југу.

5. Упоредно са четвртом облашћу простире се уз западне стране Апенина италијанска област, која захвата и Сицилију.

6. Лук Атласа и северно од њега паралелан лук јужне Португалије и Шпаније представљају последњу област великог медитеранског појаса, који у главном има западно-источан правац.

Али, као што има известан број изолираних океанских области, има и изолираних континенталних сеисмичких области на еуразијском копну. Највећи простор заузима сеисмичка област у Кини, у облику неправилног четвороугла, чије су крајње тачке Хонг-Конг, Куку Нор, Квеј-Хва-Чонг, Шанг-Хаи. Много је мања област Бајкалског Језера са његовим југозападним проширењем, која због свога положаја заслужује

нарочиту пажњу. Велики степен сеисмичности у тој области тим је чудноватији, што она припада ивичном делу најстаријег дела земљине површине, т. зв. темена еуразијског штита.

Код ове поделе на земљотресне области треба указати и на једну важну принципијелну чињеницу. При свим досадашњим покушајима о регионалној подели земљотреса полазило се од познатих односа, да се епицентри мање-више групишу око појединих предела, који су одељени просторима без земљотреса. Међутим није искључено, да умирена огњишта земљотреса у току годинâ оживе или да се активна угасе, и да се у истом пределу догађа час више, час мање земљотреса. Према томе је разумљиво, да ће се и границе и бројеви група повећавати или смањивати, ако се велика област раздели у неколико споредних или се неколико мањих споје у већу област. С тога је најправилније говорити уопште само о зоналној подели, без сувише детаљног ограничавања појединих области.

Ако се међусобно упореде све сеисмичке области долази се до важног закључка, да у целом циркумпацифичном луку постају велики земљотреси и да су у том погледу све циркумпацифичке области квалитативно једнаке. У великом медитеранском појасу односи су сасвим другачији, што се закључује и по његовој расцепканости на неколико мањих области. Ту има тек неких, које се, у погледу појавâ великих земљотреса, могу упоредити са циркумпацифичким областима. Ако се проуче инструментални сеисмограми, видећи се, да Атлас, Апенин, Мала Азија, Сирија и Јерменија нису предели у којима постају велики земљотреси у смислу *Рудолфа* и *Сиртеша*, а још мање Пиринеји, Алпи, Карпати са њиховим низијама и Кавказ.

При упоређењу географске поделе епицентара (код великих земљотреса) са тектонским склопом се показало, да се највећи број епицентара налази око орогенетских раседа, т. ј. крај оних раседних линија, које су ограничене на младе, терцијерне наборане планинске системе у циркумпацифичком и медитеранском појасу, и које се најчешће пружају у уздужном правцу, упоредно се венцима, док се на епирогенетским раседним линијама, које имају много веће распрострањење и претежно меридијонален правац, не може уочити ни најмањи траг сеисмичности, ма да се раседи по своме постанку не разликују. У епирогенетске раседе урачунати су сви они, који немају веза са набораним планинама, него су постали на пласама и знатно утицали на општи облик ивичних копнених предела, као што доказује источна обала Африке, обале Арабије, Предње Индије, Италије, западна обала Аустралије и т. д. Према томе, супротност у сеисмичкој активности између орогенетских и епирогенетских раседа није искључива последица тектонског склопа, него друге чињенице.

Ако се место тектонике посмотре вулканске области, доћи ће се поново до важног закључка, да се велики број сеисмичких и ових области добро подудара. То је нарочито уочљиво око ивичних делова Тихог Океана, где се у уздужном пружању обе области потпуно поклапају. У медитеранском појасу су, међутим, вулканске области изван сеисмичких, и подударање између епицентара и вулкана, по њиховом положају и распореду, није толико изразито. У најновије време је доказано, да око источно-африканског система раседних линија и потолина, где има пуно вулкана, настају велики земљотреси, а вероватно то вреди и за велики, али неиспитани предео Тибета. Али, код југоисточне Аустралије, Мадагаскара и Арабије то није случај, ма да и у њима има пространих вулканских предела и изразитих раседних линија. Даље се виде неке друге заједничке појаве: да вулкани и епицентри великих земљотреса најчешће леже на унутрашњим странама набораних планина и да претпостављају ивичне пределе великих утолегнућа и потолина. Та заједничка тежња одговара чињеници, да се магма на тим деловима диже у више нивое, него на другим местима.

Доказ за то дају петрографска испитивања о особинама магме, којима је утврђено, да се према саставу еруптивних стена могу разликовати три магматичне провинције, од којих су најглавније пацифичка и атлантска. Њихове стене имају извесне заједничке хемијске и петрографске ознаке, што указује на порекло из заједничке магме; иначе, стене атлантске магме имају више алкалија, а мање креча, гвожђа и магнезија — ако се пође од истих садржина силиција —, док пацифичка магма има релативно више креча, гвожђа и магнезија. На основу тих разлика *Рудолф* и *Сиртеш* закључују, да се географско распрострањење пацифичке магме до појединости подудара се поделом епицентара, јер је она од терцијерног доба ограничена на обе велике геосинклинале: циркумпацифичку и медитеранску[1]).

Пацифичкој провинцији припадају сви делови сеисмичких области на циркумпацифичком луку и његовим огранцима. У медитеранском појасу почиње пацифичка магма на јужној страни Сиера Неваде и преко острва Алборана прелази у Атлас. Од Етне се пружа уска пруга ка Северу, дуж обале Тоскане, преко Еуганејских Брежуљака, вулканских предела код Виченце, кроз Алпе до Граца, и даље до Бакоњске Шуме. Пацифичкој магми припадају еруптивне стене унутрашње стране карпатског лука, балканског лука и Македоније, а преко острва Санторина прелази у Малу Азију. Одатле се пацифичка магматична провинција шири преко Јерменије на Кавказ, и преко Елбурса до вулканске области у Белуџистану. После великог прекида појави се у вулканској области

[1]) *Dr. E. Rudolph u. S. Szirtes*, l. c. стр. 185—187.

Тибета, па понова у Бирми и долини Иравадиа, и преко малих вулкана у Индијском Океану везује се са Суматром.

Географско распрострањење атлантске магме је једноставније, јер се без прекида шири преко великих простора. Цела Аустралија, Африка са Мадагаскаром, Арабија, Сирија, стара бразилијанска висораван, Антарктик, без његовог западног дела, Пиринејско Полуострво, без Сиера Неваде, Апенин са Везувом и Флегрејским Пољима, и Динарске Планине, све су то предели атлантске магме. Она се и у осталом делу Еуразије шири северно од пацифичке магме: од француског Централног Платоа, преко Вогеза, ческе Средње Планине, Судета и Крима у јужној Русији до централних делова Туркестана. Напослетку у провинцију атлантске магме спадају и три океана: Атлантски, јужно од Исланда, Индијски и Тихи, са изузетком циркумпацифичког лука и његових огранака.

Трећа магматична провинција је циркумполарна, која обухвата све поларне пределе и „трап" Декана у Источној Индији.

Пошто се сматра, да је пацифичка магма старија, и да је као таква на вишем нивоу у земљиној кори, него млађа, атлантска магма, мора се претпоставити, да ће делови земљине коре са подлогом атлантске магме имати већу дебљину, па с тога и већу чврстину. Последица је тога, да у тим пределима није било борања у млађим геолошким периодама. Атлантска је магма само на вертикалним раседима имала могућност, да се из већих дубина излије до земљине површине и проузрокује вулканске појаве, као што се могло догодити у систему раседних линија у Источној Африци. Тиме се долази до општег закључка, да тесне везе између географске поделе набораних планина, вулкана и епицентара великих земљотреса нису локалне, него пре свега генетске природе, и да се своде на виши положај, па с тога и на интензивнији начин деловања пацифичке магме. Томе одговара чињеница о испрекиданом распореду епицентара у медитеранском појасу, а континуалном око обала Тихог Океана. Тиме ће бити разумљивије, зашто су у провинцији антлантске магме предуслови за исте односе између трију појава, као код пацифичке магме, ограничени само на места, где велики раседи просецају земљину кору до оних дубина, у којима се јавља атлантска магма.

ЗЕМЉИНА МАГНЕТИЧНОСТ

У Старом се Веку знало за један камен, који је у стању да привуче мање гвоздене предмете, и према месту где се налазио, Магнезији, у Малој Азији, назван је магнетом. Доцније је сличан камен нађен и у другим пределима: Скандинавији, Русији, Северној Америци и т. д., а при новијим је испитивањима утврђено, да камене магнетичности има нарочито у пределима вулканских и кристалинских стена, и ако у њима не мора

бити магнетнога гвожђа. Међутим су све то мање више споредније појаве и најчешће имају локалан, али често доста велики значај.

Много је важније, да се и Земља као целина понаша као огроман магнет, и с тога се може говорити о земљиној магнетичности. Даљи ће задатак бити, да се нарочита пажња обрати тим појавама, ма да ће се гдегде упозорити и на важније локалне односе.

Елементи земљине магнетичности.

Одређење магнетних елемената. — Код земљине се магнетичности могу издвојити неколико различитих елемената, од којих једни дају ознаку праваца, а други ознаку снаге. У прву групу спадају деклинација и инклинација, а у другу хоризонталан, вертикалан и тоталан интензитет[1]). За практичне сврхе имају већи значај елементи праваца, нарочито деклинација, која служи морнарима за оријентацију на океанским пучинама, а рударима као средство, да утврде правце света у подземним окнима.

Услед земљине магнетичности исти врх магнетне игле увек је управљен у правац Севера, ма како се компас поставио. За ту особину знали су Кинези, већ десетак столећа пре Хр., али се не зна да ли су је практички применули. Код морнарства се магнетна игла као оријентацијоно средство почела употребљавати од XII. столећа, јер се уопште веровало, да јој један врх пада у правац северног пола. Али је око половине XV. столећа утврђено, да магнетна игла одступа од правца С-Ј[2]), а *Христифор Колумб* је приликом свога пловљења по Атлантском Океану доказао, да астрономски меридијан и магнетна игла стоје под извесним углом, који се до извесног времена звао „варијација“, а тек доцније је назван деклинацијом.

Везе између елемената земљине магнетичности могу се добити с помоћу просторног координатног система, у коме су компоненте: ширина, дужина и дубина. У том систему је хоризонталном компонентом X означен правац Север-Југ, хоризонталном компонентом Y правац Запад-Исток, а вертикалном Z правац према надиру (в. скица 144).

Ако се магнетна игла на извесном месту земљине површине постави у хоризонталан правац, а њезина осовина у усправан, игла ће из астрономског правца Севера најчешће скренути, било на десно или на лево. Она, дакле, неће падати у правац географског меридијана, него

---

[1]) Најпотпуније су изнесени нови назори о земљиној магнетичности у делу *Dr. Alfred Nippoldt, Erdmagnetismus. — Erdelektrizität.* „Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik und Meteorologie“ 10. Aufl. IV. Band., стр. 1295—1464. Braunschweig 1915. Vieweg u. Sohn, и *E. Mascart, Traité de magnétisme terrestre.* Gauthier-Villars. Paris 1900. VI + 443.

[2]) *G. Hellmann, Über die Kenntnis der magnetischen Deklination vor Christoph Columbus.* Meteorol. Zeitschr. 1906., стр. 145—149.

источно или западно од њега. Угао тога скретања, $\sphericalangle XOh_1 = D$, означава *деклинацију,* а правац, у који магнетна игла падне, *магнетан меридијан места.* — Ако осовина магнетне игле лежи у хоризонталном положају, а магнетна игла ако је постављена тако, да су јој врхови управљени у правац магнетног меридијана, њен положај најчешће неће остати хоризонталан, него ће се северан врх нагнути према земљиној површини. Величина тога нагиба, $\sphericalangle h_1Ot_1 = I$, означава *инклинацију,* односно инклинацијони угао. У томе правцу делује земљина магнетна снага, и исто онолико привлачи један врх игле, колико други одбацује. Деклинацијом и инклинацијом је правац земљине магнетичности тачно одређен.

Скица 144.

Да би се добио јаснији појам о снагама, треба поћи од претпоставке, да момент[1]) земљине магнетичности има величину 1, која би означила њезин *тоталан интензитет* T, на месту посматрања. Он је у скици представљен линијом $Ot = T$. И интензитет се може разложити у правоугаоне компоненте, као и свака друга снага. Једна је од њих паралелна са компонентом X, $Mh \parallel LO$, друга са компонентом Y, $Lh \parallel OM$, а трећа са компонентом Z, $ht \parallel Ov$. Обе хоризонталне компоненте одређују у хоризонталној равни удео *хоризонталног интензитета* H, који је изражен резултантом Oh, док је компонентом $Ov = ht$ одређена величина *вертикалног интензитета* V.

Из скице се могу утврдити односи између елемената и компонената, и добијају се ове вредности[2])

$$H = \sqrt{OM^2 + OL^2} \quad \text{или} = T \cos I \qquad \tan I = \frac{V}{H} = \frac{V}{\sqrt{OM^2 + OL^2}}$$

$$T = \sqrt{V^2 + H^2} \quad \text{или} = H : \cos I$$

$$V = \sqrt{T^2 - H^2} \quad \text{или} = T \sin I \qquad \tan D = \frac{OL}{OM}$$

Одређење елемената врши се веома осетљивим инструментима. За одређење деклинације и интензитета служи т. зв. магнетан теодолит, за инклинацију Wild-Schering-ов индуктор, а поред њих има магнетометара или вариометара и магнетографа, али овде није место да се о њиховом саставу опширније говори.

Одређење магнетног интензитета. — Најједноставније се елементи магнетног интензитета могу одредити магнетном иглом. Ако је

---

[1]) *Момент* је она снага, коју има тело у кретању, или продукт између масе и брзине тела.

[2]) *C. F. Gauss, Die Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes Maass zurückgeführt.* Ostwald's Klassiker der exacten Wissenschaft. № 53. Leipzig, Engelmann 1894.

она удешена тако, да виси о вертикалној осовини, да је у хоризонталном положају и да је у равнотежи са земљином магнетичношћу, остајаће у потпуном миру. Али, када јој се приближи магнет почеће да се креће, јер ју магнет привлачи себи, а земљина магнетичност тежи да ју доведе у миран положај. Према брзини и трајању нихања може се одредити снага хоризонталног интензитета. На сличан се начин одређује и снага вертикалног интензитета. У том случају треба иклинацијону иглу поставити у правац магнетног меридијана и ако се стави у кретање, она ће се, под утицајем целокупне магнетне снаге, доста дуго нихати око свога тежишта, као што се шеталица креће под утицајем земљине теже. Ако се ови покушаји чине на неколико разних места, видеће се, да је број нихања у истом времену различит, и доказано је, да интензитети стоје у правом односу са другим степеном броја нихања, под претпоставком истог времена.

Ако се тражен тоталан интензитет означи са T, момент инерције код магнетне игле са K, њен магнетан момент са M, биће трајање нихања инклинацијоне игле τ изражено формулом:

$$\tau = \pi \sqrt{\frac{K}{MT}}.$$

Ако се при мерењима на разним местима употреби иста игла, остаће M и T непромењиво, и тада ће односи између тоталног интензитета и трајања нихања бити

$$T : T_1 = \tau_1^2 : \tau^2,$$

или, ако се трајање нихања τ замени бројем нихања $n = 1 : \tau$

$$T : T_1 = n^2 : n_1^2$$

Хумболд је, приликом својих путовања по тропској Јужној Америци (од 1798 до 1803 године), одређивао на врло много места број нихања код инклинацијоне игле и при томе је утврдио, да магнетна снага расте са географским ширинама. Осим тога је у Перуанским Андима, око Микуипампа и Кајамарка, на 7^0 јуж. шир. и 79^0 зап. дуж. Гр., нашао место без инклинације и са најмањим интензитетом. Из тога је закључио, да је место без инклинације уједно и место најмање магнетне снаге, — ма да то није тачно — и према томе узео магнетну снагу тога места за јединку интензитета[1]). У Микуипампи је магнетна игла за 10 минута учинила 211 нихања, а пошто је у Паризу за исто време учинила 245 нихања, могла се прорачунати релативна величина снаге у Паризу, према следећој једначини

$$1 : T = 211^2 : 245^2,$$

по којој је

$$T = 245^2 : 211^2 = 1{\cdot}348.$$

[1]) *Alex. v. Humboldt, Kosmos.* I. 1845., стр. 432.

Међутим је доцније доказано, да магнети у току времена слабе и с тога се никад не би тачно знало, да ли узрок опаженој разлици у трајању нихања лежи у промени земљине магнетне снаге или бар донекле у промени магнетизма игле, јер је други степен броја нихања код игле пропорцијоналан продукту магнетног интензитета игле и *Земље.* С тога је *Гаус*, много доцније, указао на други начин, којим се интензитет може апсолутно мерити: Магнетну шипку треба управити у правац магнетног меридијана и пустити да се слободно њиха, а затим на измереном удаљењу поставити иклинацијону иглу и одредити угао, за који под утицајем магнетне шипке скрене. Ако се комбинију оба резултата добиће се одређење истинске земљине магнетне снаге. Величина девијацијоног угла зависи од квоцијента магнетног момента шипке и интензитета земљине магнетне снаге, док трајање нихања зависи од продукта ових величина. У случају, кад је продукт и квоцијент двеју непознатих вредности познат, може се једна од њих одредити, независно од познавања друге. На тај се начин удео хоризонталног интензитета код земљине магнетне снаге може одредити апсолутним мерилом и независно од магнетичности шипке, ма да с помоћу броја њених нихања и моћи скретања. Тоталан интензитет може се одредити напред изнесеним односима између елемената и компонената[1])

Гаус је за јединку магнетне снаге узео ону, која на маси једног милиграма за време једне секунде произведе акцелерацију од 1 милиметра. По Гаусовој јединци је 19. јуна 1834 год. био хоризонталан интензитет у Гетингену $H = 1{\cdot}775$, а пошто је истог дана инклинацијони угао био $I = 68^0 1'$, одређен је тоталан интензитет формулом

$$T = \frac{H}{\cos I} = \frac{1.775}{0.37433} = 4.742,$$

т. ј. магнетном снагом у Гетингену била би на једном милиграму за време једне секунде изазвана акцелерација од 4.74 милиметра. Ако се за јединке мерила узму центиметар, грам и секунда — које су данас опште примљене вредности — треба *Гаусове* магнетне јединке поделити са 10, да би се редуцирале на C-G-S систем или у *апсолутне јединке.* Као што се, дакле, снага електричне струје мери у *Ampère*-у, напон у *Volt*-у и т. д., тако се снага магнетног поља мери у *Gauss*-у или у апсолутном мерилу, јер обе јединке стоје у правом односу.

Подела магнетних елемената на Земљи. — Код сталне земљине магнетичности се показује, да се просторна подела елемената непрестано мења, што се најбоље може уочити при упоређењу графичких приказа. Код њих се поступа на исти начин, као и код графичког при-

[1]) *C. F. Gauss u. W. Weber, Resultate aus den Beobachtungen des magnet. Vereins im Jahre 1838.* Göttingen.

каза поделе висина, температура, густине становништва, т. ј. исте се вредности магнетних елемената везују линијама, на основу којих се добијају *изомагнетне курве*. Али, карте, у које су оне унесене, вреде само за извесно, релативно кратко време. При упоређивању истих елемената у неколико узастопних година може се лако запазити, да се облици изомагнетних курви од године до године мењају, и да се најбрже од свих елемената мења деклинација.

Линије истих деклинација зову се *изогоне*[1]); оне се већином износе у картама *Меркаторове* пројекције и с тога показују веома заплетене односе, нарочито око поларних предела, јер се географски и магнетни полови не поклапају. У скици 145. приказан је систем изогона за почетак 1900. године. Ако се изогоне представе на картама поларне пројекције заплетености ће нестати, и донекле ће се показивати сличности између географских меридијана и изогона, т. ј. магнетних меридијана.

Скица 145. — Изогоне за почетак 1900. год. (по Neumayer-у). — Линије западних (——) и источних (- - -) деклинација.

На највећем делу Земље деклинација има према географском меридијану одређен положај, али је око двеју тачака неодређена. Магнетна игла око тих тачака може да стоји са географским меридијаном под свима угловима и да не мења свој правац, јер ту леже земљини *магнетни полови*. Северан магнетан пол је у арктичком делу Северне Америке, на Земљи Краља Виљема, на 69°18′ сев. шир. и 96°27′ зап. Гр.,

[1]) од грчког ἴσος = једнак и γωνία = угао.

а јужни магнетан пол је друга енглеска антарктичка експедиција (1909. год.) поставила на 72°25′ јуж. шир. и 154° ист. Гр., на антарктичком копну између Вилкесове и Викторијине Земље.

Деклинације имају све вредности од 0° до 180°; оне су „источне“, или негативне, ако је северан пол магнетне игле померен источно од географског меридијана, а „западне“, или позитивне, ако је обрнут случај. На границама између предела западних и источних деклинација леже изогоне са 0°; оне се зову *агоне* и на њима се географски и магнетан меридијан подударају, т. ј. магнетна игла пада у правац географског меридијана.

На океанима су изогоне унесене само приближно, и најновијим научним експедицијама је утврђено, да знатно одступају од истинских вредности. Ипак још нема карата са новим вредностима.

Скица 146. — Изоклине за почетак 1900 године. (по Neumayer-у). — Линије северних (—) и јужних (- -) инклинација).

Много једноставнији се облици показују код *изоклина* или линија истих инклинација[1]). Код њих је карактеристично, да од екватора према већим географским ширинама добијају све веће вредности, и да се на појасу од 40° сев. до 40° јуж. шир. пружају релативно паралелно са упоредницима. На већим географским ширинама изоклине све више одступају од упоредника и добијају све изразитије елиптичне облике, са сре-

[1]) према латинском *inclino, — are*, реч грчког порекла од κλίνω = клатим, нагињем се. По томе и појам изоклина.

диштем око магнетних полова, на којима је инклинација 90°. С друге стране, око екваторијалног појаса има известан број места, на којима инклинацијона игла стоји хоризонтално и где је I = 0°. Та места означују *магнетан екватор,* који исто онако одступа од географског екватора, као што и магнетни полови одступају од географских. Магнетан екватор лежи на источној земљиној половини, око 10° северније од географског екватора; на централном делу Тихог Океана пресече земљин екватор и спушта се све јужније, до 17° јуж. шир. око бразилијанске обале, а затим нагло скреће на СИ., према ушћу Нигера. Цео систем изоклина за почетак 1900. године изнесен је у скици 146.

Код графичких приказа магнетних снага зову се линије истих интензитета *изодинаме*[1]) и према томе су линије истог хоризонталног интензитета *хоризонталне,* а истог вертикалног интензитета *вертикалне изодинаме.* Код хоризонталног се интензитета види, да на целој Земљи има позитивне вредности и да се мења у обрнутом односу са инклинацијом, јер хоризонталне изодинаме имају око екватора највеће вредности, а према већим географским ширинама се смањују. То се јасно показује, ако се упореди скица 146. са скицом 147., у којој су унесене хоризонталне изодинаме. Апсолутан максимум се налази између Сиама и Борнеа, са 0·39 апсол. јед., а секундаран максимум у Атлантском

Скица 147. — Хоризонталне изодинаме за почетак 1900. год. у CGS систему (по Neumayer-у)

[1]) грчко δύναμις = снага, моћ; од глагола δύνασθαι = моћи, бити способан.

Океану, западно од Мексика. Места, где му је вредност нула, означују у правом смислу магнетне полове.

Док хоризонтáлан интензитет и инклинација имају супротне правце, вертикалне се изодинáме скоро потпуно слажу са изоклинама. Као и ове, тако и вертикалне изодинаме имају северно од магнетног екватора позитивне вредности, одговарајући северним инклинацијама, а јужно од магнетног екватора негативне вредности, према јужним инклинацијама. Вертикалан интензитет је на магнетном екватору смањен на нулу; одатле се, према већим географским ширинама, постепено појачава, т. ј. на северној полукугли има све веће позитивне, а на јужној све веће негативне вредности, и око магнетних полова достиже максимум. Оба максимума вертикалног интензитета леже неколико степена даље од магнетних полова; максимум око северног пола има +0,634 Gauss-а, а максимум око јужног пола је нешто јачи, са — 0,674 Gauss-а.

И линије истих тоталних интензитета стоје у тесној вези са изоклинама и вертикалним изодинамама. *Динамичан магнетни екватор* везује места најмањег тоталног интензитета и само нешто је померен од правца изоклине 0^0 или магнетног екватора. На њему је тоталан интензитет 0,29 Gauss-а, а око динамичних магнетних полова 0,69 Gauss-а. Пошто је земљина тежа на екватору 978·0 цм., а на половима 983·2 цм., биће тоталан интензитет око 1425 (9832 : 0,69) до 3400 (9780 : 0,29) пута слабији од земљине теже.

Правилно и неправилно земљино магнетно поље

У графичким приказима свих магнетних елемената се показује, да Земља није саразмерно магнетизирана, но ипак се може претпоставити, да је удео правилног магнетизирања негде у земљиној унутрашњости, а преко њега да лежи удео поремећаја. Да би се то доказало, *Бецолд* је за разна места извео одступања истинских вредности земљиног магнетног потенцијала[1]) од средње вредности целог упоредника, с помоћу којих је добио *аномалије*, а међусобним повезивањем местá са истим аномалијама т. зв. *изаномале потенцијала*[2]). Ове представљају линије равнотеже код магнетног система, који би морао лежати изнад другог, нормалног система, да би се добила фактички опажена подела. Ако се сматра, да је опажена подела земљиних магнетних појава последица поремећаја друге, једноставније нормалне поделе, изаномале би давале непосредну

---

[1]) *Потенцијалом* се означава могућа, или латентна сила, одн. снага, која није активна.

[2]) *Wilhelm v. Bezold, Über Isanomalen des erdmagnetischen Potentials.* Gesammelte Abhandlungen aus den Gebieten der Meteorologie und des Erdmagnetismus. Braunschweig 1906., стр. 371—386.

слику поремећаја. При теоретском испитивању *Бецолд* узима, да је потенцијал V на извесном месту земљине површине:

$$V = V_n + V_a,$$

где V_n означава средњу вредност потенцијала за цео одговарајући упоредник или „нормалан потенцијал", а V_a аномалију, т. ј. величину, коју средњој вредности треба додати или од ње одузети, да би се добила фактична вредност потенцијала за место посматрања. При крају излагања износи, да се V_n може врло приближно изразити формулом

$$V_n = K \sin \beta,$$

у којој је K константна, а β географска ширина.

Међутим, *Шмит* и *Бауер* указују, да се до сличног израза долази, ако се из *Гаусове* Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus употреби само први члан његових редова. Према томе ће бити

$$\frac{V_n}{R} = \frac{K}{R} \sin \beta = g^{1,0} \sin \beta,$$

где је R земљин полупречник, а $g^{1,0}$ први коефицијент првог члана *Гаусових* редова[1]). Та формула, према томе, није ништа друго, него физички израз потенцијала на површини потпуно једнолико магнетизиране кугле, чији би магнетан момент био $\frac{K}{R} R^3 = g^{1,0} R^3$. Ма колико, дакле, на први мах изгледа, да је подела неправилна, ипак у главном постоји правилан удео.

Правилан удео земљиног магнетног поља одговара саразмерно и једнолико магнетизираној кугли, чија би осовина била паралелна земљиној ротацијоној осовини и просецала би земљину површину на 78°34′18″ сев. шир. и 68°30′36″ зап. дуж., отприлике на северозападном врху Гренланда. Пошто је одређено, да је однос $K : R = 0{,}32298$, био би магнетан момент правилног поља $0{,}32298\ R^3$, дакле главан удео целокупног земљиног магнетног поља.

Неправилно је поље многолико, јер у њему има око 8 полова. Узрок томе неправилном магнетизирању лежи можда у подели копна и мора, јер су Тихи Океан и Аустралија слабо јужномагнетни, а Европа и Африка јако јужномагнетни, напротив је Северна Америка слабо северомагнетна, а Јужни Атлантик јако северомагнетан. Међутим је вероватније, да ће неправилност бити последица неједнаке поделе ваздушних температура, или још више температура у тлу и океану, јер је експериментално доказано, да се загрејано гвожђе и челик могу мање магнетисати, него ако су хладни, и да гвожђе при температурама око 800°C скоро потпуно изгуби моћ магнетизирања[2]). Из тих разлога су и сви предели са позитивном термичком аномалијом, т. ј. који су за своје

[1]) *Wilhelm v. Bezold, Der normale Erdmagnetismus.*, на истом месту, стр. 387—403.

[2]) *Tammann, Der Zustand des Eisens im Erdinnern.* Naturwiss. Wochenschrift 1904. Neue Folge III. стр. 393.

географске ширине сувише топли, јужномагнетни, а остали, који су сувише хладни, северомагнетни.

Локални и регијонални предели поремећаја. — Вредности, које су из *Гаусових* редова добијене за магнетне аномалије, дају само у општим потезима појам о подели земљине магнетичности, док се у мањим пределима могу показати доста знатна одступања. То су предели поремећене магнетичности, који се по величини простора могу поделити на локалне и регијоналне. У свима земљама, где су до сада снимани елементи магнетичности, има мање или више предела са поремећајима.

Доказано је, да се велики поремећаји јављају нарочито у пределима са гвожђаним рудама или са еруптивним стенама, и да се нарочито јако дају магнетизирати базалт и гранит. Сви су ти предели поремећаја знатно више магнетични, него што одговара њиховим географским ширинама. Тако су на пр. *Торп* и *Рикер* у British Association-у указали на везе између геолошког састава Велике Британије и регијоналних простора поремећаја, на основу посматрања деклинације са 200 и више станица. Ту су поремећени предели на раседу дуж Каледонског Канала, код базалта на Хебридима, у угљеним мајданима јужне Шкотске, на танком слоју јуре у југоисточном Јоркширу, код базалта у средњем Велсу и Шропширу, око лондонске палеозојске кичме, код базалта Антрима у Ирској и у вулканским стенама у Коноту, при западној обали Ирске[1]). С друге стране је *Ешенхаген* при магнетном снимању Харца чинио више од 3000 мерења и дошао је до главног закључка, да на елементе земљине магнетичности локално много више утичу магнетне стене, него раседне линије у њима[2]). *Паулзен* је испитивао магнетичност Острва Борнхолма и износи, да се на западној и северној обали јављају јаке хоризонталне снаге, које су управљене према унутрашњости копна, док су оне на јужним обалама и у унутрашњости незнатне, али је ту поремећај вертикалне компоненте велики и северан крај игле је јако привлачен на доле[3]). Мерењем деклинација је доказано, да се поремећајне снаге осећају до 15 километара далеко од обале, јер се и плићак јужно од Борнхолма, Rönnebank, понаша као острво и средиште је привлачних поремећајних снага. Магнетичност Борнхолма је проузрокована гранитом, на северном делу острва, и диабасом, који је јако магнетизиран. Кад се магнетна игла приближи граниту, он ју скрене за 2^0.

По *Ниполду* је највећи познат поремећај у Русији, у курској губернији. Тамо би, по правилу, деклинација била од 0^0 до 8^0 ист., али се

[1]) в. реф. *Einfluss des Bodens auf den Erdmagnetismus* у Met. Zeitschr. 1890., стр. 36.

[2]) в. Verhandl. des VIII. Deutsch. Geographentages in Berlin 1889., стр. 72. и *Ettrick W. Creak, Territorial Magnetism in its Relation to Geography.* The Geogr. Journ. Vol. XXII. 1903., стр. 446—448.

[3]) *A. Paulsen, Régime magnétique de l'île de Bornholm.* Extrait du Bull. de l'Acad. Roy. d. Sc. de Danemark, 1896.

на удаљењима до неколико стотина метара налазе деклинације од 96°32′ зап. до 34°2′ ист. Исто би тако инклинацијони угао требао да је 68°, дочим је инклинација на једном месту 55°22′, а на другом 72°2′; шта више, гдегде се јавља и магнетан пол са инклинацијом од 90°. То исто се показује и на елементима интензитета, који су врло знатно повећани. На једном месту је тоталан интензитет био 1,0204, дакле много јачи него на магнетном полу. Судећи према толиким великим интензитетима, мора бити да у томе пределу курске губерније има врло моћних гвожђаних руда, ма да се бушењима до 2000 метара дубине још није до њих доспело. — У области Рапакиви, близу Виборга, опазио је један од руских официра при прецизијоном нивелману поремећај од 180°, т. ј. северан врх компаса био је окренут Југу. Врло знатан поремећај се јавља и на Новом Селанду, око места Инверкаргил, где се у кругу са полупречником од 10 метара нашле разлике до 56°.

Предели магнетних поремећаја имају и практичан значај, нарочито с погледом на оријентацију. Ако морнарима и ваздухопловцима нису добро позната места, где су нормални односи поремећени, могу да скрену на сасвим погрешан пут, а лађе кадикад да буду изложене опасности. Тако су на пр. приликом експедиције „Challenger"-а вршена посматрања магнетних елемената и при томе се утврдило, да многа од океанских острва показују уочљиве поремећаје, који се не могу објаснити магнетичним утицајем видљивих стена. То је нарочито случај око Острва Бермуда, која су саграђена од коралног креча. Уопште се опазило, да су острва северно од магнетног екватора привлачила северан крај магнетне игле на доле, а деклинацијону иглу у правац виших делова копна, док се јужно од магнетног екватора догађало обрнуто, т. ј. тамо је јужан врх игле био привлачен на ниже.

Осим тога ће се свестранијим испитивањем предела са магнетним поремећајима и уопште тачнијим одређењем магнетних елемената добити сигурнији податци и о геолошком саставу дубљих слојева земљине коре. То ће често бити од практичног значаја, јер су у Шведској и Јужној Русији, на основу магнетних премеравања, одређена лежишта гвожђаних руда.

Локални поремећаји у главном настају услед близине усамљених базалтних и гранитних стена и због малог простора су најчешће без већег значаја.

Варијације земљине магнетичности.

Из свега досадашњег излагања и из свих чињеница се видело, да се и Земља као целина понаша као огроман магнет, на што је указао још *Цилберт*. Он је веровао, да је Земља постојан магнет и изнео доказе о инклинацији, ма да се за њу вероватно знало још око половине

XVI. столећа, као и важну поставку, да средиште опажених земљиних магнетних снага треба тражити у њеној унутрашњости[1]). *Гаус* је много доцније успео, да заплетене односе код појава сталне земљине магнетичности доведе у склад и изнесе их у сједињеном облику[2]). Међутим се код те сталне земљине снаге јавља велики број непрестаних промена, другим речима: земљино магнетно поље подлежи непрестаним варијацијама, којима ће бити посвећено ово цело поглавље.

Главан узрок магнетним варијацијама лежи у узајамном деловању земљине сталне магнетичности и Сунца. Услед сталних промена у положају Земље према Сунцу и услед јаких колебања сунчеве активности настајаће најглавније правилне варијације. Неке су карактеристичне по томе, што се понављају у истим размацима времена, и због тога се могу назвати „периоде“, односно периодичне варијације. Једна од њих настаје услед земљиног обртања око осовине, и као код свих метеоролошких, тако и код магнетних елемената изазива *дневну периоду*. Земљиним кружењем око Сунца условљена је годишња периода, али се она код магнетних елемената у главном огледа у неједнаким величинама дневних колебања тако, да се може говорити о *годишњем колебању дневне варијације*, а ако се изведу средње месечне вредности и о *годишњој периоди*. Напослетку се може догодити, да Земља нешто од свога момента изгуби, или да јој се магнетно поље помера, што би се у низу година опазило у варијацијама истих елемената на истој станици. Тај процес се услед спорости и дуготрајности зове *секуларна варијација*.

У току ових, мање више правилних и непрекидних колебања, кадикад се покажу *поремећаји*, који су изражени изнимно јаким и неправилним кретањима, ма да се по својој природи не разликују од правилног тока. Између правилног тока и највећег поремећаја има толико постепених прелаза, да је тачну границу између једног и другог тешко одредити, и апсолутну дефиницију појма о поремећају немогуће дати.

Секуларна варијација. — Напред је споменуто, да све изомагнетне линије вреде само за кратко, тачно одређено време, што се може доказати најобичнијим примером. Ако се за исту станицу и за исти магнетан елеменат прорачунају на пр. средње петогодишње вредности за периоду од 40 до 50 година, показаће се у свакој од њих разлика према свима другима, али ће се у узастопним петогодишњим вредностима, огледати извесна правилност. То ће се јасније видети ако се за Павловск изнесу средње годишње вредности деклинације (источне) за последњих десет година:

---

[1]) *Guil. Gilbert, De magnete, magnetisque corporibus, et de magno magnete telluro; Physiologia nova, plurimis et argumentis et experimentis demonstrata.* Londini. Anno MDC.

[2]) *C. Fr. Gauss, Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus.* Gauss' Werke. 5. Band., Gotha 1869.

1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919
$1^0 30.0'$	$1^0 37.2'$	$1^0 44.2'$	$1^0 51.7'$	$1^0 59.5'$	$2^0 6.8'$	$2^0 14.2'$	$2^0 20.9'$	$2^0 27.8'$	$2^0 35.2'$

У тим се вредностима јавља сталан и прилично правилан прираштај источне деклинације, у средњу руку за 7·3′ годишње, што донекле указује на секуларну варијацију.

На секуларне је варијације упозорио *Целибранд* још у првој половини XVII. столећа, износећи да се у елементима земљине магнетичности показују доста правилне промене у дугом низу година[1]). Доцније је покушавано, да се одреди трајање тих варијација, али се дошло до различитих закључака.

Секуларне варијације се нарочито јасно виде код деклинације, јер за њу има најдужа периода посматрања; скоро исто вреди и за инклинацију, а једино нема довољно сигурних података за интензитет, код кога су премеравања доста доцкан почела.

По *Бауеру*[2]) је минимум деклинације у Лондону био 1560·4 године са 11.5^0 ист.; од тада се врх магнетне игле почео све више померати на Запад; 1660 године је била $D = 0^0$, а 1817·5 године достигла је максимум са $D = 24{\cdot}0^0$ зап. Од тога се времена магнетна игла почела померати ка Истоку и западне деклинације имају од године до године све мање вредности. Екстремна разлика у деклинацији износила је $35{\cdot}5^0$, што одговара трајању од 257 година, а цела секуларна периода траје 514 година, т. ј. после тог времена ће магнетна игла бити поново управљена у исти екстреман правац. Бауер је за Лондон поставио формулу, којом се могу деклинације одредити за сваку годину:

$$D = 6.24^0 + 17.75^0 \sin [0.7^0 (t - 1850) + 112.7^0];$$

у њој је t година за коју се прорачунава деклинација. С помоћу те формуле је одређено, да је за Лондон средња вредност деклинације 6.2^0 зап., у коме је положају деклинацијона игла била 1689 године и у коме ће поново бити 1946 године. Према магнетним податцима из Париза и Рима може се закључити, да слични односи код секуларне варијације владају у целој Западној и Средњој Европи. Међутим има земаља, у којима се показују потпуно друкчији односи. Тако се на Рту Добре Наде деклинација од 1605 године непрестано повећава, док се у Аустралији или Западној Индији тек мало или ни мало не мења. Осим тога се ни деклинације на истом месту не мењају истом брзином, што се види на примеру за Беч, где је средње годишње опадање деклинације било од

---

[1]) *H. Gellibrand, A Discourse Mathematical on the Variation of the Magnetical Needle.* London 1635., у „G. Hellmann, Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus". Berlin. № 9.

[2]) *L. A. Bauer, On the Secular Motion of a Free Magnetic Needle.* Science. Vol. XX. № 506. 1912. в. и *Dr. Fridtjof Nansen, Die magnetische Abweichung im Anfang des 16. Jahrhunderts.* Pet. Mitt. 1912. I. Hb., стр. 8—12.

1853 до 1858 године 7.2′, од 1868 до 1883 године 6.4′, а од 1883 до 1895 године 5.2′.

Слично се показује и код инклинације, за коју такође има врло старих посматрања. У Лондону се она од прве половине XVIII. столећа непрестано смањује, јер је 1723 године била 74°42′, 1821 год. 70°3′, а 1894 год. 67°16′. Али се по *Бауеру* и код инклинације показује изразита секуларна варијација, јер је према једначини

$$I = 70.40^0 - 3.98^0 \sin [0.7^0 (t - 1850) + 23.0^0].$$

По тој је формули инклинација 1560 године имала средњу вредност, т. ј. 70.4°, 1688.5 године максималну вредност са 74.4°, 1817 год. понова средњу вредност, а 1945.7 године ће имати минималну вредност од 66.4°. Екстремна разлика у угловима је свега 8°, што одговара средњем годишњем опадању одн. прираштају за 1.9′. Карактеристично је, да се по *Бауер*овим резултатима максимум и минимум инклинације јавља у временима, код деклинација има средњу вредност, а средње вредности инклинације, код деклинација показује екстремне вредности.

Као што се деклинација у разним пределима не мења једнаком брзином, то исто се види и код инклинације. Док се у Средњој и Западној Европи средња годишња вредност инклинације смањи за 2′ до 3′, она се у Заливу Гинеје смањује за 15′, а око Рта Добре Наде се за 11′ повећава. У екваторијалном појасу владају нарочити односи, јер у њима инклинација може да промене свој правац. На Острву Асцензији, на 8° јуж. шир., била је 1834 год. 1°57′ и нагнута у северан правац, док је 1890 год. била 11°38′, али нагнута у јужан правац. За 56 година инклинација се променула за 13°35′, што одговара средњој годишњој промени од 14.5′.

На основу свих дугогодишњих података је одређено, да периода секуларне варијације траје 476.92 ± 2.50 година, око 37 година мање но што је одређено за Лондон. Али се појам о битности секуларне периоде може добити тек онда, ако се Земља посмотри као целина, а не односи у појединим пределима или местима.

Бауер је у томе правцу предузео прво испитивање и полази од претпоставке, да је магнетна игла обешена у тачци тежишта и да слободно виси. Затим посматра какав би облик њена продужена осовина описивала у простору, кад би следовала секуларним променама деклинације и инклинације у земљином магнетном пољу. Несумњиво је, да би она у простору описивала купу, чији би врх био у тачци тежишта, јер би ју промена деклинације скретала бочно, на лево и на десно, а промена инклинације на више или на ниже. Та купа има на разним местима различите облике, али је ипак карактеристично, да осовина претежно описује путању у смислу кретања сказаљке, што би резултирало из напред изнесених *Бауер*ових вредности, кад би се графички изразиле. Али ће

се показати нешто чудновато, ако се узме у обзир самостална земљина магнетичност и ако се замисли, да посматрач носи магнетну иглу око обима свога упоредника. У том би случају, услед сталних промена у деклинацији и инклинацији, њена осовина од једног до другог меридијанског степена описивала скоро исти облик, као кад би остајала на истом месту и следовала само секуларној варијацији, а то је оно што је горе изнесено. Из тих односа излази: 1. да секуларне варијације настају с тога, што се стално поље магнетичности помера око Земље и 2. да оне нису искључиве функције ширина и дужина, него и времена.

Доцније је доказано, да се снаге, које проузрокују секуларне варијације, могу поделити у веће, унутрашне поље магнетизираног земљиног тела, које се споро помера, и у мало, спољашње магнетно поље, које изазива дневне варијације и поремећаје код елемената. С тога су секуларне варијације доста заплетене природе, јер се магнетичност дубљих земљиних слојева и спољашњег поља независно мења.

Дневна варијација елемената. — Док се веровало, да је магнетичност на истом месту увек иста, мерења су вршена тек једанпут, двапут годишње. Тек када се видело, да се вредности елемената у току годинâ мењају, почело се помишљати, да се исте промене могу догађати и за време дана. *Грахем* се, на основу дугих опажања у Лондону 1722 године, уверио, да се правац магнетне игле у току дана мења, и указао на дневну варијацију, а данас је познато да њој подлеже и остали елементи земљине магнитичности на свима местима.

Доказано је, да се у дневним часовима код свих елемената показује правилан и изразит ток, а неправилан и много слабији ток у ноћним часовима. Код деклинација се показало ово: На умереним ширинама северне полукугле северан врх магнетне игле има најисточнији положај око 7 до 9 часова ујутро; од тада почиње да се помера ка Западу и око 1 до 2 часа по подне доспе до најзападније тачке. Одатле се игла почне врло споро, често и са застанцима, враћати у првашњи положај. На истим ширинама јужне полукугле северан врх магнетне игле креће се у супротном правцу, т. ј. врх је најзападније око 8 до 10 часова пре поднева, а најисточније између 2 до 3 часа по подне; другим речима, пошто је ово јужна полукугла и пошто је привлачен јужан врх магнетне игле, он ће бити око 9^a у најисточнијем положају, а око 3^p на најзападнијој тачци.

Ти односи су очигледније приказани у скици 148., где је унесена по једна станица са сваке полукугле: Потсдам (на 52°23′ сев. шир.) и Мелберн (на 37°50′ јуж. шир.). У њу су уцртана три елемента: деклинација *D*, инклинација *I*, и хоризонталан интензитет *H*. Вредности одговарају средњем годишњем дану вишегодишњих посматрања, т. ј. вредности сваког часа за све дане у години су сабране и подељене са 365, а тако

добијене вредности сабране и подељене са бројем година, у којима су вршена посматрања. Дебља хоризонтална линија означује средњу вредност елемената, а курве одступања од средњих вредности. Одступања код деклинације и инклинације изнесена су у степенским минутима, тј. размак између двеју хоризонталних линија означава + или — одступање за 1′. Обрнути односи у курвама су последице привлачења северног пола магнетне игле на северној полукугли, а јужног на јужној полукугли, као што је напред споменуто. Из курви за деклинацију се види да обе имају доста симетричне облике, само да су екстремне вредности јужне станице померене на један час доцније.

Скица 148. — Дневна варијација деклинације, инклинације и хоризонталног интензитета у Потсдаму (—) и Мелберну (- -).

За станице у тропским пределима је карактеристично, да магнетна игла у добу, кад је Сунце северно од екватора, следује дневним варијацијама северне полукугле, а у добу кад је Сунце јужно од њега, варијацијама јужне полукугле. Прелази настају око равнодневица, али се показују у томе, што магнетна игла врло неправилно колеба, и час има карактер северне, час јужне полукугле. У тим би пределима графички облик варијација у летњој половини године одговарао облику Потсдама, а у зимској половини облику Мелберна, само са знатно мањим амплитудама и знатно ублаженим током.

У поларним је пределима дневна варијација толико неправилна, и колебања су толико велика, да се облици курве не могу тачно одредити. Ипак је упоредним посматрањима на међународним поларним станицама 1882—1883 године доказано, да и у тим пределима дневни ток деклинације донекле одговара току на северним умереним ширинама. Тамо је магнетна игла у најисточнијем положају већином у врло раним јутарњим часовима, а најзападније је у позним поподневним, па чак и ноћним часовима, што показују ови примери:

станица	φ	λ		ист. максимум		зап. максимум		ампл.
Поинт Барô	71·3⁰	156·7⁰	зап.	— 26·7′	8^h_a.	+ 13·4′	Пħ	40·1′
Јан Мајен	71·0⁰	8·5⁰	зап.	— 17·0	$4·5^h_a$.	+ 15·8	$7·5^h_p$.	32·8
Шпицберген	78·5⁰	15·7⁰	ист.	— 24·6	4^h_a.	+ 17·1	6^h_p.	41·7
Гренланд	81·7⁰	64·7⁰	зап.	— 45·1	2^h_a.	+ 49·8	$3·5^h_p$.	94·9

Као што се види, колебање је у поларним пределима екстремно велико од 0·5⁰ до 1·5⁰, док је просечно дневно колебање у умереним ширинама 6 до 8′, а у тропским пределима 2 до 4′.

Утицај годишњих времена на дневну периоду елемената осећа се и на облицима курви и на величинама амплитуда. У хладнијем годишњем добу јављају се више споредних екстрема и због њих је дневни ток неправилнији, осим тога је и колебање мање од средњег годишњег колебања. У лету је ток доста правилан, амплитуде су знатно повећане, али су оба екстрема одељена дужим размаком времена, т. ј. јутарњи екстрем је помакнут на ранији час дана, а поподневни на доцнији. То се може показати на примеру за Беч, где је амплитуда деклинације у децембру 2·6′, у јуну 10·0′.

О дневним колебањима инклинације сазнало се много доцније; *Араго* је 1827 године први указао, да и код ње постоји дневна варијација. Колебања инклинације су правилнија од колебања деклинација, јер се у умереним и већим ширинама обе земљине полукугле повећава у јутарњим и раним поподневним часовима, са максимумом око поднева, а у вече и ноћу се смањује, што показује и скица 148. Али је инклинација доста кратко време већа од нормалне (око 7 до 8 часова), а све остало је време мања. Инклинација је, дакле, у средњим и већим ширинама обеју полукугли већа кад је Сунце изнад хоризонта, а мања кад је испод њега. У тропима, напротив, инклинација је за време сунчевог сјаја мања од нормалне, а ноћу је већа од средње вредности, ма да је и у њима дневна периода краћа од ноћне, 9 према 15 часова. — И код инклинације се осећа утицај годишњих времена на исти начин, као код деклинације: зими је колебање мало, а у лето велико. У Деблину, у Ирској, је средња дневна амлитуда инклинације око 2′, у зиму 0·7′, а у лето 3·3′.

Код хоризонталног интензитета су односи у главном обрнути према односима код инклинације, јер максимуму инклинације одговара минимум хоризонталног интензитета; с тога се код њега максимум јавља у ноћним часовима. У скици одговара размаку између двеју хоризонталних линија + или — разлика за 10 γ[1])

Напред је споменуто, да се са правилношћу у токовима магнетних елемената повећава и амплитуда, и да она може бити мерило за варијације. Да би се виделе разлике код амплитуда у свима пределима, узеће се поред Потсдама и Мелберна екваторијална станица Батавија (6⁰19′ јуж. шир.) и једна поларна станица око антарктичкога копна, на 77⁰51′ јуж. шир. У приложеној таблици су изнесене амплитуде деклинација у степенским минутима, и хоризонталног интензитета у γ (према Nippoldt-у):

[1]) 1 γ = 0.00001 Gauss.

ампл. декл.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Потсдам	5·2	6·2	9·2	**11·4**	**11·4**	11·2	11·1	11·1	9·3	7·4	5·9	4·9
Батавија	4·2	**4·6**	3·6	2·9	2·4	2·0	2·3	3·2	3·8	**4·5**	4·5	4·2
Мелберн	13·0	**13·6**	12·2	9·3	6·3	4·8	6·5	7·6	9·2	**13·9**	13·5	13·2
Антарктик	58·6	69·6	47·4	35·4	27·3	28·1	29·2	35·8	52·6	45·5	60·1	**85·2**
ампл. хор. инт.												
Потсдам	15	18	28	40	39	41	**43**	42	37	32	20	13
Батавија	49	47	54	**60**	51	48	50	53	**58**	52	43	40
Мелберн	15	**16**	15	12	7	9	8	11	13	**16**	15	15
Антарктик	65	42	23	34	27	28	22	23	31	29	51	**70**

Из ових се бројева односи јасно виде. Велике географске ширине имају максима дневних амлитуда у топлим месецима (Потсдам од априла до августа, Антарктик од новембра до фебруара), а минима у хладним месецима. Екваторијални предели имају максима око равнодневица, а минима око солстиција, ма да има донекле и померања, нарочито код деклинације. Мелберн, у субтропским ширинама, показује прелазне односе, т. ј. минимум у зимским месецима (мај—јули), што одговара односима у већим ширинама, а максимум испред пролетње и иза јесење равнодневице, што одговара тропским условима.

Теорија дневне варијације. — Када је *Фараде* открио особину кисеоника, да се даје магнетизирати, и да ју са јачим загревањем све више губи, хтео је њоме да објасни и дневну периоду магнетне игле. Он при томе полази од сунчевог дневног кретања и износи какве би промене настајале. Сунце се после рађања све више пење изнад хоризонта и загрева све западније делове ваздуха, у коме велику улогу игра кисеоник. Тиме линије земљиних магнетних снага претрпе промену њиховог тока, што утиче и на магнетну иглу. Против тог једноставног тумачења не може се учинити замерка у квалитативном погледу, наиме на фазу и правац, али је питање, да ли је оправдано с квантитативне стране.

То питање је решио *Нордман* с помоћу закона, по коме је моћ магнетизирања гасова пропорцијонална притиску, а обрнуто пропорцијонална другом степену апсолутне температуре[1]). Он долази до закључка, да се моћ магнетизирања ваздуха смањује, јер је за три разне висине добио ове вредности:

висина	темп. t	апс. темп. T	притисак	моћ магн.
10 км.	— 50°	323°	148 мм.	9×10^{-9}
6·1 „	— 25	348	351	17×10^{-9}
0 „	18	391	760	27×10^{-9}

[1]) *Charles Nordmann, Sur les propriétés magnétiques de l'atmosphère terrestre.* Comptes rendus de l'Acad. des Sciences. Tome CXXXVI. Paris 1903., стр. 960—962.

Из њих *Нордман* прорачунава, да је, услед моћи ваздушног магнетизирања, дневна промена у земљином магнетном пољу у најповољнијем случају 1500 пута мања од истински опажене промене, и зато при тумачењу дневне периоде не може долазити у обзир.

Међутим је *Шустер* већ раније доказивао, да узрок дневним променама земљине магнетичности лежи изван њене површине, у спољашњем магнетном пољу, и извукао је природан закључак, да су изазване електричним струјама из високих ваздушних слојева[1]).

Математично би прорачунавање било лако док се претпоставља, да је електрична спроводљивост ваздуха једнака и константна; али, по теорији би морала постојати јака ионизација, што би се тешко протумачило, с тога ће много вероватнији узрок бити сунчево зрачење. У том би случају требало да је спроводљивост у лето и у дневним часовима већа, него зими и у ноћним часовима, што је и посматрањима доказано. Амплитуда магнетних елемената је лети, заиста, знатно већа, него зими; осим тога је магнетна игла у ноћним часовима доста мирна. Напослетку, променљива спроводљивост помаже да се савлада тешкоћа о могућности ближих веза између магнетних и барометарских промена, јер су периоде ваздушног притиска већином полудневне, а код магнетних елемената су 24-очасовне. При свем томе то није велика сметња, јер је спроводљивост ваздуха дању увек већа него ноћу, а тиме се може доказати, да ће 12-очасовна промена барометра изазвати на магнетним елементима проценљиву периодичност од 24 часова.

Ма да, дакле, дневне варијације настају поглавито под утицајем спољашњих снага, ипак и земљина унутрашњост има известан удео, који је продукт индуцираних електричних струја[2]). У најновије је време то доказао и *фан Флајтен,* подвргавајући своје бројне податке детаљном проматрању. При томе је испитао, како се понашају коефицијенти чланова истог реда код унутрашњег и спољашњег поља и показало се, да су, почевши од другог, сви чланови „индуктивно" повезани, т. ј. да магнетно унутрашње поље потиче од струјâ у спољашњем простору, које су га произвеле индукцијом. Али је карактеристично, да то вреди само за више чланове, и да једноставно дневно, т. ј. 24-очасовно колебање, не показује јасније везе са колебањима спољашњег поља. Унутрашње снаге су од годишњих времена мање зависне него спољашње, а и утицај разлика у географским дужинама је мање изразит у унутрашњим снагама[3]).

---

[1]) *A. Schuster, The Diurnal Variation of Terrestrial Magnetism.* Philos. Transact. Series A. Vol. 208. London 1908., стр. 163—204.

[2]) *Индукција* је процес, којим извесно тело са електричним, галванским или магнетним особинама уноси у неко друго тело исте особине, без непосредног додира.

[3]) *Alfred Nippoldt, Die täglichen Veränderungen des Erdmagnetismus.*. Pet. Mitt. 1920., стр. 231—232.

Да би се дневне варијације могле јасније протумачити треба поћи од претпоставке, да спољашње поље лежи изван земљине површине, и да се она у томе пољу снага обрће око своје осовине. Тада ће јачина, којом спољашње поље утиче на свако поједино место, бити зависна од његове географске дужине, односно — што је исто — од локалног времена. *Фриче* је прорачунао интензитет спољашњега поља на основу података са 27 станица, а *Ниполд* је с помоћу тих вредности конструисао карту изопотенцијала дневних варијација земљине магнетичности за лето и за зиму[1]). Код прорачунавања су урачунате и унутрашње и спољашње снаге, у односу према извесној тачци изван земљине површине, и вредности су изражене у петој децимали C-G-S система, т. ј. апсолутних јединака. Према томе су бројеви у скици 149., која представља изопотенцијале за лето северне полукугле, такође изражени у петој децимали, дакле је 16 = 0.00016 C-G-S јединака.

Скица 149. — Изопотенцијале дневног поља земљине магнетичности у лету северне полукугле (по Nippoldt-у).

Ако се претпостави, да је дневно поље производ електричних струја, тада ће цела подела у карти (скица 149.) одговарати неколиким вртлозима, који стално круже око тачака највећег и најмањег потенцијала. Та места означују полове дневнога поља, а стрелице правце, у којима вртложасте струје круже. Напослетку је позитивним вредностима означен северо-

[1]) *A. Nippoldt, Bemerkungen zu neuen Karten des Feldes der täglichen Variation des Erdmagnetismus.* Met. Zeitschr. 1908., стр. 97—103.

магнетни, а негативним јужномагнетни потенцијал. Цео графички приказ вреди за средње гриничко подне. Ако је, дакле, у Гриничу по средњем локалном времену подне, онда ће линије изопотенцијала дневнога поља бити по целој Земљи распоређене онако, као што је изнесено у карти. Ако се, даље, замисли, да је поље према Земљи непомично, она ће се у току дана једанпут обрнути око своје осовине, а на карти ће се одговарајуће промене догађати са лева на десно. У току једног часа би се цело поље на карти померило за 15^0 са Запада на Исток, у току 2 часа за 30^0 и т. д.

Ако се баци поглед на карту добиће се ова представа: На свакој се полукугли могу разликовати два предела: један, који је интензивније развијен, али просторно ограниченији на дневну половину Земље (испрекидана линија означује границу између дана и ноћи), и други, много пространији, који захвата известан део дневне половине, са малим градијентом, и ноћну половину Земље. У пределу, који одговара дневној, Сунцу окренутој страни, потенцијал има исти предзнак, као и нормалан потенцијал одговарајуће полукугле, са јако изразитим полом око 30^0 сев. шир. и слабије развијеним полом око 43^0 јуж. шир. Али се из карте види, да ова два пола немају исти положај, јер северан дневни пол истрчава испред сунчеве кулминације за 2 часа или, што је исто, пролази кроз меридијан места два часа пре но што Сунце кулминира, док дневни пол јужне полукугле истрчи тек за 15 минута.

На ноћној се страни може уочити слабије изражен пол, али са супротним предзнаком одговарајуће полукугле. Он на северној полукугли лежи око 35^0 и пролази кроз меридијан места $6^h 10^m$ после сунчеве кулминације, а на јужној лежи на знатно већој ширини, око 56^0, и пасира меридијан у $7^h 40^m$ у вече.

Осим тога се види и ово: На северној полукугли је систем изопотенцијала много боље развијен него на јужној; северна полукугла има много изразитије колебање потенцијала него јужна; дневни полови су интензивнији од одговарајућих ноћних полова; најпосле, сва четири пола леже око субтропског предела, на поларним границама пасатских ветрова, где настаје смена између поларне и екваторијалне струје опште атмосферске циркулације.

Положаје полова за време лета северне и јужне полукугле и времена, кад пролазе кроз меридијан места, показује приложена таблица:

лето северне полукугле

северна полукугла:	дневни пол	на	30^0 с. ш.	и	2^h 0	пре	сунчеве кулмин.
	ноћни пол	„	35^0 с. ш.	„	$6^h 10$	иза	„ „
јужна полукугла:	дневни пол	„	43^0 ј. ш.	„	$0^h 15$	пре	„ „
	ноћни пол	„	56^0 ј. ш.	„	$7^h 40$	иза	„ „

лето јужне полукугле

северна полукугла:	дневни пол	на	44^0 с. ш.	и	1^h10	пре	сунчеве	кулмин.
	ноћни пол	„	40^0 с. ш.	„	5^h30	иза	„	„
јужна полукугла:	дневни пол	„	39^0 ј. ш.	„	$1^h\ 0$	пре	„	„
	ноћни пол	„	50^0 ј. ш.	„	10^h0	иза	„	„

Из таблице се могу извући ови закључци: Ако се упореди јужно са северним летом видеће се, да се дневни пол северне полукугле помакао по положају за 14^0 јужније, а на јужној тек за 4^0 јужније; за ноћне полове су вредности готово једнаке, јер се на северној полукугли померио за 5^0 јужније, а на јужној за 6^0. Насупрот томе, дневни се полови при промени годишњих времена помакну мало у времену; северан пол испредњачи за 50 минута, а јужан за 45 минута закасни. Али се код ноћних полова то много јаче осећа, јер северан пол задоцни за 1 час, а јужни испредњачи за 2^h20^m.

До узрока о разликама код обеју полукугала може се вероватно доћи, ако се засебно упореде изопотенцијале спољашњег, а засебно унутрашњег поља. Спољашње поље показује у оба годишња доба тип целокупног поља, као што је представљено у скици 149., т. ј. на обе полукугле има по један изразит дневни и ноћни пол, али су њихова места нешто променута, према вредностима у горњој таблици. При упоређењу изопотенцијала спољашњег пола за лето северне и јужне полукугле показују се у толико разлике, што у северном лету обе полукугле имају изразит систем линија, док је он при јужном лету само на јужној полукугли изразит.

Унутрашње снаге за себе сасвим су друкчије природе, јер цела Земља има само два пола. Истина, то се потпуно јасно показује само за време северног лета, док се у јужном лету јављају и неизразити споредни полови. При свем томе, главни полови леже у оба годишња времена на јужној полукугли, са знатно већим океанским површинама.

Према овом излагању може се добити појам како унутрашње и спољашње поље утичу на целокупно поље: Види се, да спољашње поље условљава тип целокупног поља, а унутрашње пре свега утиче на облик оног дневног вртлога, који лежи у зимској полукугли. Он пружа своју уздужну осовину на северозапад, одн. на југозапад, и у првом реду изазва геометријску асиметрију дневног удела код дневне варијације на зимској полукугли.

Годишња варијација елемената. — Код магнетних елемената је карактеристично, да им је годишња варијација много мања, а и неправилнија, него дневна. Код деклинације на пр. средње месечне вредности одступају тек за неколико десетина степенског минута изнад и испод средњег положаја, односно нормалне вредности, и цело колебање није веће од 1′. Варијација се показује на тај начин, што врх магнетне

игле на *обема полукуглама* скреће на Запад, кад је Сунце северно од екватора, а на Исток, кад је јужно од њега. Инклинација је, међутим, на целој Земљи највећа у зимским месецима северне полукугле, а најмања за време њеног лета. Средњи екстреми су у децембру + 0·5′ и јуну — 0·9′, а средња амлитуда је око 1·5′. Од октобра до марта инклинација има на *обема полукуглама* веће од нормалних вредности, а од априла до септембра мање од њих. То исто вреди и за интензитет, јер и он има веће вредности у зимској половини године. Ти односи се могу једино протумачити ближим положајем Сунца у зимској половини године, услед чега је и децембарско позитивно одступање инклинације незнатније од јунског негативног одступања.

Већ се из ових чињеница може доћи до закључка, да годишња варијација зависи од нагиба земљине осовине према еклиптици. Према том нагибу је угао између магнетне осовине и правца Земља—Сунце најмањи при афелу, највећи је у новембру, други, мањи минимум се јавља при перихелу, а слабији максимум у марту. Тај дупли талас се показује и на елементима земљине магнетичности, као што се види из скице 150. У њој су приказани годишњи токови деклинације, инклинације и хоризонталног интензитета у одступањима од средњих вредности. Код деклинације одговара сваком размаку између две хоризонталне линије + или — одступање за 0·1′, код инклинације за 0·25′, а код хоризонталног интензитета за 2 γ. Размаци су према дневној периоди повећани за 10 одн. 5 пута. Варијација инклинације за Батавију је у скици 20 пута смањена, јер има и сувише велика одступања од средње вредности (+ 8·5′ и — 11·3′).

Скица 150 — Годишња варијација деклинације, инклинације и хоризонталног интензитета у Потсдаму (—) и Батавији (- -)

И ако се код свију елемената оцртава прилично јасан дупли талас, нарочито код екваторијалне станице Батавије, ипак годишњи ток варијација нема самосталан значај. Он у великој мери зависи од броја и интензитета поремећаја, који се догађају у појединим месецима. Баш због незнатних амплитуда код годишње варијације елемената вредности годишњег тока више указују на поделу поремећаја, него на истинско годишње колебање.

Магнетни поремећаји. — Као што је напред споменуто, на магнетним се елементима кадикад догоде изненадне и нагле промене, код којих колебање може далеко да премаши границе обичних дневних екстрема. Магнетна је игла у таквим случајевима узнемирена, налази се у некој врсти дрхтања, и битно се разликује од постојаног тока у мирним данима. Поремећаји се, насупрот правилним сменама периода, јављају повремено, без обзира на време и без икакве правилности. Када су поремећаји веома изразити могу да облике нормалног тока мењају на исти начин, као што буре и непогоде мењају тип климатских елемената. С тога су и слични појави код магнетних елемената названи „магнетне буре“ или „магнетне непогоде“, ма да нису ни у каквој узрочној вези са бурама и непогодама у ваздуху.

Предео, на коме се догоди магнетан поремећај, веома је променљив; некад је ограничен на релативно малу површину, а кадикад можда обухвати и целу Земљу. Облик ових поремећаја је врло сличан графичком приказу пљускова, са врло изразитим и доста неправилним осцилацијама. Један тип магнетне буре представљен је у скици 151. на елементу хоризонталног интензитета. При тој је магнетној бури ток потпуно правилан до 7^h40^m, али се тада догоди изненадан преврат. Интензитет нагло скочи од 170 γ на 270 γ, затим почне да се нагло смањује до 8^h, па се око 8^h10^m повећа до 300 γ и почне врло нагло да опада до 9 часова. У том тренутку спадне до 150 γ испод средње вредности и од тада почињу доста велика колебања са постепеним пењањем и ближењем средњој вредности, али поремећај ни до поноћи није исчезао.

Скица 151. — Магнетна бура на елементу хоризонталног интензитета (по Nippoldt-у).

Поремећаји се догађају и на свим другим магнетним елементима, али не са истим интензитетом. У средњој је Европи хоризонтално поље већином јаче поремећено од вертикалног. С друге се стране показује, да при магнетним бурама не морају сви елементи да учествују, него понеки од њих, или, да једни бивају на један, а други на други начин мењани. У Гриничу се на пр. у 11 од 14 опажених случајева прво кретање код поремећаја изразило у појачању свих магнетних елемената, а исто је било и у Павловску у 6 од 9 случајева; на Маурицију се у 7 од 11 случајева деклинација смањила, а хоризонталан и вертикалан интензитет су се повећали; у Бомбају су у свих 17 случајева, а у Батавији у свих

15 случајева деклинација и хоризонталан интензитет повећани, а вертикалан се смањио и т. д.[1]) Изгледа, дакле, да је Земља при почетку магнетне буре већином на неки начин упливисања.

Осим тога је испитивањима доказано, да се велики поремећаји осете скоро истовремено на целој Земљи, али да је правац и величина скретања, и уопште цео карактер поремећаја тим више различит, што су удаљенија места једна од других. При проучавању арктичких предела се видело, да тамошњи поремећаји показују знатне разлике према истовременим поремећајима у умереним ширинама, и тиме се морало претпоставити, да поремећаји настају негде на границама између арктичких и умерених ширина. *Бауер* се специјално бавио питањем, да ли се магнетне непогоде догоде изненадно и у исти мах на целој Земљи[2]). На основу нових података је за велики број случајева доказао, да се то не догађа, него да се магнетне буре у главном шире према Истоку, кадикад и према Западу, са приближном брзином од 13000 километара за минут или 216 км/сек., али се брзина приликом врло великих и распрострањених поремећаја може знатно смањити.

Ако се у дужем низу година посматра подела магнетних поремећаја видеће се, да се у неким временима догађају чешће, а у другим ређе. На основу података са британских станица је доказано, да у свим испитаним пределима постоји дневна и годишња варијација честине поремећаја. Дневна се варијација показује у томе, што код сва три елемента — деклинације, инклинације и интензитета — честина поремећаја у јутарњим часовима опада, око поднева је најмања, у поподневним се часовима нагло повећава, са максимумом између 5 часова и поноћи.

За годишњу честину је најважније чињенице извео *Елис*, на основу материјала гриничке опсерваторије за периоду од 1848 до 1897 године. Доказао је, да је и овде закон о честини исти за сва три елемента, али се у овом случају, као и код годишње варијације земљине магнетичности, јављају два максимума и два минимума честине. *Елис* годишњу честину доводи у везу са привидним годишњим кретањем Сунца, јер је већа око равнодневица, а мања око солстиција. При детаљнијој разради је закључио, да максима поремећаја падају око 3. марта и 9. октобра, дакле око 17 дана пре и иза пролетње и јесење равнодневице. Најмања честина је у јуну и децембру, и изгледа да је летњи минимум изразитији.

Према половима број и честина поремећаја веома брзо прирашћује и с тога је у поларним пределима проучавање земљине магнетичности уопште веома отежано.

---

[1]) *William Ellis, Über die jahreszeitlichen Schwankungen der magnetischen Störungen.* Naturwissenschaftliche Rundschau 1905., стр. 396.

[2]) в. *Nature.* Vol. 83. № 2114. 1910.

Сунчеви утицаји на земљину магнетичност.

Поред утицаја привидног сунчевог кретања по небу и његовог положаја према земљином екватору, о коме је до сада говорено, у новије је време доказано, да и променљива активност сунчевог тела у великој мери утиче на стање земљине магнетичности, односно на њене промене. Гдегод су вршена дугогодишња опажања свугде се показало, да величина амплитуде код истог елемента и у истом месецу разних година подлежи знатним променама. Упоређивањем промена у амплитудама на истим станицама, и односа на истовременим вредностима са разних станица, дошло се до узрока тих неједнакости и разлика.

Једанаестогодишња периода. — Око половине прошлог столећа неколико научењака су на основу магнетографских података из Британије, Швајцарске и Баварске скоро истовремено пронашли, да се опажене промене у амплитудама код магнетних елемената подударају са честином сунчаних пега и да одговарају периоди од 10 до 11 година, али је доцније доказано, да је она нешто дужа од 11 година. Веза између ових и оних се показује у томе, што се дневно колебање сваког елемента земљине магнетичности смањује и повећава упоредо са честином сунчаних пега: кад је њих највише и колебања су елемената најизразитија, а кад их је најмање и она су најмања. Осим тога се са променљивом сунчаном активношћу мења и честина, као и величина магнетних поремећаја.

Најисцрпније је ову периоду испитао *В. Елис* на материјалу хомогених опажања у Гриничу за периоду од 1841 до 1896 године[1]). За сваку годину су одређене средње вредности максималних дневних амплитуда на елементу деклинације и хоризонталног интензитета, а за периоду од 1882 до 1896 год. и вертикалног интензитета, и да би се добиле строго упоредљиве серије, изравнате су и вредности магнетних елемената и релативног броја сунчаних пега. При томе се показало, да максима и минима средњих вредности из деклинације и хоризонталног интензитета и честине сунчаних пега падају у ова времена:

максима сунчаних пега	1843·5	1856·0	1867·2	1879·0	1890·0
магнетних дневних колебања	1843·6	1855·1	1867·5	1878·8	1890·7
минима сунчаних пега	1848·1	1860·1	1870·6	1884·0	1894·0
магнетних дневних колебања	1849·0	1860·4	1870·8	1883·9	1894·7

На основу тих вредности су одређене и дужине т. зв. 11-огодишње периоде. Она је код сунчаних пега 11·57, а код магнетних елемената 11·42 године. Вреди покушати, да се упореде интензитети сунчаних пега и ин-

[1]) *W. Ellis, On the Relation between the Diural Range of Magnetic Declination and Horizontal Force and the Period of Solar Spot Frequency.* Proc. of the Roy. Soc. London Vol. 63. 1898, стр. 64—78.

тензитети колебања код магнетних елемената, и да се утврди у колико се подударају. По интензитету су максималне вредности овако распоређене:

сунчане пеге	одгов. број	деклинација	одгов. број	хор. интенз.	одгов. број
1871	140·5	1871	12·76	1871	308
1848	131·5	1848	12·46	1860	295
1860	97·9	1860	11·42	1848	268
1894	87·9	1894	10·42	1894	233
1884	74·6	1884	9·84	1884	221

Једино је, дакле, био поремећен хоризонталан интензитет, код кога су промењене 1848 и 1860 година.

У графичким приказима релативног броја пега и дневне амплитуде магнетних елемената може се чак у свакој појединој години уочити линеарна веза, т. ј. подударање у облику курве између релативног броја пега и амплитуда. По *Волфу* се тај однос може изразити формулом $a = \alpha + \beta r$, у којој је a дневна амплитуда у годишњој средњој вредности, r релативан број пега, а α и β прорачунати коефицијенти из материјала посматрања. Ови су за дуга времена и велике пределе исти.

Паулзен за поларне пределе износи, да је у њима однос између величине дневних варијација магнетне игле и честине пега супротан односима у умереним ширинама, јер се амплитуде дневних варијација смањују, кад се честина пега повећава[1]). За то могу послужити као пример односи у дневном току магнетне игле при мирним данима, т. ј. без магнетних поремећаја, на станици Поинт Барô. У времену од 1852 до 1854 године био је релативан број сунчаних пега близак минимуму, амплитуда у дневној варијацији деклинације била је 17·6′, док је у истим месецима 1882 до 1883 године, са максимумом сунчаних пега, амплитуда била за 4·6′ мања, дакле 13·0′.

27-одневна периода. — Некоји су геофизичари према дневним променама код земљине магнетичности држали, да постоји и много краћа периода од 26 дана, односно тачније од 25·87 дана, која би требала да стоји у вези са трајањем сунчевог обртања око своје осовине. У истини се при астрофизичким посматрањима показало, да Сунце, због стања у коме се налази, нема на свима хелиографским ширинама исте угаоне брзине, па му с тога ни трајање ротације не може бити једнако. На 32° хелиогр. шир., т. ј. око поларних граница сунчаних пега, ротација би трајала 25·87 дана и њоме би се могле протумачити одговарајуће промене у елементима земљине магнетичности. То мишљење је појачао *Биркеланд* својим испитивањима, на основу којих тврди, да се пеге

[1]) *A. Paulsen, Ueber die Beziehung zwischen der Grösse der täglichen Variation der Magnetnadel und der Sonnenfleckenfrequenz im arktischen Amerika.* Met. Zeitschr. 1890., стр. 37.

у главноме стварају на две супротне сунчеве стране и тиме би 26-дневна периода бар физички била објашњена.

Међутим је у новије време доказано, да се и та периода треба продужити. *Кри* је при проучавању тога питања употребио материјал са станице Кју, али није упоређивао дневне амплитуде магнетних елемената са интензитетом сунчеве активности, него са т. зв. „карактеристичним бројевима", који су утврђени на конференцији геофизичара у Инсбруку. При томе је дошао до главног закључка, да се у варијацијама земљине магнетичности показује периода од 27,3 дана[1]). Истинитост тог закључка је тим сигурнија, што је материјал веома тачан, што је статистичка обрада ванредно исцрпна, и што је *Шмит*, неколико година раније, на нешто други начин и материјалом са потсдамске опсерваторије, такође утврдио тачност 27-одневне периоде.

Узроци магнетних поремећаја. — При специјалном проучавању магнетних непогода се показало, да везе између промена у земљиној магнетичности и честине сунчаних пега нису ограничене само на средње вредности целокупног броја пега, но да често и једна већа сунчева пега може изазвати магнетан поремећај. *Маршан* је о томе питању говорио на међународном конгресу метеоролога и као резултат свог испитивања изнео, да сунчана пега може постати активна тек онда, када пролази кроз централан сунчев меридијан, т. ј. кроз онај сунчев меридијан, који је директно управљен на земљино средиште; али, при том нарочито упозорује, да су пеге саме по себи мање важан узрок поремећају од буктиња[2]). Ипак се обично говори о сунчаним пегама, ма да су у истини важније буктиње. По *Маршану* су се од 100 магнетних непогода 33 догодиле нешто раније, пре проласка пега кроз централан меридијан, 9 истовремено, а 58 доцније, али разлика никад није била већа од 36 часова, т. ј. $^1/_{18}$ трајања сунчеве ротације, што би на Земљи одговарало разлици од 1^h20^m.

Најисцрпније се узроком о магнетним непогодама бавио *Мôндер* и дошао је до врло важних закључака, до којих су дошли и други испитивачи последњих деценија, али се његов рад у толико разликује од других, што су се ови ослањали на бројне податке посматрања, док је он употребио фотографска регистрирања са гриничке опсерваторије. Пре него што се изнесу његови закључци треба упозорити, да се и магнетне непогоде разликују према њиховој величини. По *Елису* су *мале*

---

[1]) *C. Chree, Some Phenomena of Sunspots and of Terrestrial Magnetism at Kew Observatory.* Philos. Transact. CCXII., стр. 75—116 и CCXIII., стр. 245—277., London 1912—1913.

[2]) *E. Marchand, Sur les relations des phénomènes solaires avec ceux de la physique du globe terrestre.* Congrès Internat. de Météorol. Paris 1900., Proces-verbaux des séances et Mémoires. — Paris 1901., стр. 148—157.

непогоде ако је поремећај деклинације мањи од 10′, а поремећај хоризонталног интензитета $H < 50 \times 10^{-5}$ CGS; *умерене* су ако је $D = 10'$ до 30′, а $H = 50$ до 150; *активне* ако је $D = 30'$ до 60′, а $H = 150$ до 300; и најпосле *велике* непогоде, ако је $D > 60'$, а $H > 300 \times 10^{-5}$ CGS. *Мôндер* нешто допуњује ову класификацију, поделом активних непогода у активне и врло активне.

Полазећи од општих чињеница *Мôндер*[1]) износи, да истовременост одређених пега и одређених магнетних непогода не може бити случајна, јер је врло изразита, и да се у колебањима честине непогода оцртава синодично, а не сидерично[2]) сунчево ротацијоно време, према чему узрок већини поремећаја лежи у Сунцу. Али је доцније доказано, да у изнимним случајевима узрок лежи у Земљи, као на пр. 5. маја 1902 године, при ерупцији Мон Пелеа, са истовременим, изненадним магнетним поремећајима. Поремећајна снага, која полази са Сунца, делује у свима правцима равномерно, у облику зрачних свежњева, са угаоним отвором од 20°, што приближно одговара $^1/_{130}$ делу целе сунчеве површине. Све сунчане пеге, чији зрачни свежњеви утрну пре но што доспу до земљине површине, немају никакво дејство на њезину магнетичност и с тога је највећи део сунчеве активности за Земљу изгубљен. С друге стране центри сунчеве акције, који изазивају магнетна дејства, могу га имати и ако пеге још нису образоване. Последња два закључка указују на важну чињеницу, да при видљивости великих пега не мора бити магнетних поремећаја, и да поремећаја може бити, ма да се пеге још не виде. Напослетку, померање почетка непогоде на време пре или после проласка пеге кроз централан меридијан указује, да зрачни свежњеви са Сунца не морају полазити у правим линијама.

Из свих се ових факата и приложених таблица уз расправу могу извести неколико општих закључака:

1. постоји истинска веза између великих сунчаних пега и великих магнетних непогода: јер се увек велика непогода подудара са проласком велике пеге; јер се највеће непогоде подударају са временом видљивости највећих пега; јер се ниједна значајна непогода није догодила у међувремену између две велике групе пега, прве од 3. до 15. септембра 1898 и друге од 4. до 18. октобра 1903 године.

2. величина простора код групе пега или поједине пеге не стоји у правом односу са јачином магнетних непогода, јер је при 19 највећих

---

[1]) *E. W. Maunder, The „Great" Magnetic Storms, 1875 to 1903 and their Association with Sun-spots.* Monthly Notices of the Roy. Astron. Soc. Tome LXIV. London. 1904., стр. 205—221. — *Further Notes on the „Great" Magnetic Storms.* ibid. стр. 222—224. — *Magnetic Disturbances 1882 to 1903 and their Association with Sun-spots.* ibid. Tome LXV. 1904., стр. 1—34.

[2]) Појам *синодичког* и *сидеричног* је исти као и код Месеца, само овде вреди за Сунце; в. стр. 179—180.

сунчаних пега било 7 великих непогода, 7 активних, 2 мање и 1 случај без поремећаја.

3. велике непогоде не почињу у ма којој фази преласка једне велике пеге или групе пега преко сунчеве плоче, него у размаку од 5 дана, т. ј. од 34 часа пре него што средиште пеге, одн. група пега, прође кроз централан меридијан до 86 часова после тог времена; средње време за почетак непогоде је 26 часова по проласку средишта пеге кроз централан меридијан, што одговара $^1/_{25}$ сунчеве ротације.

4. магнетни поремећаји не настају при свакој видљивој пеги, јер се при 4500 видљивих пега догодило свега 276 магнетних поремећаја, што одговара односу 16 : 1.

Осим тога су *Н. Локиер* и *В. Ц. С. Локиер* указали, да магнетне непогоде стоје у вези и са протуберанцама[1]). До тога су дошли на основу *Такини*еве статистике о честини и зоналној подели сунчаних протуберанција. По њима се велике магнетне непогоде појаве истовремено са најјачом активношћу протуберанција, и прве су тим веће, што су протуребанце ближе сунчевим половима, док правилне варијације земљине магнетичности вероватно много више стоје под утицајем акцијоних центара око сунчевог екватора. То објашњују тиме, што повећавање броја протуберанција и буктиња проузрокује повећано колебање сунчеве енергије, и пошто је њихов простор, у односу према пегама, несрављено већи, требао би и утицај да им је много јачи. То схватање је појачано мишљењем неколиких испитивања, по којима протуберанце и буктиње потпомажу пренашање електричне енергије и тиме одсудно задиру у варијације земљине магнетичности, електрицитета и поларних светлости.

Сунчево магнетно поље. — Напред су изнесене главне чињенице, које иду у прилог мишљењу, да Сунце има непосредан утицај на земљину магнетичност. Али би у томе случају морало и Сунце бити магнетизирано, док је с друге стране познато, да је оно на својој површини усијано, јер је температура фотосфере око 6210°А или око 5940°С, и да би из тога разлога стално магнетизирање Сунца било још невероватније, него за земљину унутрашњост. Сви елементи, који се дају магнетизирати, губе ту моћ при знатнијем повећавању температура, ма да би им се критичне температуре под јаким притисцима могле повећати и тако би се донекле дали и даље магнетизирати.

Међутим је *Хел* пре десетак година опазио на спектрима сунчаних пега, а доцније и на спектрима сунчеве светлости уопште, да се извесне линије проширују, па чак и удвоструче, као да је светлост прошла кроз магнетно поље[2]). Он је према величини промена прорачунао активност

[1]) *N. Lockyer and W. J. S. Lockyer, The Relations between Solar Prominences and Terrestrial Magnetism.* Proceed, of the Roy. Soc. London. Tome LXXI. 1903., стр. 244—250.

[2]) *G. A. Hale, The Earth and Sun as Magnets.* Annual Report of the Smithonian Institute for the Year ending June 30, 1913. Washington 1914., стр. 145—158.

магнетног поља и нашао, да је на сунчаним пегама око 9000 пута јаче од земљиног магнетног поља на половима. У сигурност посматрања не може се сумњати, јер су промене доста изразите, осим тога су испитивања вршена са телескопом двоструке фокалне дистанције.

Теже је било доказати постојање сунчевог магнетног поља, као целине, али је *Хел* успео да и то питање реши. По њему је интензитет сунчевог магнетног поља око полова 50 Gauss-а, око 25 Gauss-а на екватору, дакле знатно слабије од локалних магнетних поља буктиња; али је при свем том око 80 пута јаче од земљиног магнетног поља. Узрок сунчевом магнетном пољу треба тражити једино у његовом обртању око осовине, као што и код земљине магнетичности ротација има, вероватно, одсудан значај, на што указују и неколике друге чињенице.

Другим методама су испитивали сунчево магнетно поље *Бигило, Биркеланд, Штермер* и други, али су им резултати бар на први поглед у несугласности. Најисцрпније се овим питањем бавио *Деландр* и упозорио, да испитивање протуберанција може такође довести до тачног сазнања о сунчевом општем магнетном пољу. По њему су сунчева атмосфера (хромосфера) и њени највиши слојеви несумњиво доста јако ионизирани, и да би се феномени могли схватити, требало би пажљиво пратити електрична и магнетна дејства на покретне ионе у тима слојевима. Протуберанце су једноставно гомиле светлећих иона, који су избачени аеродинамичким или електричним снагама и доспевши у врло растањене слојеве слободно изазивају карактеристична дејства магнетнога поља, чији је приближан средњи интензитет тек 10^{-7} Gauss-а. *Деландр* даље претпоставља, као и други испитивачи, да је сунчево поље слично земљином и да је изазвано ротацијом његове, вероватно, позитивне оптерећености[1]).

Хелови и Деландрови закључци о интензитету сунчевог поља веома су различити, али се ипак могу сложити, јер се одређење првога односи на доње, а другога на високе слојеве сунчеве атмосфере. *Деландр* је још пре Хелових расправа наговестио, да ће у близини сунчеве површине (фотосфере) магнетно поље бити интензивније, него у високим регијонима, што је доцније и доказано[2]).

Шретиен доцније покушава, да бар приближно испита и облик сунчевог магнетног поља, па долази до општег закључка, да је реално

---

[1]) *H. Deslandres, Explication simple des protubérances solaires et d'autres phénomènes par des champs magnétiques très faibles.* Comt. rendus de l'Acad. des Sciences. Tome CLII. Paris 1911., стр. 1433—1439 и *H. Deslandres, Champ magnétique général des couches supérieures de l'atmosphère solaire. Vérifications nouvelles.*, ibid. Tome CLV Paris 1912., стр. 1573—1578.

[2]) *H. Deslandres, Remarques sur les champs généraux, magnétique et électrique de Soleil.*, ibid. Tome CLVII. Paris 1913., стр. 517—524.

поље увек усправније од елементарног, и да је одступање праваца највеће око 45⁰ хелиогр. шир., где достиже скоро 3⁰. Тај облик је прецизиран за случај, да је електризирање једнолико, и да се цело Сунце обрће око ротацијоне осовине; тада би опште спољашње поље тачно одговарало пољу сасвим кратког магнета, који би лежао на ротацијоној осовини, у сунчевом средишту. Али, то је само прва апроксимација, јер се угаоне брзине код сунчевог обртања око осовине од екватора према већим ширинама смањују[1]).

Ипак је овде једно врло важно питање загонетно, а законетка је у овоме: Пошто је Сунце магнетизирано морало би много изразитије утицати на годишњу, него на дневну периоду магнетних варијација на Земљи, јер се свако место на земљином екватору у току дана удаљи од Сунца за 12756 километара, док у току године нешто више од 5 милијона километара. У истини се, напротив, показује, да је дневна периода варијација много изразитија од годишње.

Хипотезе о земљиној магнетичности. — О физичкој природи земљине магнетичности има велики број разних хипотеза. Већина од њих се ослања на нове проналаске у подручју електрицитета и електромагнетизма, али скуп свих појава код земљине магнетичности није био ниједном потпуно протумачен.

Тек је XX. столеће дало вероватну хипотезу, по којој су појаве земљине магнетичности изазване индукцијом хелио-катодских зракова[2]) при њезином обртању око осовине. Њу је поставио Норвежанин *Биркеланд*, на основу свога богатог искуства[3]).

Катодски се зраци шире кроз етерски простор несметано, са брзином светлости, али у земљиној близини наиђу на њено стално магнетно поље, које их спречи у даљем ширењу. Ако наиђу на ивичне делове земљине атмосфере ти зраци скрену из нормалног правца и добију облик врло неправилних путања; али, кад продру дубље у ваздух, тада се у земљиној близини развијају и ступају у акцију снаге, које су изражене у магнетном деловању. Тиме се може објаснити, зашто су утицајне само оне буктиње, које се налазе око централног меридијана.

---

[1]) *Henry Chrétien, Sur le champ magnétique général du Soleil.* Compt. rend. de l'Acad. des Sciences. Tome CLVI. Paris. 1913., стр. 192—194.

[2]) *Катодски зраци* су пронађени у стакленим цевима, у којима је ваздух веома растањен. Име су добили према томе, што се стварају на катоди, т. ј. на оном крају лима, који је везан са негативним полом електричне струје. Катодско је зрачење проузроковано најкраћим таласима из инфраљубичастог дела спектрума. Оно је невидљиво, али има способност да осветли гасове, на које наиђе. Претварањем у светлост енергија катодских зракова се уништи и с тога могу постојати само у веома растањеном ваздуху, на врло великим висинама.

[3]) *Kr. Birkeland, Sur la conservation et l'origine du magnétisme terrestre.* Compt. rend. de l'Acad. des Sciences, Tome CLVII. Paris 1913., стр. 275—277.

Деловање катодског зрачења при уласку у ваздух почне постепено да слаби; зраци врло брзо изгубе сву своју енергију, јер се она употреби да ваздушне честице разједини и да их ионизира. Међутим, под утицајем ионизирања, најгорњи ваздушни слојеви постану спроводници електричних струја. Пошто ти слојеви атмосфере вероватно не учествују у земљиној ротацији, с једне стране што су врло растањени, а с друге што су веома удаљени од земљине ротацијоне осовине, мораће да обртање стрмо нагнуте магнетне осовине око земљине ротацијоне осовине изазове извесне промене, и образује ново, спољашње магнетно поље, које такође подлежи поремећајима. То поље има у току дана исти утицај на сва места истих упоредника, а и на разним се географским ширинама у истим часовима дана показују доста сличне варијације.

Сунце са својих површина непрестано изашиље катодске зраке, који у ваздуху омогуће доста правилну поделу спроводљивости. Када се на Сунцу извесни делови његове површине поремете, катодско се зрачење знатно појача, и ако је непосредно управљено према Земљи њезино га магнетно поље привуче. У тим се случајевима стварају магнетне буре са великим колебањима интензитета.

На тај је начин катодским зрачењем и спољашњим магнетним пољем објашњен постанак правилних дневних варијација и магнетних поремећаја, који настају у неправилним размацима времена, а индукцијом спољашњих, хелиогених електричних струја унутрашње магнетно поље, које је узрок секуларним варијацијама.

Нешто је друкчију хипотезу поставио *Корн*, али је и она са горњом у приличној сагласности с погледом на основне претпоставке: 1. да земљина магнетичност захваљује свој постанак ротацији и 2. да није пук случај, што је земљина магнетна осовина тако блиска њеној ротацијоној осовини[1]). Он претпоставља, да и Земља, као сва небесна тела, има периодске промене у запремини, т. зв. *пулзације* веома велике честине, али минималне амплитуде, и да Сунце и планете могу имати периодски утицај на правац земљине магнетне осовине. Пошто Земља периодски мења запремину, морала би упоредо да се мења и ротацијона брзина. С тога би се ротацији са константном брзином прикључила периодична брзина и њиховим би се комбинацијама добили фактички односи. По *Хорн*овим теоријама механике то би одговарало магнетном пољу, које је образовано из магнетних честица, чије су осовине паралелне земљиној ротацијоној осовини. Он даље упозорава, да је у *Биркеланд*овој теорији магнетно поље сувише слабо, и да није довољно за објашњење доста јаког земљиног магнетног поља. Али, при томе не треба претпоставити, да је оно образовано одједанпут, него да је, вероватно, резултат веома

[1]) *A. Korn, Sur l'origine du magnétisme terrestre.* Compt. rendus de l'Acad. des Sciences. Tome CLVII. Paris 1913., стр. 1059—1060.

дугог времена. Перманентне су се магнетне честице мало по мало оријентисале према пољу, и по томе се земљина магнетичност не може објаснити садашњим стањем материје, него је наслеђени феномен.

По неким се научењацима може са више сигурности и вероватности претпоставити, да је стално поље електро-магнетно, јер су врло слабе електро-магнетне струје довољне, да оправдају јачину земљиног магнетног поља. Те струје би морале струјати у земљиној унутрашњости, или бар по њеној површини, што се слаже и са математичним резултатима *Гаусове* теорије.

ЕЛЕКТРИЦИТЕТ У ВАЗДУХУ И ЗЕМЉИ

Осим *Франклиновог* тврђења, да је муња електричне природе, о електричним се појавама у ваздуху није скоро ништа знало до последњих деценија прошлог столећа. Тада су *Елстер* и *Гајтл* дали несумњиве доказе, да ваздух није изолатор, као што је раније сматрано, него да је у најнижим слојевима доста добар спроводник електрицитета. Доцније су испитивања све интензивније вршена и дошло се до великог броја важних закључака. Али, пре него што се пређе на посматрање електричних појава, треба дати појам о елементима електрицитета[1]).

Елементи електрицитета. — Када се посматра ма каква природна снага: тежа, напон гасова, притисак или која друга, она се једино огледа у произведеном раду, т. ј. на променама у материјалним телима. Материјална промена или енергетичка мутација је, дакле, потребна, да процеси енергије постану очигледни.

Ако се топлота хоће да искористи и употреби на рад, мора постојати температурна *разлика*; мора бити једно топлије поред другог хладнијег тела. Ако се искоришћава водена снага, морају два водена резервоара бити на *разним* висинама. Тим разликама настају промене у енергији, а ове се показују у раду. Према томе, где нема разлика не може бити ни рада. То је случај и код електричних појава. При употреби електричне енергије мора се увек рачунати са *количином електрицитета* (оптерећењем) и са *висином пада (потенцијалним падом* или *разликом у електричном потенцијалу).*

Електрични потенцијал (V) у извесној тачци електричног поља означава рад, који је употребљен да се јединка исте ознаке електрици-

---

[1]) Опширнији и новији радови о ваздушном и земљином електрицитету су ови: *H. Mache* u. *E. v. Schweidler, Die atmosphärische Elektrizität.* Die Wissenschaft. Samml. naturwiss. u. mathem. Monographien. Hf. 30. Braunschweig 1909 — *Dr. Alfred Nippoldt, Erdmagnetismus-Erdelektrizität.*, l. c. — *R. Süring, Luft- und Wolkenelektrizität*, у *Prof. Dr. Julius von Hann, Lehrbuch der Meteorologie*, III. umgearbeitete Auflage. Leipzig 1915., стр. 738–751.

тета привуче из бескрајног удаљења (одбијање = 0) до те тачке. Практична јединка потенцијала је 1 Volt = 10^8 апс. електростат. јед.[1])

Потенцијалан пад се изражава са $dV : dh$, ако је са dh означен диференцијал висине. Јединка потенцијалног пада је 1 Volt на 1 метар висине, а величина јој је 1 Volt/м = $^1/_{30000}$ апс. електростат. јед.

Практична јединка електричне оптерећености названа је Coulomb, именом проналазача закона о електричном привлачењу и одбијању, а величина јој је 1 Coulomb = 0·1 апс. електростат. јед.

Напослетку је *електрично поље* простор, на коме се осећа деловање електричних снага.

Промене потенцијалног пада. — На основу многобројних посматрања је доказано, да је средња вредност потенцијалног пада при земљиној површини око 100 Volt/м., али да се она од места до места мења, са максималним разликама од 52 до 242 Volt/м. Код потенцијалног пада не постоји, дакле, зависност од географских ширина, и с тога се о географској подели електричног потенцијала још врло мало зна. Нешто је јасније изражена зависност од надморских висина, нарочито на пределима пространих равница. Ту се показује, да су у нижим ваздушним слојевима, до 1500 метара висине, односи врло непостојани и неправилни, јер у њима има доста водене паре, која апсорбује ионе. Изнад тих висина потенцијалан пад почне нагло да опада и асимптотички се ближи нули. То се јасно види из скице 152. и из приложене таблице, у којој су изнесени резултати пењања у ваздушним лоптама:

висина у километрима	0·1	1·5	4·0	6·0	9·0
потенцијалан пад у Volt/м.	100	25	10	7	3

Скица 152.

У пределима неправилне топографије односи се знатно мењају. Услед неправилних облика земљине површине и неједнако високих предмета на њој нивоске површине електричног потенцијала су знатно поремећене. Представу о начину поремећаја даје скица 153., из које се види, да су линије истих потенцијала на равницама хоризонталне и у правилним размацима удаљене једне од других, док се на узвишењима извијају и знатно се приближују. Сличне разлике постоје и између равница и брегова, т. ј. линије изопотенцијала су на истакнутим тачкама земљине површине ближе једна другој, него изнад равних површина. С тога је на торњевима и планинским врховима потенцијалан

[1]) *Електростатичка јединка* електричне оптерећености је она, која на исту оптерећеност електрицитетом делује снагом, којом би се на 1 граму за време 1 секунде изазвала акцелерација од 1 центиметра. Та величина је 1 Dyne = гр × цм/сек².

пад увек сувише велики. Тако је на пр. средњи потенцијалан пад на врху Шафберга (1780 м.) 318 Volt/м., а изнад долине (470 м.) 68 Volt/м., док је при сасвим ведром небу на врху 2000 Volt/м., а у долини тек 100 Volt/м.

Скица 153. (по Hann-у)

Осим тога, на електрични потенцијалан пад много утичу и метеоролошки елементи, нарочито температура и апсолутна влажност. У главноме се показује, да са повећањем парног притиска и температуре потенцијалан пад опада, као што се види из примера за Ладенбург, на Некару[1]).

сред. паран притисак мм.	1·4	2·6	3·6	4·5	5·4	6·4	7·5	8·6	9·5	10·4	12·8
сред. температура °C	—13·5	—4·4	1·8	8·4	11·1	15·5	15·3	18·1	18·7	18·7	21·7
потенцијалан пад Volt/м.	453	357	106	83	90	69	67	85	60	68	65

Али то вреди само у случајевима, ако се и парни притисци и температуре истовремено повећавају. Иначе се показује, да се при повећавању парног притиска потенцијалан пад донекле смањује, затим се повећава, па опет смањује. Много је важнији утицај механичке замућености ваздуха, чађи, магле, прашине, кондензацијоних зрнаца и т. д., јер што је замућенији ваздух тим већи је потенцијалан пад, све док не настану вртлози. Тада се услед трења појединих честица стварају негативна поља, која смањују потенцијалан пад или га чак преобрате у негативан. Између замућености ваздуха и потенцијалног пада постоје ови односи:

замућеност	147	57	19	6	
потенцијалан пад	378	298	122	141	Volt/м.

Пошто су јаки ветрови, а нарочито слаповити ветрови, као што су бура и фен, затим узвитлан снег и распрскана слана вода главни узроци замућености, могу се сматрати и као узроци, који смањују електрични потенцијалан пад.

Теорија иона. — Пре него што се пређе на питање о годишњем и дневном току електрицитета, треба указати на узрок, зашто се количине ваздушног електрицитета мењају, зашто се јавља дневна и годишња периода, да ли је атмосфера толико јак изолатор, да је поравнање између обеју врста електрицитета немогуће, или ако није, зашто се стално деле позитиван и негативан електрицитет.

И ако ова питања још нису довољно објашњена, има ипак доста сигурних података, да би се у будуће могла правилно решити. Пре но што се на њих одговори треба дати појам о *иону*[2]).

---

[1]) *Dr. A. Gockel, Messungen des Potentialgefälles der Luftelektricität in Ladenburg a. Neckar.* Met. Zeitschr. 1897., стр. 281—297.

[2]) *Dr. H. Ebert, Die Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität vom Standpunkte der Ionentheorie aus betrachtet.* Met. Zeitschr. 1901, стр. 289—299 и 337—351.

У уводу је споменуто, да је електрична јединка *електрон* и да се он тачније може дефинирати као јединка негативне електричне оптерећености. Али је онда питање, како треба схватити електрично позитивно пуњење и позитивну електричну оптерећеност. То се може објаснити структуром метала. Познато је, да у сваком металу има електрона у слободном стању. Они се стварају дисоцијацијом, одн. разједињењем појединих атома. Слободни су електрони задахнути истим кретањима као гасовите честице у кинетичној теорији гасова. Када се атомско тело ослободи једног електрона постаје један моновалентан *ион* позитивног електрицитета т. ј. електропозитиван ион, а атом, коме се један електрон придружи постаје електронегативан ион. Сваки слободан електрон, ако наиђе на неки ион, он се са њиме поново спаја, што се догађа и у ваздуху.

Према теорији иона гасови у своме природном стању нису спроводници електрицитета, него спроводљивост настаје спољашњим утицајима, као што је на пр. зрачење. Тим утицајима се у ваздуху стварају спроводници позитивног и негативног електрицитета, т. ј. *иони*. Они се при чистом ваздуху крећу без икаквих препрека, са изузетком трења, али се при магли и облацима везују за водене капљице, услед чега им се маса повећава, а покретљивост смањује.

Ако се у гасовима налазе мале количине позитивно и негативно електричних честица, тада се дисоцијацијом неутралних гасовитих молекила образују позитивни и негативни иони. Први условљавају расипање или неутрализирање негативног електрицитета, а други расипање или неутрализирање позитивног електрицитета.

Према *Бекерел*овом назору „ионизирање“ ваздуха настаје под утицајем радијума, полонијума, актинијума и торијума. Та тела, која имају особину, да оптерећене спроводнике празне, и која ионизирају ваздух, зову се *радиоактивна тела*. Осим овог начина ваздух се ионизира и под утицајем инфраљубичастих зракова.

Под свим се овим утицајима неутрални ваздушни молекили одељују у позитивне и негативне ионе. Они се у електричном пољу крећу извесном брзином, али је кретање негативних иона око 1·5 пута брже од позитивних.

Спроводљивост иона K је продукт њиховог броја n и брзине кретања v, дакле је $K = nv$. У овој једначини је брзина кретања приближно позната, али је непознат број иона. Да би се он могао одредити може се послужити ионским аспиратором. Код њега одређена и позната количина ваздуха струји кроз цилиндричан кондензатор, чији је спољашњи зид спојен са земљом, док је унутрашњи оптерећен до извесног потенцијала и везан са електрометром. Из губитка пражњењем може се одредити *оптерећеност*, па посредно *и број иона* у тој запремини. Код сваког иона је апсолутан износ електричне количине, т. зв. „елементарни кван-

тум“ $\varepsilon = 3{,}4 \times 10^{-10}$ електростат. јед. На основу тога се може закључити, да у сваком кубном центиметру ваздуха изнад равница има око 1000 иона, што би у кубном метру одговарало оптерећености од 0,3 до 0,4 електростат. јед. При томе је број позитивних иона већи, и то при земљиној површини око 250 у кубном центиметру. И ако још није сигурно доказано ипак је према експерименталним резултатима вероватно, да је оптерећеност код свих иона иста, осим тога, да су идентични са електролитским ионима, са електронима у катодским зрацима и β- зрацима радиоактивних тела.

Спроводљивост је отприлике до 3000 метара висине скоро иста као при земљи, али се у првих 1000 метара показују врло неправилна колебања. Од 3000 метара на више спроводљивост се споро повећава, а од 6000 метара брже.

Осим тога, спроводљивост иона показује изразите везе и са метеоролошким елементима. Пре свега је спровођење (или расипање) у ведрим, сунчаним данима веће, него при облачном и мутном времену. Са прираштајем температура и парног притиска повећава се и расипање. Даље је расипање тим јаче, што је ваздух чистији, т. ј. што је мање прашних и органских честица у њему. Исто тако десцендентни или слаповити ветрови: фен, бўра, затим ноћни поветарци, повећавају расипање. Напослетку, у приморју, морски ветар доноси више иона, него копнени ветар, и ако је у ваздуху изнад океанских површина најмање иона.

Важна је особина иона, што у просторима, који су пресићени воденом паром, служе као кондензацијона језгра, око којих се образују сићушне водене капљице.

Годишњи ток ваздушног електрицитета. — Годишњи је ток електрицитета на обе земљине полукугле доста правилан. Одговарајући везама између температура и електричног потенцијала у зимским је месецима електричан напон ваздуха[1]) при ведром небу већи, него у летњим месецима. С тога се на северној полукугли максимум потенцијалног пада свугде јавља између децембра до фебруара; доцније почне доста нагло да опада, али се у летњим месецима, од маја до августа, одржава скоро на истим малим вредностима, а затим се постепено повећава. За јужну је полукуглу карактеристично, да је на свима антарктичким станицама потенцијалан пад у нашим летњим месецима (т. ј. за време тамошње зиме) знатно већи, него у зимским месецима, јер се минимум јавља између маја и јуна. Међутим је у субтропским и умереним ширинама ток ваздушног електрицитета нормалан, само у графичком приказу има обрнут облик, услед супротних годишњих времена. У тропским преде-

[1]) *Електричним напоном* је означено, у којем степену електрицитет тежи да се одвоји од спроводника (кондуктора). Према томе, електричан напон има скоро исто значење као и електрични потенцијал.

лима је облик годишњег тока поремећен; он је неправилан, а годишња колебања су доста незнатна.

Наравно, да су средње вредности и колебања на разним местима различита, што се догађа и код свих метеоролошких и магнетних елемената. Нарочито се у пролетњим и јесењим месецима средње дневне вредности у истом месецу разликују до 100% према томе, да ли дотични дани имају изразитији или мање изразит летњи карактер.

Скица 154. — Годишњи ток потенцијалног пада: 1. Потсдам, 2. Кју, 3, Буенос Ајрес.

Да би се показао годишњи ток потенцијалног пада приложена је скица 154., у којој су уцртани и токови двеју станица већих географских ширина: Потсдам (52°23′ сев. шир.) и Кју (52°27′ сев. шир.), и једне у субтропским ширинама јужне полукугле: Буенос Ајрес (36°46′), на обали Атлантског Океана. У таблици су изнесене одговарајуће вредности за ове три станице, осим тога и пример за Антарктик, у коме су спојене три станице (око 70° ј. ш.) и изведени средњи односи. Вредности означују Volt/м.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год.
Потсдам	**351**	328	264	239	212	*195*	202	200	223	242	275	324	255
Кју (Kew)	201	224	180	138	123	111	*98*	114	121	153	200	**243**	159
Буенос Ајрес	88	*67*	78	122	149	157	**163**	161	150	136	128	112	126
Антарктик	**116**	107	87	77	69	*66*	69	78	88	85	98	**116**	88

После изнесених факата о годишњем току потенцијалног пада треба покушати, да се он објасни. При томе, свакако, треба поћи од највероватније претпоставке, да се под утицајем сунчаног зрачења електрично поље појачава, т. ј. зрачењем се повећава земљина негативна оптерећеност. Када се Земља највећма приближи Сунцу (у зими северне полукугле), њезина ће негативна оптерећеност бити јача и потенцијалан пад већи, него кад се највише удаљи, у зими јужне полукугле[1]). То мишљење се слаже са претпоставком *Реа*, да је на јужној земљиној полукугли електрично поље у лету јаче него зими[2]), а исто тако и са најновијим резултатима антарктичких експедиција[3]). — Непосредно деловање сун-

[1]) *D. Smirnow, Über den täglichen Gang des Potentialgefälles.* Physikal. Zeitschr. 1908. 9 Jahrg. № 10.

[2]) *J. J. Rey, Observations d'électricité atmosphérique sur la Terre de Graham et variations du champ à la surface du globe.* Annuaire de la Soc. Météorol. de France. Juin 1906. Paris.

[3]) *J. v. Hann, Die jährliche Periode des luftelektrischen Potentials in der Antarktis.* Met. Zeitschr. 1914., стр. 504—505.

чевог зрачења изазива у највишим ваздушним слојевима негативну оптерећеност, у средњим ваздушним слојевима смањује позитивну оптерећеност, а при земљиној површини потенцијалан пад. То се у годишњем току показује врло изразито.

Дневни ток ваздушног електрицитета. — У супротности са правилним годишњим колебањем потенцијалног пада, дневни ток је доста компликованији и с тога нејаснији. Једино, ако се узму у обзир само ведри дани, добиће се нешто правилнији односи, и у том се случају може говорити о дневној периоди електрицитета.

Ако се пође са тога гледишта, доћи ће се лако до закључка, да дневни ток у тропским ширинама има у свима месецима доста сличан облик, док се на средњим и већим ширинама показује јасна разлика између дневног тока у зимском и у летњем годишњем добу. У лету је доста изразита дупла периода, са два максимума и два минимума, као у тропским пределима, а облик тога тока подсећа на дневно колебање ваздушног притиска. У зиму секундарни екстреми нестану, а место дупле јави се једноставна периода, са минимумом око 3 до 5 часова по поноћи, а максимум је између 7 до 9 часова у вече.

Ови се односи могу показати на два примера, за Потсдам и субекваторијалну станицу Батавију (6°19′ јуж. шир.), на Јави. Вредности у приложеној таблици изнесене су у одступањима од средње вредности и изражене у Volt/м.

		ср. вредн.	Пћ	2_a	4_a	6_a	8	10_a	Пд	2_p	4_p	6_p	8_p	10_p
Потсдам	лето	202	+29	+ 2	−18	+ 7	+45	+26	−22	38	−36	−30	0	+34
	зима	351	+ 6	−70	−88	−86	−54	−10	+16	+34	+38	+67	+86	+62
Батавија	лето кишно доба	117	+40	+23	+13	+24	+18	−52	−74	−72	−62	+ 7	+60	+53
	зима сушно доба	118	+21	+ 6	− 4	+12	+53	−27	−54	−63	−58	+ 2	+51	+46

Графички су ови односи приказани у скицама 155 и 156 за обе станице. У њима су разлике у облицима још много јасније, него што се може исчитати из цифара. С једне се стране види, да Батавија има доста сталан облик, а с друге, да се облик у Потсдаму знатно мења. Али је Потсдам, као представник средњих географских ширина, карактеристичан с тога, што у лету показује тип екваторијалног тока, са сталном дуплом периодом, док у зиму показује тип поларног тока, са сталном једноставном периодом. Код поларног је типа најчешћи случај, да максимум падне на известан вечерњи или ноћни час, а минимум на часове око праскозорја. Међутим се на Антарктику појављују разлике, јер станице на Грахамовој Земљи (65° ј. ш., 63·8° зап. Гр.) имају минимум око 4 часа ујутру, максимум око 4 часа по подне, док је код станица на Викторијиној Земљи (77·7° ј. ш., 166·3° ист. Гр.) максимум у 6 часова ујутру, а минимум око 2 до 3 часа по подне.

Смирнов је покушао, да дневни ток потенцијалног пада протумачи утицајем ниских ваздушних слојева, јер, ако се у земљином електричном пољу појави ваздушна струја са много прашних честица или водене паре, и са слабом покретљивошћу иона, пореметиће се вертикална електрична спроводна струја[1]). Из тог се разлога количина електрицитета и интензитет поља у запремини тога слоја промену.

Зимски тип, са ноћним минимумом и вечерњим максимумом, може се објаснити овако: У вечерњим часовима, после сунчевог заласка, земљина се површина хлади, а релативна влажност се повећава, т. ј. с почетка се образује танак ваздушан слој са слабом покретљивошћу иона. На тај се начин спроводна струја поремети, јер се позитивни иони нагомилавају изнад тешко пропустљивог ваздушног слоја. С тога поље

Скица 155. — Дневни ток потенцијалног пада у лето.

Скица 156. — Дневни ток потенцијалног пада у зиму.

изнад њега има мању снагу, а у самом слоју већу. Тиме се може објаснити, што интензитет поља према доцнијим ноћним часова опада. Смањивање потенцијалног пада траје кроз целу ноћ; узрок је вероватно у томе, што се дебљина влажног слоја у току ноћи повећава, Али се још пре сунчевог рађања и успостављања спроводљивости у ниским ваздушним слојевима број позитивних иона при тлу, т. ј. испод колектора, почиње смањивати, а интензитет поља се појачава. Под утицајем првих сунчевих зракова снага електричног поља нагло се повећава, јер се спроводљивост на тлу брзо успостави. Максимум у интензитету поља настао би по подневу, пошто се спроводљивост ваздуха повећава до вечери.

Код летњег се типа јавља прекид у нормалном току, са смањивањом потенцијалног пада за време најјачег сјаја, т. ј. од 10 часова пре подне до 4 часа по подне, али се на висинама око 300 метара не показује. Многе се појединости у овој варијацији могу објаснити асцендентним ваздушним струјама, које се развијају при јачем загревању тла и собом односе позитиван електрицитет. У летњим се данима, дакле,

[1]) в. ранији цитат.

ваздушан слој са позитивним ионима диже на више и снага поља се на висинама око 300 метара до вечера појачава. У нижим се слојевима, наравно, снага поља истовремено смањује, као и потенцијалан пад, али чим асцендентне струје престану спушта се слој са позитивним ионима несметано ка земљиној површини и при томе се јавља вечерњи максимум потенцијалног пада. На висини се истовремено интензитет поља смањује.

Експериментално је доказано, да су промене у количини иона у нижем ваздушном слоју квантитативно довољне, да објасне колебања потенцијалног пада.

Али, као што је напред споменуто, све ово вреди само за ведре дане. При мутним, нарочито зимским данима, никако се не јавља правилна периода. Тада минима и максима могу падати у најразличитије часове дана. То је у главном последица магли, било изнад земљине површине или при планинским падинама. Исто тако, под утицајем облака и ваздушног талога, настају изненадне, неправилне, и често врло јаке промене у ваздушном електрицитету. Напон се често пење и изнад 1000 Volt-а и доста се нагло смањују позитивни и негативни напони. И у електричном пољу ваздуха настају поремећаји, као што се видело и код магнетних елемената, али овде из других разлога.

Земљин и ваздушни електрицитет. — При свима мерењима ваздушног електрицитета се показало, да је потенцијалан пад при лепом времену позитиван. Али је, поред лепог, веома често и облачно, мутно или ружно време, па се с тога и ти односи морају узети у обзир, ако се хоће да добије средње стање електрицитета у ваздуху изнад Земље. То је потребно тим пре, што на Земљи има само у субтропским ширинама два појаса са доста малом облачношћу, док је у свима другим пределима облачност знатно већа.

Испитивањем је, међутим, утврђено, да је потенцијалан пад и при ружном времену позитиван, а само приликом бура и непогода, или других локалних чиниоца да је негативан. Тиме је несумњиво доказано, да је негативан потенцијалан пад само поремећај нормалног стања, и да у ваздуху изнад целе земљине површине несравњено више превлађује позитиван потенцијалан пад. Али, то доводи до врло важног закључка, да је земљино тело оптерећено негативним електрицитетом, приближно са $2{,}7 \times 10^{-4}$ електростат. јед. на квадратном центиметру површине.

Пошто оптерећеност негативним електрицитетом не може постојати сама за себе, мора у ваздушном стубу од доње до горње границе бити исто толико позитивног електрицитета, колико је на истој површини тла негативног.

Опадање потенцијалног пада са висином и његово асимптотичко ближење нули доводи до даљег важног закључка, да је целокупна опте-

ређеност Земље једнака нули, јер је негативна оптерећеност њезине површине потпуно изједначена једнако великом позитивном оптерећеношћу ваздуха. Али се тим чињеницама потврђује, да је оптерећеност целе земљине површине и целе ваздушне масе иста, и да је густина електрицитета[1]) у целини непроменљива. При свем том је услед непрестаних промена у потенцијалном паду несумњиво, да се догађају пренашања електрицитета, делом нагомилавања у ваздуху, делом смањивања до испод нормале. То се нарочито догађа у ниским ваздушним слојевима, у којима се одигравају временске појаве[2]).

Узрок позитивног електрицитета у ваздуху. — Напред је споменуто, да је кубан метар ваздуха у средњу руку оптерећен са 0,3 до 0,4 електростат. јед., да је број позитивних иона нешто већи од броја негативних иона и да је при земљиној површини у кубном метру око 250 позитивних иона више. Али, кад би у слободном ваздуху до 1000 метара висине позитивна густина простора била око $2{,}0 \times 10^{-9}$ електростат јед., требало би да је на тој висини само шест позитивних иона у цм^3 више, па да се негативна оптерећеност земљине површине надокнади. На висинама од 1 до 4 километра требао би само један позитиван ион у 2 цм^3. да учини то исто. По тим се чињеницама може закључити, да је позитивна оптерећеност ваздуха изазвана вишком позитивних иона. Исто би тако мањи потенцијали у лету били проузроковани слабијим превлађивањем позитивних иона, а већи потенцијали у зимским месецима јачим превлађивањем тих иона.

С друге се стране показује, да иони супротног предзнака имају тежњу за спајањем, које је толико брзо, да се за време једног секунда споји један или два пара иона у кубном центиметру ваздуха. Осим тога, земљина површина, облаци, прашина и т. д. апсорбују ионе, а то све иде на штету позитивних иона, па ипак у ваздуху остају у доста великом броју. То све доводи до закључка, да мора бити узрокâ, услед којих се ваздух ионизира и нагомилава у себи позитивне ионе.

Пре свега је доказано, да природан ваздух сам по себи има могућност за стварање иона, али да је ваздух у тлу способан за много већу активност. Главни узроци за ионизирање слободног, т. ј. атмосферског ваздуха су сунчеви зраци најмањих таласних дужина, распрскана вода на водопадима, млат мора и најважнији природни извор електрицитета:

---

[1]) *Густина електрицитета* σ означава количину електрицитета у волумној јединци ваздуха. Према *Поасоновом* закону је $\sigma = -\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dv}{dh} = -2{,}7 \times 10^{-4}$ електростат. јед. у цм^3.

[2]) *Dr. Wilhelm Trabert, Der Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des Erdmagnetismus und den elektrischen Vorgängen in der Atmosphäre.* Met. Zeitschr. 1908., стр. 401—412.

радиоактивне супстанције. Утицај првог чиниоца нарочито превлађује у високим ваздушним слојевима, а остали претежно у приземном ваздуху.

У земљиној унутрашњости, нарочито у пећинама, пукотинама, па и подрумима, има довољно радиоактивних супстанција. Радијацијоним еманацијама[1]) и њиховим продуктима распадања постаје и ваздух радиоактиван. Он добија радиоактивност из тла, из извора и из морске воде, јер у свима има трагова радијума. Када се ионизиран ваздух диже из земљине унутрашњости ка површини, он у честице тла претежно издаје негативан електрицитет и доспе до приземног ваздушног слоја са вишком позитивних иона, који ветровима и асцендентним струјама бивају однашани у више слојеве ваздуха. То је доказано и чињеницама, јер је радиоактивност на копну већа него на океанима, а на планинама већа но на равницама. Напослетку, дисоцијација неутралних молекила у позитивне и негативне ионе настаје и услед радиоактивног деловања свеже кише и снега.

Курц је, међутим, при испитивању свих ових односа дошао до закључка, да одржавање електричне равнотеже у ~~њему~~ само делимично зависи од суспендованих радиоактивних материја у ~~ваздуху~~, а главан узрок да лежи у продирању сунчевих зракова и у колебањима еманација[2]).

Узрок земљиног негативног електрицитета. — Споменуто је, да је на земљиној површини нагомилан негативан електрицитет. Али, ваздух има известан степен спроводљивости и негативан електрицитет бива пренашан у ваздушне слојеве са позитивним електрицитетом, а овај из ваздуха на земљину површину. На тај би начин Земља стално примала позитиван електрицитет и изгубила би равнотежу. До тога, наравно, не долази, по чему се мора закључити, да има неког узрока, који непрестано надокнађује губитак земљиног негативног електрицитета.

Могло би се сматрати, да су ваздушни талози највероватнији узрок донашању негативног електрицитета на земљину површину. У томе циљу су чињена многа испитивања, нарочито у Индији, приликом југозападног монсуна, када падају најјаче кише. *Симсон* је на основу обрађеног материјала извео важан закључак, да кише доносе на земљину површину више позитивног, него негативног електрицитета[3]). У првој години мерења, 1908, било је 2·9 пута више позитивно оптерећених, него негативно оптерећених киша, а идуће године 3·2 пута више. Али је значајно, да је код мање интензивних, али дуготрајних киша средња негативна оптере-

---

[1]) *Еманација* је реч латинског порекла, од emano, — are; њен појам се приближио подудара са појмом испаравања.

[2]) *W. Kurz, Radium, Thorium und Aktinium in der Atmosphäre und ihre Bedeutung für die atmosphärische Elektrizität.* München 1909.

[3]) *George C. Simpson, On the Electricity of Rain and its Origin in Thunderstorm.* Phil. Transact. of the R. Soc. London. Ser. A. Vol. 209. 1909., стр. 379—413.

ћеност кубног центиметра кише нешто већа од позитивне оптерећености исте запремине. Тако је при кишама, код којих је за 10 минута пало мање од 3 милиметра, однос негативне према позитивној оптерећености био 1 : 0·75. Код јачих киша, које се могу означити као пљускови, средња позитивна оптерећеност кубног центиметра кише остаје скоро непроменљива, док се средња негативна оптерећеност са појачањем интензитета кише правилно смањује. Према томе, пљускови и провале облака, са великом брзином асцендентног струјања, имају скоро искључиво позитивне вредности, али дуготрајне кише доносе на земљину површину негативан електрицитет. Целокупан позитиван електрицитет, који кишама падне на површину квадратног центиметра је 44·0 електростат. јед., а целокупан негативан електрицитет 13·8 електростат. јед., Земља, дакле, прима кишама нешто више од четвртине негативног, а мање од три четвртине позитивног електрицитета.

До нешто друкчијих закључака долази *Келер*, на основу детаљних посматрања у Потсдаму[1]). И по њему код пљускова и непогода уопште превлађује позитиван предзнак, али процентуално није ни близу онолико велики као код обичних киша, код којих око две трећине отпада на позитиван, а једна на негативан предзнак.

Из свега овог излази, да ваздушни талози не могу бити узрок земљином негативном електрицитету и да се *Гердин*ова кондензацијона теорија, по којој се кондензација у ваздуху радије догађа на негативним него позитивним носиоцима и с тога у талозима има претек негативне оптерећености, не може одржати. Поред ове теорије постављено је још неколико других, али се према саданњем стању науке могу одржати само две од њих. *Келер* је у једној краткој расправи упоредио све теорије, упозорио на главне замерке, које су против њих изнесене, и закључио, да се за објашњење негативне земљине оптерећености може применити *Еберт*ова адсорпцијона теорија и *Симпсон-Сван*ова теорија кваната[2]).

Главна заслуга *Еберт*ове теорије лежи у чињеници, што за објашњење ваздушног електричног поља узима радиоактивне супстанције, и што указује, да радиоактивност ваздуха из тла и еманације нису само меродавне за спроводљивост слободног ваздуха, него и за негативну земљину оптерећеност. Према квантитативним мерењима еманација ваздуха у тлу и излазећих еманација несумњиво следује, да могу дати онолико електрицитета, колико га има изнад копнених предела. Али, у ваздуху би се тај утицај осетио тек до незнатних висина, јер је рачунски доказано, да

---

[1]) *Karl Kähler, Ergebnisse der Registrierungen der Niederschlagselektrizität zu Potsdam im Jahre 1908.* Veröffentl. des kgl. Preuss. Meteorol. Instituts. № 213. Berlin 1909. стр. 10—22.

[2]) *K. Kähler, Die Aufrechterhaltung der negativen Erdladung.* Met. Zeitschr. 1921. стр. 199—203.

би већ на њима потенцијалан пад спао на нулу. Према томе се овим узроком не би могла протумачити цела позитивна оптерећеност ваздуха електрицитетом, односно цела негативна земљина оптерећеност, него тек незнатан део. Исто се тако овом теоријом не би могао објаснити ваздушан електрицитет изнад океана, а пре неколико година је утврђено, да на пучини Тихог Океана скоро сви елементи ваздушног електрицитета имају високе вредности.

С тога се за односе у ваздуху изнад океана и у високим слојевима ваздуха мора тражити нов извор електрицитета. *Арениус* је при почетку овог столећа поставио хипотезу, да Сунце изашиље у ваздух негативне зраке, а *Симпсон* ју је применуо на ваздушни електрицитет, претпостављајући да је то β- зрачење[1]), које продире до земљине површине. *Сван* доцније то мишљење преиначује и претпоставља, да је негативна земљина оптерећеност проузрокована γ- зрацима, који стално изашиљу врло јаке секундарне β- зраке, претежно у правцу ваздух — земљина површина. То је теорија кваната[2]), јер очигледно полази од елементарних кваната електрицитета велике брзине, која нису везана ни са чим телесним; али се и она своди на радиоактивне супстанције. Велика тешкоћа на коју ова теорија наилази је у томе, што код ње β- и γ- зраци морају имати сасвим друкчије особине од оних, које су до сада експериментално пронађене.

Поларне светлости.

Поларне светлости имају тесне везе са појавама земљине магнетичности и са електрицитетом у ваздуху и с тога треба указати на њихове облике, карактер, физичке особине и на вероватан узрок њиховог постанка.

Када на већим географским ширинама обе земљине полукугле падне мрак, доста се често појављује на небу слабији или јачи сјај, који је познат под именом поларних светлости. Али се, према полукугли на којој постану, разликују *северне* (aurora borealis) од *јужних светлости* (aurora australis). Према мањим географским ширинама су поларне светлости све ређе и око 25⁰ геогр. шир. потпуно нестану и за увек су невидљиве. Њихова појава је и по облику и по јачини сјаја толико многолика, да се потпуно тачна дефиниција не може дати, али се ипак могу разликовати неколико карактеристичних типова.

Типови поларних светлости. — Јасни и изразити облици поларних светлости могу се посматрати и проучавати само на великим географским ширинама, нарочито у близини стожерника. Оне се у глав-

---

[1]) О β- и γ- зрацима има исцрпних података у делу *H. Guilleminot, Les nouveaux horizons de la Science.* Tome II. Paris 1913, G. Steinheil., стр. 249—268 и 274—282.

[2]) У латинском *quanta* pl. означују величине.

ном јављају у два основна типа, као луци и драперије, али између њих и изван њих има пуно прелазака.

Луци су већином слични облику дуге, али се од ње разликују по томе, што имају беличасту или жућкасту боју и што стоје попречно на магнетни меридијан. База им је веома оштро ограничена и део неба испод лука је према осталом небесном своду нарочито таман, по чему је назван *таман сегмент* (в. скицу 157.). Кадикад се код лукова издвајају у уздужном правцу по неколико пруга, нарочито ако су боље развијени, и тада су још сличнији дуги, са њеним разним пругама. Луци су изван поларног предела најчешћи облици поларних светлости на северном небу.

Скица 157. — Поларна светлост у облику лука.

Често се иза појаве лукова почну покрај њих јављати краћи зраци, који су према ивицама лука већином стрмо нагнути и изгледају као *кончићи*.

Насупрот овима могу са лукова да великом брзином избијају *зраци*, који се постепено издижу на све веће висине и често се испну до зенита. Код њих је карактеристично, што се у почетку јављају у љубичасто-белој светлости, да доцније почну прелазити у црвенкасту боју. Зраци су непостојане творевине и често се дуж лука помичу према крајевима и одатле даље.

При најсјајнијим појавама зракова почну се са свих страна видика издизати светли свежњеви, који се у перспективи сједињују у једној тачци неба и образују т. зв. *круну* (corona) поларних светлости. Такве су појаве опажене на више места и утврђено је, да оне по своме сјају и лепоти премашају и најлепше лукове и драперије[1]). При појавама корона̂ најчешће се показује живахно кретање, кадикад снажно буктење, некада повијање тамо и амо, а гдекад и обртање око средишта.

Кад активност поларне светлости почне да слаби, и ова да исчезава, на њеном ће месту остати мање или више сјајна *сумаглица* са неодређеним обликом. Међутим се та појава кадикад показује и пре развитка снажније поларне светлости, као њен претеча, на истом месту где ће засјати.

---

[1]) Корона, која је 25. октобра 1870 год. опажена у Единбуриу, приказана је у бојама у делу: *Julius Hann, Die Erde als Ganzes, ihre Atmosphäre und Hydrosphäre.* V. neubearb. Aufl. 1896., стр. 100.

Траке се јављају у пределима чешћих поларних светлости, када се луци избраздају усправно на њихово пружање и једним се крајем откину од видика. Тада се тај крај почне по небу лелујати и често се уковрчи, као спирала. Гдекада се и други крај одвоји од хоризонта, па се и он почне увијати. С тога се траке некад покажу у извијуганом, змијастом, а кадикад у прстенастом облику.

На великим географским ширинама, око стожерника, поларне се светлости најчешће појављују у облику *драперија*. Оне донекле показују сличности са луковима, али се нарочито одликују тиме, што дају утисак слободно лебдећих, набораних завеса (скица 158.), са великом хоризонталном брзином кретања од Југа на Север, на северној земљиној полукугли. Према набораности су добиле и своје име. Боре су код драперија увек усправне, на доле су најчешће оштро ограничене, али се на више постепено губе. Када се посматрају издалека изгледају широке и високе, али кад се издигну до зенита, и пролазе изнад посматрачевог темена, показују се у пресеку као врло танке, сјајне, извијугане линије, што даје јасан доказ о њиховој зрачној структури.

Скица 158. — Поларна светлост у облику драперије.

У поларним се пределима често виде сви облици поларних светлости истовремено, али им је променљивост већа. Према мањим географским ширинама, а можда и према половима, облици постају све једноличији и неизразитији.

Кадикад се поларне светлости могу видети и за време дневних часова, као на пр. у северним пределима Лабрадора. Тамо су се показале у облику бледих облака, са карактеристичним појавама зракова и трака.

Паулзен је покушао да докаже, како су све облачне и магловите појаве при развитку поларних светлости само споредног значаја, и да немају ничег заједничког са њиховим правим облицима[1]). По његовој теорији зрачења могу се сви типови поларних светлости поделити на две главне групе. У прву урачунава све светлости настале апсорпцијом зракова, који се крећу правцем линија снага код земљине магнетичности. То су луци, драперије и облици састављени из система трака и лукова, дакле

[1]) *Adam Paulsen, Natur und Ursache des Polarlichtes.* Met. Zeitschr. 1894, стр. 450—462.

све поларне светлости, које су способне да при јаком интензитету издају из себе зраке. Код друге се групе поларних светлости никада не јавља зрачна структура; то су облици, који се могу проширити преко великог дела неба и свугде имају подједнак, доста слаб сјај. Ти облици се према првој групи разликују по величини и јачини сјаја.

Висина поларних светлости. — Према саставу поларних светлости могло би се закључити, да ће им и висине бити исто онолико променљиве, као што су им облици, али се бар за извесне пределе, у којима су честе и систематски испитиване, могу извести неколико сигурнијих закључака.

Раније су висине поларних светлости прорачунаване паралаксама са двеју посматрачких станица, али се од почетка овога столећа одређују фотографисањем исте светлости са фото-теодолитом, али и у овом случају истовремено са двеју блиских станица. Тим начином је у пролеће 1913 године одређивана висина великог броја поларних светлости (2500) у северној Норвешкој, на станицама Босекоп (70° сев. шир.) и Сторе Кронес, које су у правој линији на растојању од 27·5 километара. *Стермер* је извео као главан закључак, да висине варирају од 44 до 368 километара, али да су светлости најчешће на висинама између 80 и 140 километара. При томе је, за разне висинске појасеве, одредио оволике релативне честине северних светлости[1]):

од 85	до 90	км.	43	од 111	до 115	км.	336	од 136	до 140	км.	57
91 „	95	„	153	116 „	120	„	233	141 „	150	„	64
96 „	100	„	268	121 „	125	„	149	151 „	160	„	38
101 „	105	„	427	126 „	130	„	109	161 „	170	„	25
106 „	110	„	427	131 „	135	„	69	171 „	180	„	20

Највећа честина поларних светлости је на висинама од 100 до 110 километара, а апсолутаи максимум је на висини од 105 километара са 101 случајем.

У истом су добу, 1913 и 1914 године, фотографисане у истом пределу северне светлости, и за већину паралактичких фотографија су служиле две базе: Халде-Гардиа, на удаљењу 26·3 километра и Халде-Босекоп, на удаљењу 12·5 километара. Материјал, који је снимао *Кроњес*, обрадио је *Вегар* и одредио горње и доње границе код разних облика[2]). При томе је дошао до закључка, да горња граница колеба од 100 до 330 киломе-

[1]) *Carl Störmer, L'altitude des aurores boréales observées de Bossecop pendant le printemps de l'année 1913.* Compt. rend. de l'Acad. des Sciences. Tome CLXII. Paris 1916., стр. 390—392.

[2]) *L. Vegard et O. Krogness, Résultats d'observations d'aurores boréales exécutées à l'Observatoire de Haldde.* Compt. rend. de l'Acad. des Sciences. Tome CLXIII. Paris 1916., стр. 442.

тара и да је врло неодређена, јер је у доста случајева веома тешко одредити на којој висини престаје сјај. То је једини недостатак фото-теодолитске методе; њоме се добијају сувише мале вредности, пошто најгорње делове, са најслабијом светлошћу, фотографска плоча није у стању да сними. За известан број најчешћих облика *Вегар* је за средњу висину горње границе северних светлости добио ове вредности:

	Халде-Гардиа		Халде-Босекоп		оба пара станица	
	број	висина	број	висина	број	висина
развучени луци	57	144·5 км.	—	—	57	144·5 км.
наборани луци	72	168·9 „	117	172·2 км.	189	174·3 „
драперије	56	160·2 „	158	180·0 „	214	174·8 „
зраци	23	252·8 „	23	227·5 „	46	240·3 „

Доње су границе, напротив, обично веома оштре и у погодним случајевима могу се сасвим тачно одредити. Оне су за исте облике на овим средњим висинама:

развучени луци	355	109·3 км.	6	113·5 км.	361	109·4 км.
наборани луци	620	105·6 „	397	108·0 „	1017	106·5 „
драперије	175	112·0 „	239	109·3 „	414	110·2 „
зраци	26	114·0 „	23	117·0 „	51	115·5 „

При општој подели висина северних светлости се показало, да ни код једног типа доња граница није нижа од 85 километара, а најчешће да је на висинама између 100 до 110 километара. Осим тога се код сва три главна типа (три прва) у курвама показују два максимума, први око 100 км. и други око 106 км., слично као код *Стермера*. То констатовање је од највеће важности за проблем поларних светлости, јер се због малих разлика у средњим висинама може претпоставити, да сви њихови типови у главном зависе од зракова исте врсте, и да је разлика у њима више разлика у *облику*, него у *физичкој природи*.

Али су посматрачи у арктичким пределима видели, како се светлости спуштају до врло малих висина, кадикад до неколико километара изнад земљине површине, а некад и непосредно изнад ње.

Физичке особине поларних светлости. — Прва физичка особина код поларних светлости је интензитет њиховог *сјаја*, који се може проценити упоређењем са месечевим сјајем. Приликом шведске поларне експедиције на Шпицберген, ради испитивања северних светлости, нису о сјају добијени никакви позитивни резултати, који би почивали на директном мерењу, и тек доцније је доказано, да северна светлост никада не може имати онолико јак сјај, као што је код пуног Месеца. И кад су најлепше развијене одговарају месечевом сјају око његове прве и треће четврти. Код средњег се сјаја показује изразито дневно колебање: Најјачи је сјај око 7^h40^m у вече, а најслабији око 7^h40^m ујутро; секундаран се максимум јавља у 4^h20^m у зору а секундаран минимум у 3^h10^m ноћу.

О *боји*, која је њихова друга физичка особина, има више сигурнијих података, које је дао члан шведске експедиције *Карлхајм-Јиленшелд*[1]). Најчешћа је и најглавнија беличасто-жута боја, код које може бити различитих нианса, услед истовремене месечине, или сутона, или небесног плаветнила. Ивице поларних светлости кадикад изгледају црвенкасте или зеленкасте и при томе је већином доња ивица црвенкаста, а горња зеленкаста; редак је обрнут случај. Кадикад се види само црвенкаста боја, без беличасто-жуте, али се зеленкаста никад не јавља сама, без које друге боје. Осим тога су чланови шведске експедиције при свима кретањима светлости увек видели црвену боју напред, а зелену натраг.

Ако се хоће да одреди *природа* поларне светлости мора се узети у помоћ спектрална анализа. *Онгстрем* је први (1867 год.) добио спектрум северне светлости, али је тек *Паулзен* успео да га фотографише, чиме је дата могућност за сигурније и тачније одређење[2]). Испитивањима *Јиленшелда*, *Паулзена* и *Маршал Вотса*[3]) је утврђено, да разложене поларне светлости дају врло слаб континуалан спектрум са јасним линијама, по чему се може закључити, да потичу из усијаног гаса. У спектруму се дају јасно одредити 32 линије, у којима 16 одговарају спектруму азота на позитивном полу, 4 спектруму азота на негативном полу, једна линија јасно одговара водонику, а две су сумњиве, док најкарактеристичнија линија са таласном дужином 557·16 μμ и зеленкастом светлошћу не одговара ниједном познатом гасу. Види се, дакле, да се све линије поларних светлости, осим једне, налазе и у спектруму ваздуха и свакако су његови саставни делови који засветле.

Пошто најјача, пра́ва линија поларних светлости не припада ниједном познатом земаљском гасу, *Вегенер* закључује, да ће то бити гас, који би требао да се нарочито налази у ваздушним слојевима изнад 200 километара висине, који би био лакши од водоника и био моноатомски молекил. С тога га назива *геокоронијум*, према коронијуму у сунчевој корони[4]). У смеси између њега и водоника постају најгорње поларне светлости и баш се у њиховом спектруму показује само једна јасна линија, која је беличасто зеленкаста. Напротив, у нижим ваздушним слојевима, испод 70 километара, нарочито превлађује азот, и црвенкаста боја у по-

---

[1]) *V. Carlheim-Gyllensköld, Über die Farbe und Helligkeit der Polarlichter*; извод у Naturwissenschaftliche Rundschau. VIII. 1893. № 41.

[2]) *Adam Paulsen, Über die Identität eines Theiles des Nordlichtspektrums mit dem entsprechenden Theile des Kathodenlichtspektrums des Stickstoffes.* Met. Zeitschr. 1901., стр. 414—415.

[3]) *Dr. W. Marschal Watts, On the Spectrum of the Aurora Borealis.* Monthly Weather Review. U. St. Weather Bureau. Tome 35. September 1907.

[4]) *Dr. Alfred Wegener, Untersuchungen über die Natur der obersten Atmosphärenschichten.* Physik. Zeitschr. XII., стр. 170 (I) и стр. 214 (II).

ларним светлостима постаје његовим утицајем. Када се у поларној светлости појави црвена боја ($\lambda = 630{\cdot}34$ $\mu\mu$) значи, да је продрла у ниже ваздушне слојеве. Напред је, осим тога, поменуто, да се та боја јавља тек у доцнијем развитку ових светлости, што може такође послужити као доказ, да оне постају на великим висинама, и да се доцније постепено спуштају у ниже слојеве ваздуха. *Паулзен* је по својим испитивањима закључио, да су линије поларних светлости последице електричних пражњења у високим ваздушним слојевима[1]).

Недавно је упозорено и на једну до сада непознату физичку особину ових светлости. Наиме, *Гаторн-Харди* је приликом путовања по северном Лабрадору имао прилике не само да посматра њихове појаве, него их је, при врло наглом кретању, кадикад и *чуо*, као слаб, оштар, шуштећи звук[2]). То је потврдио и *Барбер*[3]), који је сличан звук чешће чуо на канадским преријама, али само у раним јутарњим часовима и при врло ниској температури, међутим га на северу Британске Колумбије можда због друкчијих ваздушних услова, није никада чуо, ма да температуре спадну и до — 51°C.

Географска подела поларних светлости. — О географској подели, односно о честини поларних светлости у разним пределима, има нарочито много података са северних ширина, док за јужне светлости, на јужној земљиној полукугли, где се шире огромни океански простори и где је било мање научних експедиција, има знатно мање опажања, али ипак толико, да се о подели ових светлости може добити приближан појам. Честина је за северну полукуглу и графички приказана[4]) на тај начин, што су места са истим бројем годишњих светлости повезана линијама, које се зову *изохазме*. Из њих се јасно види, да највећу честину северних светлости нема ни магнетан, ни географски пол, него приближно северан стожерник. Изохазма са више од 100 видљивих северних светлости има елиптичан облик и провлачи се од Рта Чељускина упоредно са северном обалом Азије, северном ивицом Аљаске, преко Језера Великог Медведа (Great Bear Lake), кроз Хедзонов Залив, северан део Лабрадора, па јужно од Гренланда и Исланда на Северан Рт и даље до Рта Чељускина.

Према већим и мањим географским ширинама честина опада, али много брже према мањим ширинама, јер око Единбуриа (55°57′) пролази изохазма 25, преко Париза изохазма 3, преко Беча 1, али се у

---

[1]) *Adam Paulsen, Die Wirkung des erdmagnetischen Feldes auf die Formen des Nordlichtes.* Met. Zeitschr. 1896., стр. 11—14.

[2]) *G. M. Gathorne-Hardy, A Recent Journey to Northern Labrador.* The Georg. Journ. 1922. Vol LIX., стр. 158.

[3]) *Audibility of the Aurora*, ibid. 1922. Vol LX., стр. 160—161.

[4]) *S. Fritz, Das Polarlicht.* Leipzig 1881.

Напуљу и Битољу може тек сваких десет година видети једна северна светлост, пошто кроз њих пролази изохазма 0·1. Интересантно је, да је на западној половини северне полукугле честина северних светлости већа, него на источној, јер и северан магнетни пол лежи на западном делу. Тако на пр. кроз Њујорк пролази изохазма 9, док се у Бакуу и Пекингу, скоро на истој географској ширини, не могу никад видети.

Са јужне је полукугле *Болер* скупио преко 1000 података о 600 јужних светлости и успео да донекле утврди њихову географску поделу[1]). Он је дошао до закључка, да источна половина јужне полукугле има већи број јужних светлости од западне половине, што се потпуно подудара са односима на северној полукугли, јер је јужан магнетни пол на источном делу те полукугле. Нарочито много јужних светлости се види у јужном делу Африке, у Јужној Аустралији и Новом Селанду, као и у јужном делу Индијског Океана, који се шири између ова два континента. У Јужној Америци изгледа, да источан део нема јужних светлости и да границу чине Кордиљери. Највећи је број јужних светлости у обиму круга, који је од јужног магнетног пола удаљен око 38°, али тако, да су се јужније од стожерника тек изнимно јављале.

Дневна и годишња периода поларних светлости. — Као код земљине магнетичности, исто се тако и код поларних светлости може уочити дневна и годишња периода честине и интензитета. У дневној су периоди поларне светлости најчешће у ноћним часовима, нарочито од 9 часова до поноћи, што се види из приложене таблице, у којој су изнесене средње вредности, које је добио *Арктовски* при посматрању потпуно развијених јужних светлости за свака два узастопна часа[2]):

5—6р	7—8р	9—10р	11—12р	1—2а	3—4а	5—6а
4	18	29	32	25	8	1

Максимум се јавља око 11 часова ноћу, у средини најистакнутијег дела дневног тока од 8^h_p до 2^h_a.

Осим тога је доказано, да се од мањих према већим географским ширинама максимум помера на доцније часове. У пределима, где поларна ноћ траје по неколико недеља, могу се поларне светлости јављати и у нашим дневним часовима, али су свугде најређе око 11 часова пре подне. Према овој релативној правилности дневних екстрема може се са вероватношћу закључити да стоје под утицајем земљине ротације.

Код годишње периоде има два максимума и два минимума честине, насупрот једном максимуму и минимуму у дневној периоди. У том се

---

[1]) *W. Boller, Das Südlicht.* Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. III. Heft. 1., стр. 56—130.

[2]) Résultats du voyage de S. Y. Belgica en 1897—1898—1899, sous le commandement de A. de Gerlache de Gomery: *Henryk Arctowski, Météorologie. Aurores australes.* Anwers. J. E. Buschmann 1901., 64 стр.

погледу честина поларних светлости понаша исто онако као и поремећаји земљине магнетичности: не јављају се само екстреми у истим временима, него је и годишњи ток честине поларних светлости на целој Земљи исти. То се најјасније види, ако се упореде односи у разним областима, у овом случају годишње периоде честине у Норвешкој, Енглеској и на јужној полукугли, изражене у ‰[1]):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Норвешка	128	129	**139**	71	5	*0*	1	33	112	**133**	126	*123*
Енглеска	98	118	**120**	89	33	*5*	14	56	132	**155**	111	*69*
јужне светлости	85	147	**175**	114	47	*25*	41	51	69	**88**	*77*	81

У све три области максима падају на времена око равнодневица, март и октобар, а минима око солстиција, али је јунски минимум свугде знатно изразитији од децембарског.

Мосман је, међутим, добио још правилнију периоду, узимајући средње вредности двеју декада и почињући са 7. децембром. На тај је начин дошао до ових релативних честина, које су такође прорачунате у ‰:

I. половина године	54	*41*	65	76	73	**89**	38	22	*3*
II. „ „	19	5	22	70	92	**111**	98	70	52

Овде максима падају на времена од 17. марта до 7. априла и од 17. септембра до 7. октобра, дакле тачно на доба равнодневица, само су код минима односи нешто поремећени, јер први пада на декаде од 27. децембра до 17. јануара, а други на декаде од 17. маја до 7. јуна, односно од 27. јуна до 17. јула.

Нордман је покушао да објасни узроке годишње периоде, полазећи од претпоставке: 1. да је за постанак поларних светлости један од чинилаца Сунце, и 2. да је интензитет сјаја код њих тим већи, што је краћи временски размак од сунчевог заласка, што се видело у дневној периоди честине, где је максимум између 9 до 11 часова[2]).

При равнодневицама стоји највећи круг, који дели дан од ноћи, усправно на земљин екватор, т. ј. тачно се подудара са географским меридијаном, док је при солстицијама према њему нагнут, под углом од 66°33′. По томе ће онај део сунцем обасјане атмосфере, који због земљине ротације прелази са једне на другу страну граничног круга, т. ј. из дана у ноћ, заузимати дуж њега површину, чија је дужина при равнодневицама l, а при солстицијима $l \times \sin 66^0 33'$, што одговара заокругљеној вредности $1 \times 0{\cdot}9$, ако је са l означен лук, за који се Земља

---

[1]) *J. Fr. Schroetter, Katalog der in Norwegen bis Juni 1878 beobachteten Nordlichter, zusammengestellt von Sophus Tromholt.* Kristiania 1902; реф. у Met. Zeitschr. 1902., стр. 438—439. — *R. C, Mossmann, The Aurora Borealis in London from 1707 to 1895.* Journ. of the Scottish Met. Soc. III. Ser. № 13 and 14., стр. 58—64. — *W. Boller,* l. c.

[2]) *Charles Nordmann, La cause de la période annuelle des aurores boréales.* Compt. rend. de l'Acad. des Sciences. Tome CXXXIV. Paris 1902., стр. 750—752.

у одређеном времену при својој ротацији помери (в. скицу 159). Ако је тај назор тачан, требало би да око равнодневица има 10 поларних светлости, а око солстиција 9, ако су сви остали услови исти.

Али ће сутон ту разлику повећавати, јер се за време њега поларне светлости неће видети, због доста јасно осветљеног ваздуха. Ако се тра-

Скица 159. (по Nordmann-у)

јање сутона означи са *(l : n)*, био би код броја поларних светлости при солстицијама и равнодневицама приближно овакав однос:

$$r_1 = \frac{1 \times 0{\cdot}9 - (l : n)}{1 - (l : n)},$$

који је мањи од односа

$$r = \frac{1 \times 0{\cdot}9}{1};$$

јер, ако се претпостави да је $n = 2$, било би $r_1 = 8 : 10$, т. ј. при солстицијима би било око 8 поларних светлости, према 10 при равнодневицама.

Још веће би се разлике добиле, ако се узме у обзир чињеница, да се број поларних светлости после сунчевог заласка спорије повећава од протеклог времена, т. ј. да ће их у првом часу после заласка бити више него у другом, и да је време τ од сунчевог заласка до краја сутона при равнодневицама краће, него при солстицијама. Тада ће вредност за *r* бити још мања, т. ј. повећаће се разлика у броју поларних светлости, а то одговара фактичним односима.

То тумачење, међутим, важи само за веће географске ширине умереног појаса, јер је у субполарним пределима годишња периода честине једноставна, са максимумом око зимског солстиција, па тек око 65° сев. шир. пређе у дуплу периоду, што се види из односа у Норвешкој. Вредности су изнесене у ‰, за периоду од 1772 до 1877 године.

Норвешка	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
сев. од 68°30′	**166**	140	146	16	0	0	0	4	74	146	145	**163**
68°30′ до 65°	154	**159**	**155**	36	0	0	0	8	83	117	138	150
65° до 61°30′	120	135	**143**	67	2	0	0	27	**135**	131	128	112
јуж. од 61°30′	100	124	**143**	105	8	0	3	52	125	**134**	100	96

Сунчев и месечев утицај на честину поларних светлости. — Утицаји сунчеве активности, односно 11-огодишње периоде пега, показују се и у честини поларних светлости, ма да не онолико јасно као на метеоролошким и магнетним елементима. То је доказано и за северне и јужне светлости, јер се њихова максима и минима јављају скоро у истим годинама, кад и код релативних бројева сунчаних пега.

По подацима *Фрица* и *Шретера*, односно *Тромхолта*, највећа и најмања честина је у овим годинама:

максима									
сунчаних пега	1804	1816	1830	1837	1849	1860	1871	1884	1894
северних светлости	1805	1818	1830	1840	1850	1861	1871		
јужних „						1860	1870	1882	1892
минима									
сунчаних пега	1811	1823	1834	1844	1856	1867	1879	1890	
северних светлости	1811	1822	1834	1844	1856	1866	1878		
јужних „					1855	1866	1878	1891	

Чим се, дакле, на сунчевој површини покаже већа активност, јавља се и већи немир код магнетних елемената и светлосне појаве у ваздуху постају живахније. Али изгледа, да на свима средњим географским ширинама повећање честине при временима сунчеве најјаче активности иде на уштрб предела изван те границе. Те чудновате изузетке, који се јављају и у арктичким пределима Европе и Северне Америке, *Паулзен* објашњава тиме, што се у годинама са великим релативним бројем пега појас највеће честина помера ка Југу, и обратно, при најмањој активности се повлачи на Север.

Екхолм и *Арениус* су испитивали и утицај Месеца на честину поларних светлости и при томе дошли до закључка, да код њих може постојати приближно 26-одневна и нешто дужа 29-одневна периода, која изгледа да је вероватнија од прве[1]).

Они су раније доказали, да потенцијалан пад ваздушног електрицитета при земљиној површини има изразито месечно колебање, које одговара тропском месецу, т. ј. времену од једног до другог месечевог повратка у пролетњу тачку, и хтели су да утврде, да ли постоји одговарајућа периода поларних светлости. У њиховом се материјалу посматрања у истини показао јасан утицај месечине на видљивост поларних светлости, јер се у синодичком месецу[2]) максимум честине јавља при пуном Месецу, што је потпуно логично. Али, пошто би истински утицај Ме-

[1]) *Nils Ekholm u. Svante Arrhenius, Ueber den Einfluss des Mondes auf die Polarlichter und Gewitter.* Одшт. из Kongl. Svenska Vetenskaps Akad. Stockholm 1908. Tome XXI. № 2. и *Nils Ekholm u. Svante Arrhenius, Ueber eine nahezu 26tägige Periode der Polarlichter und Gewitter.* Ibid., Tome XXI. № 3.

[2]) в. стр. 180.

сеца био изазван једино његовим тропским кружењем, утицај месечине је на два разна начина елиминиран, и из исправљених података је изведена тропска периода поларних светлости. На тај су начин дошли до закључка, да је

	при северном лунистицијуму	при јужном лунистицијуму	разлика
број опажених			
северних светлости	73	122	49
јужних „	126	75	51
број дана са			
северном светлошћу	81	116	35
јужном „	121	84	37

Ови бројеви означују релативне честине поларних светлости у % средње вредности и јасно показују врло изразито колебање у вези са месечевим деклинацијама, јер је честина северних светлости скоро двапута већа кад је Месец на своме јужном повратнику (лунистицијуму), него кад је на северном, док је код јужних светлости супротан случај.

Хипотезе о поларним светлостима. — И о постанку поларних светлости има разних хипотеза, од којих је највероватнија она, која лако и правилно објашњава све појаве. *Паулзен* је при својим испитивањима довео све појаве поларних светлости у везу са деловањем земљиног магнетног поља на оне зраке, чијим се упијањем (апсорпцијом) стварају.

Искуством је доказано, да се правац зракова код поларних светлости подудара са правцем линија снага код земљине магнетичности и немогуће је, да је то пуки случај. Када би зраци, чијом апсорпцијом постају поларне светлости, били исте природе, као катодско зрачење[1]), могло би се несумњиво доказати, да ће се подударати баш са њиховим раније наведеним двема главним групама.

Ако се пође од претпоставке, да катодско зрачење полази из највиших ваздушних слојева са негативним електрицитетом, мораће се под утицајем земљиног магнетног поља ширити у спиралним линијама, обично са великим пречником. Пошто ти зраци полазе са различитих тачака и крећу се у свима могућим правцима, они ће се на све стране укрштати и образовати зрачне мреже или ткива. Њиховом ће апсорпцијом бити изазвана општа осветљеност већег дела неба, једнолик сјај, који је најопштији облик поларних светлости, јер су ти услови најчешћи. Али, они зраци, који су се првобитно подударали са правцем линија магнетних снага, или лежали под незнатним углом, могу да се из зрачне мреже излуче и да се као зрачни свежњеви дуж њих крећу. Тако ће постајати зраци поларних светлости и сви остали типови, који су састављени од

[1]) в. стр. 320.

система зраковâ, као што су траке, луци и драперије. По хипоте
све поларне светлости морале бити врло танке творевине, што се
слаже и са досадашњим искуством.

Луци, драперије, зраци и остали облици из прве групе ника
не јављају на сасвим тамном небесном своду, јер, када се на ве
географским ширинама развија поларна светлост, увек ће се прек
ставог лука видети беличаст сјај, који тек око зенита исчезне. Тек ак
престане да изашиље зраке остаће на већем делу неба само н
сјај, који је увек последња појава код поларне светлости.

Нарочито је значајно, што се почешће и на мањим геограс
ширинама може спектроскопски утврдити линија поларних светлост
значи, да и на тим ширинама има катодског зрачења, али је оно, у
ном, само на поларним пределима толико интензивно, да може иза
јасан сјај поларне светлости. Познато је, да се негативан електри
под утицајем светлости са великим преламањем почне расипати и
се начин може објаснити, зашто сијање Сунца гони негативно елект
честице из највиших ваздушних слојева према већим ширинама, и
ће електрицитет у поларним пределима постати толико густ, да
снажно емитовати (изашиљати) катодске зраке, који изазову интен
поларне светлости.

Да би се дошло до јаснијег појма о битности поларних свет
покушавано је на разне начине да се изазову вештачки. То је пр
пошло за руком *Лемстрему*, који је неколико пута понављао свој
кушаје на разним местима у Финској[1]). Он је на врху купастог
поставио мрежу жица са усправним врховима на више, и од тада
у вечерњим и ноћним часовима почеле око врха брега појављиват
личасто-жуте светлости. Доцније је успео, да сјајеве не само поја
него да их самостално створи, с помоћу електричних струја,
томе је добио зрак северне светлости са дужином од 120 метара
знаменитим покушајима је несумњиво утврђено, да су поларне свет
електричне природе, и да су хипотезе *Паулзена*, *Стермера* и др
које почивају на изашиљању катодских зракова, заиста блиске и

---

[1]) *S. Lemström, L'aurore boréale.* Paris 1886.