

ნ. თევზაძე

ნეკროზებისა და ტენიის დანს-სტრუქტულო სიღვ.წე.
ტენიურ ნეკროზებთან დოქტორი, პრინციპალი

საინჟინრო გეოდეზია

I

სამყაროს ფიზიკური და გეოგრაფიული აღმართები

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ უმაღლესი ტენიური სასწავლებლების სტუდენტებისათვის

„საინჟინრო გეოდეზია“ წარმოადგენს სახელმძღვანელოს საინჟინრო გეოდეზიური და სამარკუშიდერო სპეციალობის სტუდენტებისათვის; მისი გამოშვება საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტს განზრახული აქვს ათ წაწილად. წინამდებარე პირველ ნაწილში განხილულია სამყაროსა და დედამიწის ფიზიკური და გეომეტრიული ელემენტები. წიგნი შეიძლება გამოიყენოს ყველა პროფილის სტუდენტებმა, სადაც იკითხება გეოდეზიის კურსი; იგი სარგებლობას მოუტანს აგრეთვე გეოდეზიური და სამარკუშიდერო წარმოების მეცნიერ და პრაქტიკოს მუშაკებს.

შესავალი 9

ზოგიერთი ცნობა ხამყაროს შესახებ

თავი I

1. 1. 1. სამყაროს ფიზიკური ელემენტები	11
1. 1. 2. დედამიწის ფიზიკური ელემენტები	20
A. დედამიწის ბუნებრივი ელემენტები	20
a. დედამიწის ატმოსფერო	20
b. ჰიდროსფერო	24
c. მყარი ტანი	26
B. დედამიწის სოციალური ელემენტები	28
C. დედამიწის ეკონომიკური (ხელოვნური) ელემენტები	28
D. დედამიწის ფიზიკური და ხილული ზედაპირი, დედამიწის ნამდვილი სახე, წი.ლი, ადგილი, წელიწადები	29
E. ადგილის ტოპოგრაფიული ელემენტები	29
a. ტოპოგრაფიული ზედაპირი	30
b. ქანები, გრუნტები (მიწა) და ნიადაგები	33
c. ჰიდროგრაფია	35
d. მცენარეულობა (ფლორა)	38
e. გზები	39
f. დასახლებული პუნქტები	41
1. 1. 3. დედამიწის ელემენტების შემსწავლელი ზოგიერთი დარგი	42
1. 1. 4. რუკების, გეგმებისა და პროფილების საჭიროების შესახებ	44
1. 1. 5. გეოდეზია როგორც საბუნებასმეტყველო და საინჟინრო მეცნიერების დარგი. გეოდეზია თანამედროვე გაგებით, მისი განსაზღვრება. გეოდეზიურ მეცნიერებაში შემავალი დარგები	45
A. უმაღლესი გეოდეზია	43
B. ტოპოგრაფია	51
C. აეროგეოდეზია	52
D. სამარკშეოდრო საქმე	52
E. ინსტრუმენტოკონდნობა	54
F. განაზომთა მათემატიკური დამუშავება	54
G. საინჟინრო გეოდეზია	55
1. 1. 6. გეოდეზიის კავშირი მეცნიერების სხვადასხვა დარგთან	59

თავი II

დამხმარე ცნობები

1. 2. 1. მეტრული ათობიანი სისტემა. ათის ხარისხები	61
A. მეტრული ათობიანი სისტემა	61
B. ათის ხარისხები	65
1. 2. 2. სფერო	66
1. 2. 3. სფერული სამკუთხედი და მისი ელემენტები	70
1. 2. 4. ურთიერთობლარული სფერული სამკუთხედას	71
1. 2. 5. სფერული სამკუთხედების ტოლობა და ტალოდიდობა. სიმეტრიული და შეფულებული სფერული სამკუთხედები	72

1. 2. 6. სფერული სამკეთხედების არსებობის შესაძლებლობისათვის მის ელემენტებს შორის ზოგიერთი აუცილებელი დამოკიდებულებები	75
1. 2. 7. სფერული ორგვერდოვანდისა და სფერული სამკეთხედის ფართობი	76
1. 2. 8. სფერული სამკეთხედების ამოხსნის მართალი ფორმულები	79
A. გვერდების კოინუსების ფორმულები	79
B. კუბების კოსინუსების ფორმულები	81
C. სინუსების თეორემა	82
D. ხუთი ელემენტის ფორმულები	82
E. ოთხი ელემენტის ანუ კოტანგენსების ფორმულები	84
F. მართკუთხა სფერული სამკეთხედის ამოხსნელი ფორმულა	89
G. მართკუთხა სფერული სამკეთხედების ამოხსნის სხვადასხვა შემთხვევები	97
H. მართკუთხა სფერული სამკეთხედების ამოხსნა	94
1. 2. 9. სფერული ირიბკუთხა სამკეთხედების ამოხსნა უკონუსო ფორმულები	90
A. ნახევარკუთხის სინუსის, კოსინუსის და ტანგენსის ფორმულები	90
B. ნახევარგვერდის სინუსის, კოსინუსისა და ტანგენსის ფორმულების სფერული სიკვარბით გამოსახვა	92
C. დაღმბერ-გაულის ფორმულები და ნებერის ანალიზები	95
1. 2. 10. სფერული სამკეთხედის სფერული სიკვარბის გამოსათვლელი ფორმულები	97
A. ლილეის ფორმულა	97
B. მკვირგვერდებიანი სფერული სამკეთხედების სფერული სიკვარბის ფორმულა	99
1. 2. 11. ირიბკუთხა სფერული სამკეთხედების ამოხსნის სხვადასხვა შემთხვევა	99

თ ა ვ ი III

სამყაროს გეომეტრიული ელემენტები

1. 3. 1. ცხ. ცის გემბათი. ხილული ჰორიზონტი. კემმარტი ჰორიზონტი. ცის სფერო	101
1. 3. 2. გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემები	104
1. 3. 3. სამყაროში ორიენტირება. სამყაროსა და დედამიწის პოლუსები და ღერძები საშუალო ხაზი. ზენიტი და ნადირი	105
1. 3. 4. ხაზები და წერტილები დედამიწასა და ცის სფეროზე	109
1. 3. 5. კოორდინატები	112
A. გეოგრაფიული კოორდინატები	112
B. მათობების კოორდინატები გეოცენტრულ ცის სფეროზე	113
a. ადგილობრივი ჰორიზონტის კოორდინატები	114
b. ეკვატორული კოორდინატები	116
I. პირველი სახის (ადგილობრივი) ეკვატორული კოორდინატები	116
II. მეორე სახის ეკვატორული კოორდინატები	118
C. გეოპოლარული კოორდინატები	120
1. 3. 6. ადგაის ნებისმერი წერტილის გაედის დამოკიდებულება სამყაროს პოლუსის მიმდებარე (წერტილის გეოგრაფიული განედის დამოკიდებულება სამყაროს ღერძის დახრასთან). განედებს შორის კუთხე	121

თ ა ვ ი IV

დედამიწის მოძრაობები

(დროის განსაზღვრის საკითხისათვის)

1. 4. 1. დედამიწის ბრუნვა თავისი ღერძის ვარშემო	126
A. ქანქარა	126
B. გასარილი რაკეტის მოძენებითი გადახრა. პასატები, ციკლონი და ანტიციკლონი	129
C. ცის სფეროს მოძენებითი ბრუნვა, როგორც დედამიწის ბრუნვის შედეგი	131

1. 4. 2.	ადგილის განედის ცვლა დონა	133
1. 4. 3.	პრეცესია და ნუტაცია	136
	A. მიმოქცევები, როგორც დედამიწაზე მოძრაობის საყურადღებო ფაქტები	139
1. 4. 4.	მზის ირგვლივ დედამიწის გარემოქცევა	141
	A. პელიოცენტრული სისტემა	141
	B. კეპლერის დავიერებათა შედეგები	141
	C. სიჩქარე და აჩქარება	144
	D. მოძრაობის აქსიომები	146
	E. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი	149
	F. მზის ირგვლივ დედამიწის გარემოქცევის დამამტკიცებელი ფაქტები	152
	a. პარალაქსი	152
	b. სინათლის აბერაცია	154
1. 4. 5.	სინათლის თვისებები	157
1. 4. 6.	ასტრონომიული ერთეულის განსაზღვრა დოპლერის ფორმულით	(16)
1. 4. 7.	ნიუტონის მექანიკისა, მსოფლიო მიზიდულობის კანონისა და აინშტაინის გენერალ- ლენტურობის პრინციპის შესახებ	161

თ ა ვ ი V

დედამიწის მოძრაობებით გამოწვეული მოვლენები

1. 5. 1.	კაჟახარსკელაეზიბიანი ცის რუკა და ცხრილი. თანავარსკვლავედებზე გაგრება. წლიწადის კემარირტა დროები. სინოდური და სიდერული წელიწადი. დედამიწის არათანაბარი გარემოქცევითი მოძრაობა	164
1. 5. 2.	დროის განსაზღვრა. ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე. ვარსკვლავთმომიერი დრო. კემარირტი მზისმომიერი დღე-ღამე. კემარირტი მზისმომიერი დრო. საშუალო მზისმომი- ერი დღე-ღამე. საშუალო მზისმომიერი დრო. ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამისა და სა- შუალო მზისმომიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობის შედარება	173
1. 5. 3.	ადგილობრივი, ზოლური, მსოფლიო, დეკრეტული და მოსკოვის დრო	179
1. 5. 4.	თარიღის ცვლა (თარიღთა ცვლის ხაზი)	185
1. 5. 5.	წელთაღრიცხვა	187
1. 5. 6.	საშუალო მზისმომიერი დღე-ღამის ცვალებადობა და ზუსტი საათის საკითხი	189
1. 5. 7.	ქრონომეტრი და საათი. საათის შესწორების განსაზღვრა და მისი ხარისხის შე- მოწმება	192
1. 5. 8.	პარალაქსური სამკუთხედი. ცის სფეროზე კოორდინატთა სხვადასხვა სისტემებს შორის კავშირი	186
1. 5. 9.	ბილული და ნამდვილი მიმართულება მნათობზე	199

თ ა ვ ი VI

დედამიწის ნამდვილი ხაზისა და ოდენობის დადგენის პრობლემა და მისი გადაწყვეტა

1. 6. 1.	დედამიწის საერთო სახე, როგორც სფერო	205
	A. დედამიწის საერთო სახის, როგორც სფეროს რადიუსის განსაზღვრის პირველი ცდები	208
	B. გრადუსული გაზომვების პირველი ცდები	208

	C. ტრიანგულაციის გამოყენების პირველი ცდები	209
1. 6. 2.	დედამიწის საერთო სახე, როგორც სფეროიდი	211
	A. გრადუსულ გაზომვებში გეომეტრიული მეთოდის გამოყენების თანამედროვე არსი	215
	ა. რკალების მეთოდი	215
	1. რუსეთის გრადუსული გაზომვები	216
	II. უცხოეთის გრადუსული გაზომვები	216
	ბ. ფართობების მეთოდი	217
	B. გრადუსულ გაზომვებში ფიზიკური მეთოდის გამოყენების თანამედროვე არსი .	217
	ა. მოკლე ცნობები სიმძიმის ძალის გაზომვის მეთოდების შესახებ	218
	ბ. მიზიდულობის ძალის გამოსახვა მართკუთხა კოორდინატებში	222
	ც. სხელის მიერ გარე წერტილის მიზიდულობა	224
	ძ. მიზიდულობის ძალის პოტენციალი	226
	ე. კლერო, როგორც ფიზიკური მეთოდით სფეროიდის შეკუმშულობის განსაზღვრის ფუძემდებელი. კლეროს ფორმულის გამოყენება მარტივი ხერხით	229
1. 6. 3.	დედამიწის საერთო სახე, როგორც გეოიდი	233
	A. სტოქსის მეთოდი	234
	B. სიმძიმის ძალის დაყენის (რედუქციის) არსი	237
	ა. რედუქცია თავისუფალ პაერში	238
	ბ. შესწორება შუალედი შრის მიზიდულობის გამო	240
	ც. რელიეფის გამო შესწორება	241
	ძ. პრეი-პუანკარეს რედუქცია	242
	ე. ტოპოგრაფიული რედუქცია	243
	ფ. ინერსიის მეთოდი	244
	გ. იზოსტაზიის თეორიის როლის შესახებ	246
	C. განაზომთა რედუქციებისა და მათემატიკური დამუშავებისათვის გეოიდის ზედაპირის გამოყენებლობის შესახებ	247
1. 6. 4.	ასტრონომიული მეთოდებით დედამიწის საერთო სახის დადგენა	250
	A. დედამიწიდან დისიპაციის სიჩქარე	251
	B. ხელოვნური თანამგზავრება	251
	C. შეუშვითებელი ორბიტის ელემენტების გამოაჯღა. ორი სხეულის ამოცანა	257
	ა. პლანეტის ორბიტის ელემენტები	257
	ბ. ბოდე-ტიციუსის წესი	259
	ც. ორი სხეულის ამოცანაში მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები	260
	ძ. მოძრაობის განტოლებების ინტეგრება	263
	1. ფართობთა ინტეგრალი	263
	II. კინეტიკური ენერჯიის (ცოცხალი ძალი) ინტეგრალი	264
	III. რადიუს-ვექტორსა და კემპარიტ ანომალიის შორის კავშირი	265
	ე. ინტეგრალებში მუდმივების არსი	266
	ფ. კეპლერის განტოლება	269
	გ. ორი სხეულის ამოცანის პირველი სამი ინტეგრალის გამოსახვა პლანეტის ორბიტის I დახრილობისა და აღზევალი μ კვანძის μ ცლიპტიკური განედის საშუალებით	272
	D. დედამიწის შეკუმშულობის განსაზღვრა მთვარე-მზისმიერი პრეცესიით და მთვარის მოძრაობის უთანაბრობით	273
	ა. დედამიწის შეკუმშულობის განსაზღვრა მთვარე-მზისმიერი პრეცესიით	273
	ბ. დედამიწის შეკუმშულობის განსაზღვრა მთვარის მოძრაობის უთანაბრობით	275
	E. ორბიტის შემფოთების ცნება დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ორბიტის შემფოთების საშუალებით დედამიწის ფიგურის პარამეტრების განსაზღვრის საფუძველზე	277

ა.	ორბიტის შეშფოთების ცნება. მათსკულირებელი ელემენტები	277
ბ.	აღმავალი კვანძისათვის ლაგრანჟის განტოლების გამოყვანი	278
გ.	ზოგიერთი მოსაზრებები დედამიწის ფორმის დადგენისათვის საკირო პარამეტრების შესახებ, რომლებიც ისაზღვრებიან დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებების შედეგად. განტოლების შერჩევა	280
დ.	კვანძის გრძელის შეშფოთებაზე ატმოსფეროს წინააღმდეგობის გავლენა	282
ე.	ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებების შედეგად დედამიწის გრავიტაციული ველის პარამეტრების განსაზღვრის ძირითადი ფორმულები	283
ფ.	დედამიწის გრავიტაციული ველის რიცხობრივი მახასიათებლები, რომლებიც მიღებული არიან ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებებით	287
1. 6. 5.	მსოფლიო ელიფსოიდი. რეფერენც-ელიფსოიდი	289
1. 6. 6.	რეფერენც-ელიფსოიდზე განაზომთა რედუცირებისა და დედამიწის ნამდვილი სახის პრობლემის თანამედროვე ამოხსნის შესახებ	294
1. 6. 7.	კვაზიგეოიდი. გეოდეზიური სიძლიერების ნორმალურ და ანომალიურ სიმაღლებად დანაწილების თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. შვეულის გადახრის ორგვარი სახე	298
	A. კვაზიგეოიდი	298
	B. გეოდეზიური სიმაღლის ნორმალ და ანომალიურ სიმაღლებად დანაწილების თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა	299
	C. შვეულის გადახრის ორგვარი სახე და მისი ოდენობების განსაზღვრის მეთოდები გამოყენებული ლიტერატურა	301

ქართული		რუსული		ლათინური		ბერძნული	
ა	ს	А	А	Α	Α	Α	Α
ბ	ჭ	Б	Б	Β	Β	Β	Β
გ	ც	В	В	Γ	Γ	Γ	Γ
დ	ძ	Г	Г	Δ	Δ	Δ	Δ
ე	წ	Д	Д	Ε	Ε	Ε	Ε
ვ	ჭ	Е	Е	Ζ	Ζ	Ζ	Ζ
თ	ხ	Ё	Ж	Η	Η	Η	Η
ი	ძ	Ж	З	Θ	Θ	Θ	Θ
კ	ჩ	З	И	Ι	Ι	Ι	Ι
ლ	ც	И	Й	Κ	Κ	Κ	Κ
მ	ძ	Й	К	Λ	Λ	Λ	Λ
ნ	წ	К	Л	Μ	Μ	Μ	Μ
ო	ხ	Л	М	Ν	Ν	Ν	Ν
პ	ც	М	Н	Ξ	Ξ	Ξ	Ξ
ჟ	ჭ	Н	О	Ο	Ο	Ο	Ο
რ	ხ	О	Р	Π	Π	Π	Π
		Р	Q	Ρ	ρ	Ρ	ρ

პრაქტიკის თანამედროვე საჭიროების შესაბამისად, მიწაზე და მიწაში დიდი სივრცეების მომცველი, უაღრესად რთული საინჟინრო ნაგებობებისა და უზუსტესი დანადგარების გეომეტრიულად სწორად აგება-განლაგების, ექსპლოატაციის პროცესში მათი დეფორმაციების დადგენის საკითხების შესწავლა სახალხო მეურნეობის ერთ-ერთი უაღრესად დიდი მნიშვნელობის საკითხია, რის გამო გეოდეზიური მეცნიერებების ციკლი გაიზარდა კიდევ ერთი დარგით, რომელსაც საინჟინრო გეოდეზია ეწოდა. ზემოხსენებული საკითხების გადაწყვეტა მკიდროდ არის დაკავშირებული სამყაროს (კოსმოსის) ფიზიკური და გეომეტრიული ელემენტების რაობის შესწავლის პრობლემასთან, უფრო მეტად კი დედამიწის ნამდვილი სახისა და ოდენობის, ანუ მისი ფორმისა და ზომების განსაზღვრის საკითხებთან, რომლებიც დედამიწის მოძრაობების, შედგენილობის სხვადასხვაობისა და გეოლოგიური პროცესების გამო განუწყვეტელ ცვალებადობაში იმყოფებიან.

სამყაროს, კერძოდ, დედამიწის ქერქის დინამიკისა, ფორმის ცვალებადობის შესწავლისა და მასთან დაკავშირებული დიდ სიღრმეებში არსებული სასარგებლო ნაპარხების გამოვლინების პრობლემის საკითხები მეცნიერების მრავალი დარგის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. დადგენილია, რომ ამ ამოცანის საიმედო ამონახსნებს მივიღებთ მაშინ, თუ დედამიწის მეცნიერებათა ანუ დედამიწის შემსწავლელი დარგების (გეოდეზიური! ასტრონომია, გეოდეზია, გეოდეზიური გრაფიმეტრია, გეოქიმი, გეოლოგია, გეომორფოლოგია და სხვა) კომპლექსური წვლევით დაგროვილი განაზომი სიდიდეების ერთიანი მათემატიკური დამუშავების შედეგად მიღებული ემპირიული რიცხობრივი მახასიათებლები, დაშვების ფარგლებში, დაემთხვა თეორიულ რიცხობრივ მახასიათებლებს. დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებების მუშაკთათვის უაღრესად საჭიროა სამყაროს (ზოგადად) და განსაკუთრებით მასში შემაჯავალი დედამიწის შესახებ ცნებების ცოდნა, რადგანაც თვით დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერება-

თა ბაზაზე წარმოიშვა ისეთი დარგები, როგორცაა: კოსმოსური გეოლოგია, კოსმოსური გეოდეზია, პრაქტიკული ასტრონავტიკა, კოსმოსური ბიოქიმია, კოსმოსური მიკრობიოლოგია, კოსმოსური გენეტიკა, კოსმოსური მედიცინა, კოსმოსური ფიზიოლოგია, კოსმოსური ფსიქოლოგია, კოსმოსური სამართალი და სხვა მრავალი დარგი, რომელთა მიერ დადგენილი უზოგადესი კოსმოსური მოვლენების კერძო შემთხვევებს წარმოადგენს დედამიწასთან დაკავშირებული მოვლენები.

კოსმოსური ერა დაიწყო 1957 წლის 4 ოქტომბრიდან, როცა საბჭოთა კავშირში მსოფლიოში პირველად გაშვებულ იქნა დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრი. ამ მოკლე პერიოდში სრულიად დადასტურდა ზემოთ მოყვანილი აზრი იმის შესახებ, რომ კოსმოსური მოვლენების შესწავლა უმნიშვნელოვანესი საფეხურია გარემომცველი ბუნების შემეცნებისათვის. მაგალითად, ამჟამად უკვე დადგენილია, რომ დედამიწაზე შემჩნეული და აუხსნელი მოვლენების სრულყოფილად შესწავლა შეიძლება მხოლოდ შესაბამისი კოსმოსური მოვლენების შემეცნების გზით, რაც აღრე მიუწვდომლად მიაჩნდათ.

სახელმძღვანელოში პირველ რიგში მოყვანილი იქნება აღნიშნული ცნებების მხოლოდ განსაზღვრებები (ფორმულირებები) და მოცემული იქნება ცნობები და განსაზღვრებები იმ მეცნიერებათა შესახებ, რომლებიც დასმული პრობლემის გამო ურთიერთ კავშირში იმყოფებიან. შემდეგ კი, საკიროებისამებრ, თანამიმდევრობით ვადმოცემული იქნება ცნებათა შესაბამისი სიდიდეების განსაზღვრის, ანუ მათი ოდენობების დადგენის მეთოდები.

განსახილველი საკითხების მეცნიერული კვლევა ანუ წიგნების მეთოდოლოგიური აღნაგობა დედუქციის პრინციპის შესაბამისია, მხოლოდ ზოგიერთი საკითხი, საკიროებისამებრ, ინდუქციის მეთოდის გამოყენებით არის გაშუქებული.

ზოგიერთი ცნობა სამყაროს შესახებ

თავი I

1. 1. 1¹. სამყაროს ფიზიკური ელემენტები

სამყარო, ანუ კოსმოსი, წარმოადგენს უსაზღვრო სივრცესა და დროში მეტაგალაქტიკათა გაერთიანებების უსასრულო სიმრავლეს. ყოველი მეტაგალაქტიკა გალაქტიკების ერთობლიობაა. საერთოდ, გალაქტიკა კი ვარსკვლავთ სისტემების სიმრავლეს წარმოადგენს. ეს გაერთიანებები ნიუტონის (1643—1727) მიერ 1687 წელს გამოქვეყნებული მსოფლიო მიზიდულობის კანონს შეესაბამება და ნებისმიერი ნივთიერებების შემცველი მატერიის ობიექტურობის, აქტიურობის, კანონზომიერების, მუდმივობისა და შეცნობადობის უზოგადესი თვისებების გამო ერთიანი, მარადიული, უსასრულო, მრავალფეროვანი მატერიალური სამყაროს სახით უნდა წარმოვიდგინოთ.

მატერიალური სამყარო ფარდობითი ქვეშარიტების უწყვეტლივ გამოვლინების გზით აბსოლუტური ქვეშარიტებისადმი უსასრულოდ მიახლოების ობიექტია; ამავ დროს იგი „მატერიის აგებულებისა და მოძრაობის“ გიგანტური, უსასრულო, მრავალფეროვანი ბუნებრივი ლაბორატორიაა, სადაც ვხვდებით ნივთიერებათა ისეთ მდგომარეობასა და მოძრაობის ფორმებს, რომლებიც დედამიწაზე არსებულ ლაბორატორიებში ვერ შეიქმნება და ვერც გამოიკვლევა; მაგალითად, იქ ვხვდებოდა უდიდესი წნევები, კოლოსალური ტემპერატურები, უმძლავრესი მაგნიტური ველები, აბსოლუტური ვაკუუმი, პროცესები, რომელთა შედეგია გიგანტური ოდენობის ენერჯიის გამოყოფა; ელემენტარული ნაწილაკები, რომლებსაც გააჩნიათ ზეუმალესი ენერჯია და სხვა.

დროთა ვითარებაში ნებისმიერ მანძილებზე უწყვეტლივ სულ ახალი და ახალი კოსმოსური ობიექტებისა და ელემენტების სისტემატური აღმოჩენები ზემოთყვანილ განსაზღვრებებში გამოყენებული ტერმინების—უსაზღვრო და უსასრულოს დადასტურებაა.

ადგილობრივი სისტემის სახელწოდების მეტაგალაქტიკაში შემავალ გალაქტიკათა შორის საშუალო ოდენობის გალაქტიკას, რომელსაც ირმის ნახტომის ან რძის გზის სისტემას² უწოდებენ (ვარსკვლავებიან ცაზე გარკვევით კიდიდან კიდემდე გამოყოფილი რძისფერი ნათელი ფართო

1 იგულისხმება პირველი წიგნი, პირველი თავი, პირველი პარაგრაფი.

2 გალაქტიკა რძის გზის ბერძნული სახელწოდებაა.

ზოლი) და რომელშიაც ვარსკვლავთა სხვადასხვა სისტემის გარდა მზის ოჯახიც შედის, მატერიალური სამყაროს მეტად მცირე ნაწილი უკავია მიუხედავად იმისა, რომ მასში სრულიად კანონზომიერად მოძრაობს ასოც მილიარდამდე ერთმანეთისაგან ასეული და ათასეული სინათლის წლიებით და შორებულნი ვარსკვლავები¹. მაგალითად, თვით მზის ოჯახის (სისტემის) წევრები, როგორცაა პლანეტები: მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი, ურანი, ნეპტუნი, პლუტონი თავიანთი ბუნებრივი თანამგზავრებით (ამჟამად ამ ოჯახში აღმოჩენილია 32 თანამგზავრი), რამდენიმე ასეული კომეტა, ორი ათასამდე მცირე პლანეტა ანუ ასტეროიდი, უამრავი მეტეორული სხეული, მტვერი და გაზი დედამიწიდან უახლოესი საშუალო ოდენობის მქონე ვარსკვლავის—მზის უდიდესი გრავიტაციული მიზიდულობის ძალის გავლენით სრულიად კანონზომიერად განუწყვეტლევ ასრულებს როგორც ბრუნვითს, ისე მზისადმი გარემოქცევითს და სხვა სახის მოძრაობებს (ცხრ. 1. 4. 4. 1).

მზის ოჯახსა და გალაქტიკებს ან მეტაგალაქტიკებს შორის არსებობს ორი ძირითადი განსხვავება. პირველი განსხვავება ის არის, რომ მზის სისტემის ცენტრალურ სხეულს წარმოადგენს მზე (სხვა ვარსკვლავი იქ არ მოიპოვება), ხოლო გალაქტიკებსა და მეტაგალაქტიკებს ცენტრალური სხეული არა აქვთ, მათი ბრუნვის ცენტრია ვარსკვლავთ სიმრავლის საერთო მასათა ცენტრი. მზე ჩვენი გალაქტიკის ასეთი ცენტრიდან დაცილებულია 3500 სინათლის წლით, ბრუნავს მის გარშემო 270 კმ-ის სიჩქარით სეკუნდში და ერთ გარემოქცევას ანდომებს 225—250 მლნ წელს. ამავე დროს იგი თავისი ღერძის გარშემო ყოველ სეკუნდში 2 კმ ეკვატორულ ბრუნვითს მოძრაობას ასრულებს, ხოლო უფრო ზემო სარტყლების ბრუნვითი მოძრაობა შედარებით მცირეა. როგორც ხედავთ, სამყარო მეტაგალაქტიკებისა და გალაქტიკების სახით დინამიკური ერთეულები უსასრულო სიმრავლეს წარმოადგენს. ჩვენი გალაქტიკის ეკვატორის გასწვრივ დიდი რაოდენობის ვარსკვლავების გამო ცა უფრო განათებულია და დედამიწიდან ხილულ ამ ეკვატორულ ზოლს რძის ფერი აქვს, რამაც განაპირობა რძის გზის სისტემის სახელწოდება; მეორე განსხვავება ის არის, რომ ოპტიკური ხელსაწყოებით მზის სისტემის ობიექტების დამზერის დროს მათი დისკოები გადიდებული ჩანს, ხოლო ვარსკვლავები დედამიწიდან მათი დიდი დაშორების გამო არ დიდდენ-

¹ სინათლის სხივის სიჩქარეა 298 800 კმ/სეკ.

სინათლის წელია $60 \times 60 \times 24 \times 365 \times 298\ 800 = 950\ 000\ 000\ 000\ 000$ კმ/წ = $9.5 \cdot 10^{13}$ (ერთ წელიწადში ცხრათას ხუთას მილიარდი კმ).

	კმ	ისტ. ერთ.	სინათლის წელს	პარსეკს	
1 კმ =	1	$6,7 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-14}$	
1 ასტ. ერთ. =	$1,5 \cdot 10^8$	1	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	სამ. მანძილი დედამიწიდან მზემდე
1 სინათ. წელი =	$9,5 \cdot 10^{13}$	$6,3 \cdot 10^4$	1	$3,1 \cdot 10^{-1}$	ერთ წელიწადში სინათ. სხივის მიერ გავ მანძილი
1 პარსეკი =	$3,1 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^4$	3,3	1	მანძილი, რომელიც შეესაბ. დედამიწის ორბიტის რადიუსზე დაყრდნობილ 1 სეკ კუთხეს

ბა და სულ წერტილების სახით იხილება, ამ დამხერის დროს იზრდება მხოლოდ მათი სიკაშკაშე.

შესწავლის გადავიღების მიზნით ვარსკვლავებს ყოფდნენ დიდ ჯგუფებად ანუ თანავარსკვლავედებად და მათ მეტწილად აჩქარებდნენ ისეთ სახელებს. რომელიც გვაგონებენ ცნობილ პიროვნებებს, ანტიკური მითოლოგიიდან გამომდინარე სახელებს, პირობით რაიმე ფორმას ან ცნოველებს. თანავარსკვლავედების ცალკეულ ვარსკვლავებს აღნიშნავდნენ ბერძნული ასოებით, რომლებსაც აქვთ ნომრები და ინდექსები (1. 5. 1 პარაგრაფი). თანავარსკვლავედების ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავს აღნიშნავდნენ ალფაბეტის (ანბანის) საწყისი ასოებით, ხოლო ნაკლებად კაშკაშა და ახლად აღმოჩენილ ვარსკვლავებს კი—ალფაბეტის ბოლო ასოებით, ნომრებით და ინდექსებით. ზოგიერთ განსაკუთრებული სიკაშკაშის ვარსკვლავს, გარდა ამა თუ იმ ასოთი აღნიშვნისა, ჰქვია საკუთარი სახელი, რომელიც დაკავშირებულია ანტიკურ მითოლოგიასთან. ასე, მაგალითად, ქნარის თანავარსკვლავედის α -ს ეწოდება ვეგა; დიდი ძალის თანავარსკვლავედის α -ს—სირიუსი, ხოლო მარჩბივის (ტყუბის) თანავარსკვლავედის α და β -ს, შესაბამისად, ჰქვია ძველ ბერძენთა მითოლოგიის გმირი ძმების სახელები—კასტორი და პოლუქსი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ვარსკვლავების ზემოხსენებული წესით დასახელება არ ვრცელდება სამხრეთ ნახევარსფეროში აღმოჩენილ ახალ ვარსკვლავებზე.

თანამედროვე უდიდესი ტელესკოპებით შეიძლება დაკვირვებების წარმოება სამყაროს ისეთ ობიექტებზე, რომლებიც დედამიწიდან დაშორებული არიან რამდენიმე მილიარდი სინათლის წლით. ამჟამად აღმოჩენილია კოსმოსური ობიექტები, რომლებიც ჩვენგან დაშორებულია 7—8 მილიარდი სინათლის წლით. მაშასადამე, დღეისათვის ცნობილ ყველაზე უშორეს გალაქტიკიდან წამოსულ სინათლის სხივს სჭირდება რამდენიმე მილიარდი წელი, რომ დედამიწაზე მოაღწიოს. მაგალითად, დედამიწიდან უახლოეს ვარსკვლავ ცენტაურიის α -მდე მანძილი 4,25 სინათლის წელია, ანუ $4,25 \cdot 10^{13}$ კმ (ორმოცდარბიათას ხუთასი მილიარდი კმ).

დაკვირვებად სივრცეში, ანუ იმ სივრცეში, რომლის ფარგლებში დაკვირვებების წარმოება შეიძლება, შედის რამდენიმე ათეული მილიარდი გალაქტიკა. ამათგან ყველაზე დიდები წააგავს ჩვენს გალაქტიკას და ანდრომედას (ჩვენგან უახლოესია და დაშორებულია ორი მილიონი სინათლის წლით) თანავარსკვლავედის დიდ გალაქტიკას. როგორც ვთქვით, ყოველ გალაქტიკაში შედის მილიარდობით ვარსკვლავი. ამჟამად დადგენილია, რომ სამყაროში არსებობს ბუშტულების სახის კვაზი (თითქოს) ვარსკვლავებიც. უკანასკნელი ცნობებით სამყაროს დაკვირვებად ნაწილში ვარსკვლავების რაოდენობა დაახლოებით ათ მილიარდჯერ ათას მილიარდს ($10\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{22}$) უდრის, ხოლო მათში შემავალი ნივთიერებების სრული ოდენობა ამდენჯერვე აღემატება მზის მასას. მიუხედავად იმისა, რომ სამყაროში ვარსკვლავებში თავმოყრილია ნივთიერებათა ასეთი ვეებერთელა ოდენობა, მაინც სამყაროს ძირითადი თვისება არის სივრცე. მაგრამ, როგორც ვნახავთ, იგი აბსოლუტური არ არის. გალაქტიკების საუკეთესო ფოტოსურათებზე ვარსკვლავების გამოსახულებები თითქმის შერწყმული ჩანს. სინამდვილეში ეს ვარსკვლავები ურთიერთ რამდენიმე სინათლის წლით არის დაშორებული. მაგალითად, ჩვენი გალაქტიკის მოდელს თუ გვაკეთებთ ისეთ მასშტაბში, რომ

მისი ვარსკვლავები (რომლებშიც თავმოყრილია გალაქტიკის მთელი ნივთიერებები) წვიმის წვეთების ოდენად წარმოგვიდგეს, ვნახავთ, რომ ამ მოდელზე ისინი ურთიერთ 65 კმ დაშორებით იქნებიან განლაგებულნი. გალაქტიკათა შორის სივრცე უფრო ახლოა სიცარიელესთან, ვიდრე გალაქტიკაში ვარსკვლავთ შორის სივრცე, რადგანაც გალაქტიკათა შორის მანძილები მილიონი სინათლის წლის რიგისაა. დადგენილია, რომ სამყაროს იმ ნაწილში, სადაც დაკვირვებების წარმოება შეიძლება, ყოველ კუბურ სანტიმეტრ ვარსკვლავურ ნივთიერებაზე მოდის 10^{33} კუბური სანტიმეტრი თითქმის ცარიელი სივრცე. აგრეთვე, დადგენილია, სამყაროს საშუალო სიმკვრივე ათი ათას მილიარდჯერ (10^{13}) ნაკლებია იმ მაღალი ეკუთმის სიმკვრივეზე, რასაც აღწევენ თანამედროვე ლაბორატორიული ტექნიკით. ამავე დროს მეტაგლაქტიკებისა და გალაქტიკების საზით სამყარო, გარდა ვარსკვლავებისა, შეიცავს გაიშვიათებული გაზის კოსმოსური მტერისა და უმცირესი ნაწილაკების უამრავ რაოდენობას. მაშასადამე, სამყარო აბსოლუტურ სიცარიელეს არ წარმოადგენს.

ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების შემადგენლობას არკვევენ ჩვენამდე მოსული მათი სინათლის სხივის სპექტრული ანალიზით. მთელი სამყარო შედგება 90% წყალბადისა და 9% ჰელიუმისაგან, რომლებიც ძლიერ მჩატე გაზებს წარმოადგენენ. ამის შემდეგ მოდის ნახშირბადი, აზოტი და ჟანგბადი. ლითონები, როგორცაა: რკინა, მავნიუმი, კალციუმი, ალუმინი, ნატრიუმი და კუბადი, გარდა ლედამიწისა, კოსმოსში იშვიათად გვხვდება; ისინი უმთავრესად ლედამიწის წიაღში იმყოფებიან. ლედამიწასა და მის ატმოსფეროში წყალბადი და ჰელიუმი მცირეა. საერთოდ, გაზები და მტვერი სამყაროში თანაბრად არ არის განაწილებული, ამავე დროს მტერის რაოდენობა სამყაროში საერთოდ 100-ჯერ ნაკლებია გაზებთან შედარებით.

მზე როგორც ოდენობითა და ზომებით, ისე თავისი მასით, ზედაპირის ტემპერატურითა და შინაგანი აგებულებით საშუალო ოდენობის ვარსკვლავს წარმოადგენს. მისი შესწავლა გვაძლევს მრავალ ცნობას სხვა ვარსკვლავების ფიზიკური თვისებების შესახებ. მზე გავარჯარებული გაზობრივი მნათი სხეულია. მისგან გამოსხივებული სითბური ენერგია განაპირობებს ლედამწაზე სიცოცხლეს. ამ სხივების ანარეკლით ანათებენ სხვა პლანეტები და მათი თანამგზავრები. მზის დიამეტრი დაახლოებით 1400000 კმ უდრის და 109-ჯერ აღემატება ლედამიწის დიამეტრს, ხოლო ზედაპირი მზისა 12000-ჯერ მეტია ლედამიწის ზედაპირზე; ამასთანავე, მასში 333000-ჯერ მეტი მასაა, ვიდრე ლედამიწაში; საერთოდ კი მზე შეიცავს მისი ოჯახის ნივთიერებათა 99,9%. მზის გარეგანი ფენის სიმკვრივე წყლის სიმკვრივის ერთ მემილიონედს შეადგენს, ხოლო მისი ცენტრალური ნაწილის სივრცეების სიმკვრივე 50-ჯერ მეტია წყლის სიმკვრივეზე.

მზე შედგება სფერული შრეებისაგან, როგორცაა: ფოტოსფერო (მანათობელი სფერო), რომელიც ყველაზე ღრმა და წარმოშობს დიდი რაოდენობის სხივებს. მისი ტემპერატურა 6000°C -ია; ქრომოსფერო (შეღებილი სფერო) დაახლოებით 14000 კმ სისქის თხელი ფენაა, მოიცავს წყალბადს, კალციუმს და ზოგიერთ სხვა ქიმიურ ელემენტს; პროტუბერანცები ძლიერ დიდ სიმაღლეზე აწეული გაზების გიგანტური მასუქებია. ამ სფეროში გაზები მოძრაობს კოლოსალური სიჩქარით, ზოგჯერ აღწევს 400—500 კმ/სეკ; მზის გვირგვინი მისი ატმოსფეროს ყველაზე განაპირა ფენაა, რომელიც შედგე-

ბა იონიზებული გაზებისაგან. იგი სივრცეში ვრცელდება რამდენიმე ასეულ მილიონ კილომეტრზე და მოიცავს დედამიწის ორბიტას. ასე რომ, ჩვენ შეგვიძლია ვთქვათ ვცხოვრობთ მზის ატმოსფეროს შიგნით. უკანასკნელი ცნობებით გვირგვინი აღწევს პლუტონის ორბიტამდეც, ე. ი. მზის სისტემაში მთლიანად მზის ატმოსფეროს ფარგლებშია.

ყოველ სექუნდში მზე ასხივებს იმდენ სითბურ ენერგიას, რამდენიც საკმარისია დედამიწის დიდობის სფეროს 1000 კმ სისქის ყინულის საფარის გასაღწობად. თანამედროვე გამოკვლევებით დააპტკიცეს, რომ მზის სითბური ენერჯია კოლოსალურია და მის წიაღში მიმდინარე თერმობირთული რეაქცია (წყალბადის გადაქცევა ჰელიუმად) იწარმოებს მანამ, სანამ მზეს ექნება წყალბადის მარაგი. ამჟამად წყალბადის მარაგი მზეს აქვს მისი მასის 50%, რომელაც მას უნდა ეყოს რამდენიმე ათეული მილიარდი წელიწადი.

აღსანიშნავია, რომ მზის მასის ერთეულზე სითბოს ენერჯიის გამოყოფა აბრუნებული დიდია. მაგალითად, ერთ კილოგრამ მზის ნივთიერებაზე დღე-ღამეში მოდის 5 კალორია, ხოლო ადამიანის სასიცოცხლო პროცესებთან დაკავშირებით საჭირო ნივთიერებათა გაცვლის დროს დღე-ღამეში ერთ კილოგრამზე მოდის 25 კალორია, ე. ი. ხუთჯერ მეტი.

მზის ოჯახი, გარდა ბნელი, არათვითმნათი სხეულებისა, როგორცაა ცხრა დიდი და ათასობით მცირე პლანეტები (ასტეროიდები) და კომეტები (კუდიანი ვარსკვლავები), შედგება ქვისა და რკინის მასების მქონე მცირე სიდიდის უამრავი მკვრივი ნატეხებისაგან, ე. წ. მეტეორული სხეულებისაგან. ისინი ზოგჯერ შემოიჭრებიან დედამიწის ატმოსფეროში (1. 1. 2 პარაგრაფი) და ჰაერთან ხახუნის შედეგად ანათებენ. ამ დროს მას მეტეორი ჰქვია. ათი მეტი ნაწილი ჰაერშივე იწვის, მაგრამ ხანდახან დედამიწაზეც ვარდება. ამ შემთხვევაში მას მეტეორიტი ეწოდება. მეტეორების ჰაერში დაწვის შედეგად დედამიწაზე მოგვევლინება მტვერი. კოსმოსური ხომალდებისა და რაკეტების შექმნამდე (რომელთა საშუალებით ამჟამად ხდება პლანეტათა შორის სივრცეების ფიზიკური და ქიმიური კვლევა) მეტეორიტები წარმოადგენდნენ ერთადერთ ხელმისაწვდომ კოსმოსურ სხეულებს, რომელთა საშუალებით სამყაროს შედგენილობის შესახებ იღებდნენ ცნობებს. გარდა ამისა, მზის სისტემაში შედის აკრეუვე კომეტები, მტვერი და გაზი. ფიქრობენ, მზის სისტემაში ას მილიარდამდე კომეტა და მნიშვნელოვანი რაოდენობის მტვერია, რომელიც აქა-იქ შეჯგუფებულია; ირეკლავს მზის სხივებს, ასუსტებს სინათლეს და იწვევს ე. წ. ზოდი აქურ მოვლენას, რაც კარგად ჩანს მზის ამოსვლის წინ და ჩასვლის შემდეგ.

ფორმის მიხედვით მზე, თითქმის ყოველი ვარსკვლავი, პლანეტები და მოზრდილი ასტეროიდები ძლიერ ახლოს არის სფეროსთან. ამ მხრივ სამყაროს სხეულები განსხვავდება დედამიწაზე არსებული სხეულებისაგან. მაგალითად, დედამიწაზე წარმოშობილი კრისტალები იშვიათად არის სფერული ფორმის. როგორც ჩანს, სამყაროში დიდი სხეულების გაზრდის პროცესები განსხვავდება დედამიწაზე მიმდინარე პროცესებისაგან, სადაც იქმნება კრისტალების (მატერიის) სხვადასხვა ფორმები. აღნიშნულ ფაქტებს და სხვა მოსაზრებებს მიყვავართ გრავიტაციული, ანუ მსოფლიო მიზიდულობის ძალის მთავარ და გადამწყვეტ მნიშვნელობაზე ვარსკვლავთ შორის გაზებისა და მტერის ნაწილაკთა ურთიერთმიზიდულობის ძალის გავლენით ხდებოდა ვარსკვლავებისა და დიდი პლანეტების კონდენსაცია.

კინიდან მიზიდულობის ძალა მიმართულია მიმზიდველი სხეულის ცენტრისაკენ, ყველა შესქელება, რომლებიც შეეუმშვიტ იქნება გამოწვეული, უნდა იქნეს სფერული ფორმის, თუ თვით კონდენსირებული ნივთიერება არ ბრუნავს. კონდენსირებული ნივთიერების ბრუნვის შემთხვევაში იგი პოლუსებთან ცოტად თუ ბევრად იზნიქება. ცნობილია, რომ მზე როგორც გაზობრივი სხეული, ცალ-ცალკე ფენების სახით ბრუნავს სხვადასხვა სიჩქარით; მზის ეკვატორის ასლო სიჩქარეები უფრო სწრაფად ბრუნავს, ვიდრე პოლუსების ასლო სიჩქარეები, აგრეთვე ბრუნვის პერიოდი განედის ზრდის შესაბამისად თანაბრად იზრდება. მაგალითად, ეკვატორზე მზის სიჩქარეების ერთი სრული შემობრუნების პერიოდია 25,39 დღე-ღამე, ხოლო პოლუსების მახლობელ სიჩქარეებში — დაახლოებით 35 დღე-ღამემდე აღწევს. საერთოდ, მზის ბრუნვის სიჩქარე 1 სეკ-ში 2 კმ-ზე მცირეა, ამიტომ მისი ჩაზნექა პოლუსებთან იმდენად უმნიშვნელოა, რომ ჩაზნექის გაზომვა ვერ ხერხდება. დედამიწის ფორმაც სფეროსაგან მცირედ განსხვავდება, ხოლო იუპიტერი მისი დიდი ბრუნვითი სიჩქარის გამო (სრული შემობრუნების პერიოდი აქვს დაახლოებით 10 საათი) ტელესკოპში პოლუსებთან შეზნექილი ჩანს. გალაქტიკებში შეიმჩნევა სწრაფად მბრუნავი ვარსკვლავები, მაგრამ თანამედროვე დიდი ტელესკოპებითაც კი მათი ფორმის უშუალო დადგენა არ ხერხდება. მაგრამ მბრუნავი გაზისებრი სხეულების თეორიის მიხედვით ასკენიან, რომ რამდენიმე საათის ბრუნვის პერიოდის მქონე ვარსკვლავებს კვადრატთან ექნებათ მაქვილნაპირებიანი ლინზისმაგვარი ფორმა, რომელიც შემოფარგლული იქნება ეკვატორული რგოლით, რომლის დიამეტრი პოლუსების შემაერთებელ დიამეტრთან შედარებით, დაახლოებით, სამჯერ მეტი იქნება.

გალაქტიკებიც უნდა წარმოშობილიყო პირველად გაზში კონდენსირების საფუძველზე, რომლის ხნოვანება უკანასკნელი ცნობების მიხედვით დაახლოებით 10—15 მილიარდი წელია.

გ რ ა ვ ი ტ ა ც ი უ ლ ი, ა ნ უ მ ს ო ფ ლ ი ო მ ი მ ზ ი დ უ ლ ო ბ ი ს, კ ა ნ ო ნ ი ყველაზე ძლიერად დადასტურდა პლანეტების მოძრაობის შესახებ მონაცემებით. დედამიწის ზედაპირზე ორ საგანს შორის მიზიდულობის ძალას მისი სიმცირის გამო ყოველდღიურ ცხოვრებაში არავითარი მნიშვნელობა არა აქვს. უძველესი დროიდან ცნობილი იყო დედამიწის მიერ ზედაპირზე არსებული საგნების მიზიდულობის ფაქტები, ხოლო თავისუფლად ვარდნილი სხეულების კანონი იტალიელი ასტრონომის, ფიზიკოსისა და მექანიკოსის დიდი გალილეო-გალილეის (1564—1642) მიერ იყო ჩამოყალიბებული მე-17 საუკუნის დასაწყისში. ინგლისელმა ფიზიკოსმა, მექანიკოსმა, ასტრონომმა და მათემატიკოსმა ისააკ ნიუტონმა (1643—1727) — დაამტკიცა, რომ ძალა, რომელიც აძქელებს ქვას ვარდებოდეს დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე, აძქელებს აგრეთვე მთვარესაც და დედამიწისაც ვარდებოდნენ ურთიერთ ცენტრებისაკენ. მიზიდულობის კანონის განზოგადება ნიუტონისათვის შესაძლებელი გახდა იმის შემდეგ, რაც მან მოძრაობის შესახებ ჩამოაყალიბა სამი კანონი (1. 4. 4—D მუხლი). მთვარე რომ დედამიწაზე ვარდება, მაგრამ მაინც არასოდეს დაეცემა დედამიწას, დასაჯერებელი გახდა მხოლოდ იმის შემდეგ, რაც ნიუტონმა დაადგინა, რომ, თუ მთვარეზე არ იმოქმედებდა რაიმე ძალა,

1. უკანასკნელი ცნობებით სხვადასხვა დედამიწისაკენ მიიქცევა სივრცის ხნოვანება 70 მილიარდი წელი.

იგი დარჩებოდა სივრცეში უძრავად ან გააგრძელებდა მოძრაობას წრფევად და თანაბრად. საჭირო იყო ახსნა. რომ სხეულის თავისუფლად ვარდნის დრო. ერთი და იგივეა: იგი იწყებს ვარდნას უძრავობის თუ შვეულის ანუ სიძიმის ძალის მართებული მოქარობის მღვთაზღობიდან. მზის სახეების თეორია. რა სახითაც ამჟამად არის ცნობილი, შექმნილი იყო ნიუტონის მიერ მიზიდულობის კანონის აღმოჩენის საფუძველზე (1. 4. 4). მცირედი განზოგადების შედეგად დადგინდა, რომ მიზიდულობის კანონი მოქმედებს არა მარტო მზის სისტემაში, არამედ მთელ სამყაროში. ვარსკვლავებისა და გალაქტიკების ძირითადი თვისება შეიძლება აიხსნას მიზიდულობის თეორიით. მიზიდულობა გარკვეულ როლს ასრულებს აგრეთვე ორმაგი გალაქტიკის დინამიკაში, ომლითაც მანძილი ორ გალაქტიკას შორის მათ დინამეტრებზე ცოტათი მეტია. ცოტადილეი გამოჩაყლისით (რისი მიზნებიც მაგნიტური ველი უნდა იყოს) სამყაროში ყველა მეტაგალაქტიკის, მისი გალაქტიკებისა და მათში შემავალი ვარსკვლავთ გროვების მოძრაობის რეგულირება ხდება მიზიდულობით. ამ ძალის თვისება იმდენად კარგად არის ცნობილი, რომ მზის ოჯახის პლანეტების ადგილმდებარეობა დროში შეიძლება ვიწინასწარმეტყველოთ. მიუხედავად ამისა მიზიდულობის ძალის ფიზიკური ბუნება დღესაც ისევე უცნობია, როგორც ეს იყო გალილეისა და ნიუტონის დროს. მიზიდულობის ძალის გადაცემას ხელს ვერ უშლის ურთიერთმიზიდულ სხეულებს შორის არსებული ობიექტები, ე. ი. გრავიტაციის შთანთქმის ადგილი არ უნდა ჰქონდეს. მაგალითად. მთვარის დაბნელების დროს ანუ როცა დედამიწა მოექცევა მზესა და მთვარეს შორის, მთვარის მოძრაობა არ განიცდის რაიმე ზომად შემოფოთებას: ასეთი ექსპერიმენტი ჩატარდა თბილისში 1961 წ. 15 თებერვალს, როცა ადგილი ჰქონდა მზის დაბნელებას. დედამიწის მიზიდულობის ძალა, როგორც დაკვირვებებში ცხადყო, არ შეცვლილა, ე. ი. არ ჰქონდა ადგილი მთვარის მერ მიზიდულობის ძალის შთანთქმას. კიდევ უფრო განსაცვიფრებელია ის ფაქტი, რომ მიზიდულობის ძალა ერთნაირია ტოლი მასების მქონე სხეულებისათვის მიუხედავად მათი სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობისა და ფიზიკური თვისებებისა.

მიზიდულობის მოვლენის თეორიის შემდეგი განვითარება ეკუთვნის ერთ-ერთ უდიდეს თანამედროვე გერმანელ ფიზიკოსს—თეორეტიკოს ალბერტ აინშტაინს (1879—1955) რელატივობის (ფარდობითობის) ზოგადი თეორიის სახით. ეს თეორიაც ვერ ხსნის მიზიდულობის ფიზიკურ ბუნებას. ორივე თეორია იწყება მოძრავი სხეულების დანაკვირვები თვისებების შესწავლით და ხსნის ამოცანებს, რომელთა საშუალებით დგინდება შეთანხმებული წესები ამ სხეულების ქცევის წინასწარმეტყველების შესახებ. ამ თეორიის მიღწევები დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად დასტურდება ეს წინასწარმეტყველებანი დაკვირვებებით. ნიუტონის თეორია დასტურდება თითქმის ყველა დანაკვირვები თვისებით. ასე რომ, ეს თეორია ჰეშმარიტებას უახლოვდება. აინშტაინის თეორია სწორად წინასწარმეტყველებს იმ მოვლენების შესახებ, რომელთა მიმართ ნიუტონის თეორია მარცხდება. მაშასადამე, ის უფრო ახლოსაა ჰეშმარიტებასთან. აინშტაინის თეორია ხსნის სინათლის სხივის გადახრის მოვლენას მიზიდულობის ძალის არსებობით; მაგალითად, იგი ხსნის მზიდან უახლოესი პლანეტის—მერკურის ორბიტის ორიენტირების ცვალებადობას ან მისი პერიპელიუმის (მზესთან უახლოესი წერტილის) მოძრაობას. რასაც ნიუტონის თეორიით ვერ ვაღწევთ. აინშტაინის ზოგადი თეორია

მნიშვნელოვანია იმ მხრივაც, რომ ის. აკავშირებს რა მიზიდულობას მასების ახლო სივრცისა და დროს ცვალებადობასთან, დაახლოებით ხსნის მიზიდულობის ბუნებას. რა თქმა უნდა, ეს არ ნიშნავს იმას, რომ ეს თეორია არის ჭეშმარიტების საბოლოო საფეხური; მისი პრაქტიკული მხარე დიდი მნიშვნელობის არ არის, მხოლოდ ფიზიკური იდეების სიღრმეა განსაკვიფრებელი. ამ უკანასკნელ ხანებში, ძლიერ მკვრივი ვარსკვლავების შესწავლის დროს, მეტაგალაქტიკების სიღრმეში შეჭრისა და ამასთან დაკავშირებით მრავალი დანაკვირვები მონაცემის ახსნისათვის რელატივიზმის ანუ აინშტაინის გრავიტაციის ზოგადი თეორია აუცილებელია.

ვარსკვლავების მოძრაობა ჩვენი გალაქტიკის შიგნით მოგვაგონებს კოლოების გუნდის მოძრაობას უზარმაზარ სივრცეში. ვარსკვლავების გუნდი მოძრაობს წრიულ ორბიტაზე გალაქტიკის ცენტრის გარშემო. როგორც აღვნიშნეთ, მზის უბანში დაახლოებით 270 კმ/სეკ სიჩქარით. 225—250 მილიარდი წლის პერიოდით. ამ გუნდის შიგნით ცალკეული ვარსკვლავები მოძრაობენ ყველა მიმართულებით საშუალოდ 20 კმ/სეკ სიჩქარით. ამასთანავე საგულისხმოა, რომ ზოგიერთი ვარსკვლავი შეიძლება იქნეს გაცილებით მეტი ოდენობის შემთხვევით სიჩქარეს (500 კმ/სეკ), რომელიც მეტია იმ სიჩქარეზე, რომელსაც ვარსკვლავი მიიღებდა უსასრულობიდან გალაქტიკაზე ვარდნის დროს. მაშასადამე, ასეთი ვარსკვლავის სიჩქარე აკარბებს მოცემული გალაქტიკისათვის კრიტიკულ სიჩქარეს, რის გამოც ეს ვარსკვლავი გაიჭრება გალაქტიკის სივრციდან და გალაქტიკათა შორის დახვითიან მანამ, სანამ მას არ მიიღებს შესაბამისი სიჩქარის შემცველი რომელიმე გალაქტიკა. მართალია, ასეთი მონეტალე ვარსკვლავები ჯერჯერობით არ არის შენიშნული. მაგრამ თანამედროვე გამოკვლევები მათი არსებობის შესაძლებლობას წინასწარმეტყველებს. დაკვირვებების შესაბამისად, მილიონობით სინათლის წლების მანძილზე ურთიერთდაშორებული გალაქტიკების მოძრაობა ორი სახისაა: ყველა მიმართულებით უწყესრიგო მოძრაობა საშუალოდ 1000 კმ/სეკ სიჩქარით და სისტემატური გაფანტვითი (ჩვენგან გასხლტომის, განშორების) მოძრაობა, რითაც იზრდება გალაქტიკათა შორის სივრცეები. უკანასკნელი მოძრაობა დაკავშირებულია მეტაგალაქტიკების ნაგულისხმე გაფართოებასთან. მაშასადამე, ასკენიან, რომ ნივთიერებათა სიმკვრივე მუდამ მცირდება და სამყაროს გალაქტიკების ნაწილი, რომელიც იმყოფებოდა დაკვირვებისათვის შესაძლო მანძილზე, მაგრამ ხასიათდებოდა გაფანტვითა მოძრაობით, რომლის სიჩქარე ახლოა სინათლის სხივის სიჩქარესთან, იმალება დაკვირვებისათვის მიუწვდომელ სივრცეებში. უკვე ცნობილია, რომ გალაქტიკების გაფანტვითი მოძრაობის სიჩქარესა და ამ გალაქტიკათა ურთიერთ მანძილებს შორის წრფივი დამოკიდებულებაა. მაგალითად, ჩვენგან რაც უფრო შორს არის გალაქტიკა, მით მეტია მისი ჩვენგან განშორების სიჩქარე, რასაც ადასტურებს ყველა სპექტრული ხაზის წითელ მხარეზე გადაადგილება. თანამედროვე მიღწევების საფუძველზე შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ მეტაგალაქტიკის სახით სამყაროს დანაკვირვები სივრცე ყველა მიმართულებით, ერთგვარად და თანაბრად ფართოვდება და რომ 10—12 მილიარდი წლის წინ მეტაგალაქტიკა იყო ბევრად მკვრივი, ხოლო მატერიის მდგომარეობა შეიძლება ყოფილიყო სხვაგვარი. რაც უფრო გვეძლევა საშუალება შევიჭრათ სამყაროს სიღრმეში და დავაკვირდეთ შორეულ გალაქტიკებს, მით უფრო შესაძლებე-

ლია დახუტდეს გალაქტიკების წარმოშობის ხნოვანება და ნათელი ხდებოდეს ტერიის აღრიხდელი სახე.

მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად გალაქტიკებში ნივთიერებები თავმოყრილია გაზებისა და მტვრის ნარევის სახით და გალაქტიკათა შორის სივრცე თითქმის სიციარიელეს წარმოადგენს, მაინც სამყაროს დაკვირვებადი სივრცე სავსეა ელექტრომაგნიტური გამოსხივების (რადიაცია) ენერგიით. ყოველი ვარსკვლავი სამყაროში აფრქვევს სინათლესა და სითბოს. ვარსკვლავის მიერ გამოსხივებული ყოველი ფოტონი (სინათლის ნაწილაკი) მილის დაახლოებით 300000 კმ/სეკ სიჩქარით. მიუხედავად აღნიშნულისა, სამყაროს ვარსკვლავთ შორის სივრცის ყოველ კუბურ სანტიმეტრზე გამოსხივებული ენერგიის სიდიდე მეტად მცირეა; მაგალითად, უკანასკნელი გამოთვლებით მიღებულია, რომ იგი უდრის 0,000 030 000 001 ერგს, მაშინ როდესაც მზის მიერ ჩვენი დედამიწის ერთ კვადრატულ სანტიმეტრზე მოსული სინათლის ენერგია ყოველ სეკუნდში უდრის 1500 000 ერგს. დადგენილია, რომ რადიაციის სიმკვრივე კოსმოსურ სივრცეებში (გალაქტიკებში და მათ შორის) თანატოლია. გამოსხივებას ენერგია, განუწყვეტლივ იჭრება რა გარე დაუკვირვებად სივრცეებში, სადაც ჯერჯერობით დაკვირვებას ვერ ვაწარმოებთ, ჩვენთვის გამოუყენებელი რჩება.

სამყაროს შესწავლისათვის გარკვეული მასალა მიიღება კოსმოსური სხეულების მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ენერგიის (რადიაცია) ანალიზით. იგი მოიცავს როგორც ხილულ სინათლეს, ისე უხილავ გამოსხივებებს, როგორცაა γ (უალრესად მოკლეტალღებიანი ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რენტგენის სხივებზე მეტი შეჭრისუნარიანი), რენტგენის, ულტრაიისფერის (იისფერი სხივების უკანა), ინფრაწითელი (წითელი სხივების ქვეშ სითბური სხივები) სხივები, აგრეთვე სითბური გამოსხივებანი, მიკრო და რადიოტალღები და სხვ.

ვარსკვლავთა მიერ რადიოგამოსხივების ენერგიის სრულყოფილად შესწავლის პროცესში საინტერესოა ბნელი ვარსკვლავების არსებობის დადგენა, რომელთაც შეუქლიათ რადიოგამოსხივებათა შთანთქმა. შეიძლება ითქვას, რომ ამჟამად დიდი ზომის ბნელი ვარსკვლავები არ არსებობს. აღნიშნულის დადასტურებად უნდა ჩაითვალოს გალაქტიკები და მათ შორის მსოფლიო მიზიდულობის კანონისადმი კოსმოსურა სხეულების მოძრაობის შესაბამისობა. ძლიერ მცირე ბნელი ვარსკვლავი და პლანეტები. რომელთაც ორბიტული მოძრაობის დროს შეუქლიათ დაჰფარონ მანათობელი ვარსკვლავის ვეებერთელა დისკოს მცირე ნაწილი, შეუქმნეველი რჩება. დადგენილია, რომ, საერთოდ, მცირე სიდიდის ბნელი სხეულების წილი, როგორცაა: დიდი სიმკვრივის ჯუჯა ვარსკვლავები (რომელთაც დაახლოებით მზის ოდენა მასა აქვთ და დედამიწის ოდენა მოცულობა და შეიძლება ითქვას, დაკარგული აქვთ ენერგია გამოსხივების უნარი), მეტეორული სხეულები, კომეტები და სხვა, სამყაროს სივრცის მოცულობის ერთეულში მცირეა.

როგორც აღვნიშნეთ, ყოველ სეკუნდში მზისაგან გამოსხივებული ენერგია დედამიწის ზედაპირზე ძლიერ დიდია. მზის მიერ ამ დიდი ენერგიის მილიარდობით წლების მანძილზე განუწყვეტელი გამოუმუშავების ძირითად მექანიზმს წარმოადგენს ატომგულური პროცესები, რომლითაც წყალბადი გარდაიქმნება ჰიმურიად ინერტულ გაზად—ჰელიუმად. როგორც ცნობილია, დაბერების თვისებით ხასიათდება სამყაროს ყველა ვარსკვლავი. მაშასადამე.

წყალბადი იქცევა ჰელიუმად და ჰელიუმში, ალბათ, კიდევ უფრო მკვრივ ელემენტებად, ე. ი. სამყაროს ქიმიური შედგენილობა განუწყვეტელ ცვალებადობაშია. შეიძლება ვიფიქროთ, რომ 10—12 მილიარდი წლის წინ სამყარო მხოლოდ წყალბადს შეიცავდა და მისი ნაწილი დროთა ვითარებაში ამ გარდაქმნათა შესაბამისად უფრო მკვრივ ნივთიერებაში გადავიდა. მაგალითად, ჩვენი მზე, რომელიც წარმოშობილია დაახლოებით 10 მილიარდი წლის წინათ, შეიცავს 2% მძიმე ელემენტებს, მაშინ როცა უფრო ძველ ვარსკვლავებში იგი 0,3%-მდეა, ახალ ვარსკვლავებში კი 4 %-ს აღწევს.

1. 1. 2. დედამიწის ფიზიკური ელემენტები

↓ მზიდან მესამე პლანეტა—დედამიწა წარმოადგენს ბუნებრივი, სოციალური, ეკონომიური ელემენტების ერთობლიობას. ↓

1. დედამიწის ბუნებრივი ელემენტები

დედამიწის ბუნებრივ ელემენტებად ვვულისხმობთ მის იმ ფიზიკურ ნაწილს, რაც არსებობს ადამიანის ნების გარეშე, შეიძლება მათზე დაკვირვებების, გაზომვების წარმოება და ზემოქმედება (ამაშია მატერიის ობიექტურობის უზოგადესი თვისება). იგი წარმოადგენს კაცობრიობის სასიცოცხლო საფუძველს. საერთოდ, დედამიწის ბუნებრივ ელემენტებს წარმოადგენენ გეოსფეროების სახით, როგორცაა: ატმოსფერო, ჰიდროსფერო და მყარი ტანი. γ

ა. დედამიწის ატმოსფერო¹

× ატმოსფერო დედამიწის გაზისებური უწყვეტი გარსია; ჩვეულებრივ მას ჰაერს უწოდებენ. ატმოსფეროს ქვემო საზღვარი მკვიდროდაა შექრილი ნიადაგსა და წყალში, აგრეთვე იგი მთლიანად ბრუნავს დედამიწასთან ერთად, რისთვისაც მას დედამიწის ატმოსფერო უწოდეს. ×

ჰაერი არც ელემენტია და არც ნაერთი; იგი წარმოადგენს გაზების მქანტიკურ ნარევს. მისი არც ზუსტი საზღვრის ჩვენება შეიძლება. ჰაერის რაოდენობა და სიმკვრივე სიმაღლის ზრდის შესაბამისად უწყვეტლევ კლებულობს, იგი გაიშვიათებული ხდება და უახლოვდება ნივთიერებათა იმ სიმკვრივეს, რომელიც არის პლანეტათა შორის სივრცეში. მაგალითად, 0°C ტემპერატურის დროს დედამიწის ზედაპირთან ჰაერის სიმკვრივეა 1293 გ/მ³, 10 კმ სიმაღლეზე კი 400 გ/მ³, 20 კმ—90 გ/მ³. მეტეოროლოგები ატმოსფეროს ზედა საზღვრად თვლიან 1000—1300 კმ-ს, რადგან უფრო ზევით არ შეიმჩნევა ე. წ. ატმოსფერული მოვლენები (ელჭექი, ქარი, წვიმა, მეტეორები და სხვა), თუმცა ახალი მონაცემებით ეს საზღვარი შეიძლება 2000 კმ-მდეც აღწევდეს.

ჩვენ გვეჩვენება, რომ ჰაერს წონა არა აქვს. სინამდვილეში დადგენილია, რომ დედამიწის მთელი ატმოსფერო იწონის დაახლოებით $5 \cdot 10^{18} = 5\,000\,000$ მილიარდ ტონას, რაც იმას ნიშნავს, რომ დედამიწაზე მცხოვრებ თითოეულ ადამიანზე დაახლოებით მოდის 1,0 მილიონი ტონა ჰაერი. ეს ჰაერი რომ შევკუმშოთ ფოლადის სიმკვრივემდე, ის შემოერთყმოდა მთელ დედამიწას 12,5 მ

1 „ატმოს“ (ბერძენ) - ორთქლი; „სფერო“ - სფერო.

სისქის დამცავი ჯავშნის სახით; აბაზანის ჰაერი რომ შეეკუმშოთ და აეწონოთ, იგი აიწონის 1 კგ; ჩვეულებრივი საწოლი ოთახის ჰაერი რომ ყუთში მოვათავსოთ, მისი აწევა გაუჭირდება ღონიერ კაცს; ჰაერი, რომელსაც ჩვენ მხრებით ვატარებთ, იწონის 500 კგ. ასეთი დიდი სიმძიმე ვერ ჰყლუტს ადამიანს იმიტომ, რომ ადამიანის სისხლი და მთელი ქსოვილები დაჯვრებულია ჰაერით, რომელიც იწვევს გარე ატმოსფეროს დაწოლის საწინააღმდეგო და ტლ რეაქციას. იგივე მოვლენის გამო არ იჭყლიტება ოკეანეებში დიდ სიღრმეზე მცხოვრები თევზები ძლიერი წნევით.

ჰაერი შედგება მოლეკულათა უდიდესი რაოდენობისაგან. მაგალითად, დედამიწის ზედაპირზე ერთ კუბურ სანტიმეტრ ჰაერში არის $3 \cdot 10^{18}$ მოლეკულა; ყოველ ამოსუნთქვაზე ჩვენ ვუშვებთ 10^{22} მოლეკულას. ჰაერში ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე ეს მოლეკულები ქაოსურად მოძრაობს საშუალოდ რეაქტიული თვითმფრინავის სიჩქარით და ურთიერთს ეჯახება. ადამიანისათვის მოლეკულათა დაჯახებების საერთო ჯამი ცნობილია წნევის სახით, რომლითაც ჰაერი აწევა რაიმე ზედაპირს. მაგალითად, ეს წნევა ადამიანის სხეულის ერთ კვადრატულ სანტიმეტრზე ტოლია 1 კგ-სა. თუ არ მივიღებთ მხედველობაში წყლის ორთქლს (რომელიც წარმოაშვება დაბალ ადგილებში ამინდის ცვალებადობის გამო), ატმოსფეროს ქვედა ფენებში 78% მოლეკულური აზოტია (მოცულობით), 21% მოლეკულური ჟანგბადი და 1% ნახშირორჟანგი, არგონი, ნეონი, კრიპტონი, პელიუმი, რადონი და სხვა გაზები. აზოტი, ჟანგბადი და ნახშირორჟანგი გადადის ორჯანულიდან არაორჯანულ ნივთიერებებში და, პირიქით, რაც მატერიის აქტიურობის, კანონზომიერებისა და მუდმივობის უზოგადესი თვისებების დადასტურებაა. ზოგიერთ შემთხვევაში ეს გადაადგილებანი ხდება დიდი პერიოდის გავლის შემდეგ, ზოგჯერ კი უფრო ადრე. მაგალითად, უწყვეტი პროცესის სახით ჟანგბადი ორჯანულ ბუნებას უბრუნდება 3000 წელიწადში, ხოლო აზოტი 100 000 000 წელს ანდომებს ამ ბრუნვას.

მზე, კაცობრიობისათვის სასარგებლო სინათლისა და სითბოს გარდა, დედამიწას ამარაგებს მისთვის მანეე გამოსხივებით და ნივთიერებითაც, რისგანაც დედამიწის ატმოსფერო გვიცავს. მაგალითად, მზის ულტრაიისფერი გამოსხივება იქნება გამანადგურებელი, რომ მის დიდ ნაწილს დედამიწის ატმოსფერო არ იჭერდეს (შთანთქავდეს), დედამიწაზე კი მცირე ნაწილი აღწევს, რომელსაც ადამიანები იყენებენ ნამზეურის მისაღებად. დედამიწის ატმოსფერო გვიცავს უპიცოკის მეტეორული სხეულებისა და შემოჭრილი რადიაციისაგან, განსაკუთრებით კოსმოსური სხივებისაგან. მეორე მხრივ, ჰაერი არის ჩვენი ერთ-ერთი მთავარი ბუნებრივი საარსებო წყარო. ნავთობი და ნახშირი, რომელსაც ადამიანი იღებს წიაღიდან, ძირითადად წარმოადგენს ნახშირბადს, რომელიც ძველთაგანვე მცენარეებს აქვთ წარმოებული ჰაერისაგან. ამჟამადაც არ შეიძლება ვისარგებლოთ წიაღისეულით, თუ ჰაერში არ იქნებოდა ეს ანგბადი, რომელიც აუცილებელია მათი წვისათვის. არ შეიძლება მივიღოთ სუფთა სახით რკინა, სპილენძი, თუთია და სხვა ნებისმიერი ლითონი, თუ სადნობ ღუქლებს არ ვასაზრდობთ ჟანგბადით. ერთი სიტყვით, დედამიწის ატმოსფეროს გარეშე კაცობრიობას არსებობა შეუძლებელია.

ძველთაგანვე იყო შემჩნეული, რომ ოკეანეთა მიმოქცევილი ტალღები, რომლებსაც ძირითადად იწვევს მთვარის მიზიდულობა, იმდენად მაგრად ეჯა-

ებმა მატერიალებს, რომ ის შეანელებდა დედამიწის ბრუნვითი მოძრაობის ძალას, თუ რაიმე მის საწინააღმდეგო მოვლენას არ ექნებოდა ადგილი. ამჟამად დადგენილია, რომ ეს საწინააღმდეგო მოვლენა არის დედამიწის ატმოსფეროს მის მოქცევა, რომელსაც იწვევს მზის მიზიდულობა. მაშასადამე, მთავრისა და მზის მიზიდულობის შედეგად დედამიწის ბრუნვის დამამუხრუქებელი და მისი საწინააღმდეგო ძალები წონასწორდება და 24 საათი, რაც საჭიროა დღესდღეობით თავისი ლერძის გარშემო დედამიწის სრული შემობრუნებისათვის, მილიონი წლების მანძილზე დაახლოებით უცვლელი დარჩება.

დედამიწის ატმოსფერო შეიცავს სხვადასხვა ფენას, რომელთა შორის, მკაფიო საზღვრების დადგენა შეუძლებელია. ფენებს შორის საზღვრები ცვალებადობს სეზონის, გეოგრაფიული განედისა და ატმოსფეროს ქვედა ფენების პირობების შესაბამისად. საერთოდ, ატმოსფეროს წარმოიდგენენ გარსების სახით. გარსებად წარმოადგენს ძირითად ნიშანთვისებად სხვადასხვა სისტემა სხვადასხვა ფაქტორს იღობს. მაგალითად, ამა თუ იმ ნივთიერებების სიჭარბის მიხედვით არჩევენ ოზონოსფეროს (ხეიოსფეროს) დედამიწის ზედაპირიდან 80 კმ-მდე, რომელიც შეიცავს გაზ ოზონს, და იონოსფეროს 80 კმ ზევით, რომელშიც მზის გამოსხივების ზეგავლენით იქმნება თავისებური ნარევი არამდგრადი მოლეკულებისა და იონებისა, ანუ იმ ნაწილაკებისა, რომლებიც მოიცავენ ელექტრულ მუტს. ამ ფენას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მოკლე რადიოტალღების დიდ მანძილზე გავრცელების საქმეში. ამჟამად საერთაშორისო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის რეკომენდაციის შესაბამისად ატმოსფეროში ტემპერატურის განაწილების მიხედვით არჩევენ შემდეგ ხუთ ძირითად სფეროს: ტროპოსფეროს, სტრატოსფეროს, მეზოსფეროს, თერმოსფეროსა და ეგზოსფეროს. ყოველი მათგანი წინასაგან გამოიყოფა ე. წ. პაუზით (ტროპოპაუზა, სტრატოპაუზა, მეზოპაუზა, თერმოპაუზა), ე. ი. ისეთი ფენით, რომელშიც ტემპერატურა ჩერდება—არც კლებულობს და არც მატულობს.

ტროპოსფერო წარმოადგენს დედამიწის ატმოსფეროს ქვედა ფენას. ეკვატორის არეში მისი სიმაღლე 16—18 კმ-ია, ზომიერ სარტყლებში—10—12 კმ, პოლარულ ზონაში კი—7—10 კმ. ამ გარსში ჰაერის საშუალო სიმკვრივე არის ზღვის დონეზე სიმკვრივის 12,5%, წნევა კი—ზღვის დონის წნევასთან შედარებით 25%-ით ნაკლები. ხმელეთის ნებისმიერი წერტილი ტროპოსფეროს ფარგლებშია. ზევით მას ესაზღვრება ტროპოპაუზა, რომლის სისქე რამდენიმე ასეული მეტრიდან 1—2 კმ-მდეა. ატმოსფერო შთანთქავს მზის სითბური ენერგიის დაახლოებით 15%-ს, დედამიწის ზედაპირი კი 43%-ს, ამიტომ ატმოსფერო არსებითად დედამიწიდან თბება (აქ მხდველობაში არ მიიღება შემთხვევები, როცა მშვიდ ამინდში ნიადაგი უფრო ცივია, ვიდრე ჰაერი, რასაც ტემპერატურის უწესრიგობა ანუ ინვერსია ეწოდება). ტროპოსფერო მოიცავს ატმოსფეროს მთელი მასის 79,5%-ს და თითქმის მთელი წყლის ორთქლს. ამიტომ ღრუბლებიც არსებითად ამ თენაში ჩნდება. იგი არ ატარებს დედამიწიდან გამოსხივებულ სითბოს, ე. ი. ინფრაწითელ სიხვედს, და ხელს უწყობს ჰაერის გათბობას. გამთბარი ჰაერი ზევით მიისწრაფვის და ნაკლები წნევის (სიმკვრივის შემცირების) გამო ფართოვდება; რაც იწვევს მისი სითბური ენერგიის ხარჯვას და გაცივებას. ბუნების ეს მოვლენა ზღბა მიზეზი ატმოსფერული მოვლენებისა, როგორცაა: წყლის

ორთქლის კონდენსაცია (წვეთებად გარდაქმნა), ღრუბლების შექმნა. კეჭა-ქუხილი და ნალექების წარმოშობა. ჰაერის ვაცივების შედეგად ტროპოსფეროში ტემპერატურა ქვევიდან ზევით თანდათან კლებულობს ყოველ 100 მ-ზე საშუალოდ $0^{\circ},5-0^{\circ},6$ -ით და სტრატოსფეროს ქვედა საზღვართან მიწის $+5-80^{\circ}$ -მდე ჩამოდის. ამიტომ არის, რომ მთებში სიმაღლეთა ზრდის შესაბამისად ტემპერატურა ეცემა, რაც საშუალებას გვაძლევს თერმომეტრით ტლანქად გავზომოთ ადგილის სიმაღლე.

სტრატოსფერო წარმოადგენს ატმოსფეროს იმ სივრცეს, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან 50—60 კმ-ის სიმაღლემდე აღწევს. მეზოსფეროსთან ერთად იგი მოიცავს ატმოსფეროს მთელი მასის დაახლოებით 20%-ს. მასში თითქმის არ შეიმჩნევა წყლის ორთქლი და ღრუბლები, რომლებიც ნალექებს წარმოშობენ. ჰაერის ამ გარსში გაბნეულია ოზონის ფენები, რაც ინტენსიურად შთანთქავს მზის ულტრაიისფერ სხივებს და ათბობს ჰაერს. ამის გამო სტრატოსფეროში ტემპერატურა ზევით იწვეს და მეზოსფეროს ქვედა საზღვართან $+25^{\circ}$ -მდე აღწევს. შემდეგ ერთხანს ჩერდება და ქმნის სტრატოპაუზას. სტრატოპაუზის ზევით იმყოფება მეზოსფერო. იგი დედამიწის ზედაპირიდან ვრცელდება 80—85 კმ-ის სიმაღლემდე. ამ გარსში არ გვაქვს ოზონის ფენები. ამიტომ მასში ტემპერატურა სწრაფად ეცემა და თერმოსფეროს ქვედა საზღვართან მიწის 80—85-მდე ეცემა, აქ კი ერთხანს ჩერდება და ქმნის მეზოპაუზას.

ზევით იმყოფება თერმოსფერო. იგი ვრცელდება 800 კმ-ის სიმაღლემდე. აქ აზოტი და ყანგბადი ინტენსიურად შთანთქავს მზის ულტრაიისფერ სხივებს და ათბობს ჰაერს. ამიტომ მასში ტემპერატურა თანდათანობით ზევით იწვეს და ეგზოსფეროს ქვედა საზღვართან $+1000^{\circ}$ -მდე აღის. ეს ტემპერატურა დამახასიათებელია ანა თერმოსფეროს მთელი სივრცისა, ანამედ ცალკეული მოლეკულებისა და ნაწილაკებისათვის, რომლებიც აქ ერთმანეთთანაგან დაცილებულია დიდი მანძილით. თერმოსფეროში (ეგზოსფეროშიაც) ეს მოლეკულები დიდ მანძილზე გაქანების შედეგად ურთიერთს ეჯახებიან დიდი ენერგიით, სკვებიან ატომებად, იონებად და სხვა ნაწილაკებად და წარმოშობენ დიდ ტემპერატურას. მაგრამ ერაობლივად მათი რაოდენობის სიმცირის გამო ვერ ქმნიან დიდ ენერგიას ანუ სითბოს; დედამიწის ზედაპირზე კი მოკლე მანძილებით დაშორებული უამრავი მოლეკულის ურთიერთ შეჯახებით მიღებული ტემპერატურა დიდ სითბურ ენერგიას ქმნის. მაგალითად, თუ ზღვის დონეზე მოლეკულების დაჯახებისათვის საჭიროა მხოლოდ სანტიმეტრის რამდენიმე მემილიონედი ნაწილის გარბენა, 14 კმ სიმაღლეზე ეს მანძილი 0,0001 სანტიმეტრამდე იზრდება, 100 კმ-ზე ერთ მეტრს უდრის, ხოლო 300 კმ-ზე 10 კმ-ს აღწევს.

სულ ზევით მოთავსებულია ეგზოსფერო. იგი წამოადგენს მატერიის უაღრესად გაიშვიათებულ გარსს და ხასიათდება გაზების ნაწილაკების მალალი სიჩქარით გამოწვეული დიდი მუდმივი ($+1500$ გრადუსი) ტემპერატურით, მაგრამ არაშესაბამისი ენერგიით—სითბოთი. უქანასკნელი გამოკვლევების მიხედვით ამ გარსში წყალბადის ატომები დაშლილია ელექტრონებად და პროტონებად. ჰაერის წნევა თითქმის არ შეიმჩნევა. ამ გარსის ფარგლებში მყოფი გაზებას ნაწილაკები, სძლევენ რა დედამიწის მიზიდულობის ძალას. დროთა ვითარებაში იფანტება სამყაროს სივრცეში და იწყებს მოგზაურობას კოსმოსში.

ამრიგად, ატმოსფეროს ქვედა ფენებში ტემპერატურის განაწილება და მოკიდებულია დედამიწის გეოგრაფიულ სარტყლებზე. დედამიწის ზედაპირზე კი იგი აგრეთვე დამოკიდებულია ამ ზედაპირის რელიეფსა და ხმელეთისა და ზღვების განლაგებაზე. ამიტომ იგი სხვადასხვა ადგილზე სხვადასხვანაირია. ტემპერატურის არათანაბარი განაწილება იწვევს ატმოსფეროს წნეების არათანაბრად განაწილებას, რომელთა აღრიცხვა და გაზომვა ერთ-ერთი უაღრესად ღიღინიშნელოვანი საკითხია დედამიწის ზედაპირისა და მიწისქვეშა სივრცის აგეგმვისა და ატმოსფეროს საერთო ცირკულაციის შესწავლის დროს.

კოსმოსური დაკვირვებების დროს ღიღ დაბრკოლებას იწვევს ატმოსფერო, განსაკუთრებით ტროპოსფერო, სადაც, როგორც ვთქვით, თავმოყრილია ატმოსფეროს მთელი მასის 79,5%. ამიტომ თანამედროვე მეცნიერები ღიღ მუშაობას ეწევიან დაკვირვებებისათვის გამოყენებულ იქნეს მთვარის ზედაპირი, რომელზეც, უნდა მოველოდეთ, მოზაეალში გაიხსნება საუკეთესო ობსერვატორიები და უნივერსალური ფიზიკური ლაბორატორიები. როგორც ცნობილია, მთვარეზე ყოველი საგანი იწონის ექვსჯერ ნაკლებს, ვიდრე დედამიწაზე. მაშასადამე, მთვარეზე შეიძლება გაშენდეს დედამიწასთან შედარებით უაღრესად ღიღი ტელესკოპები. ამიტომ იბრძვის კაცობრიობა მთვარის დასაპყრობად.

ბ. ჰიდროსფერო¹

ჰიდროსფერო წარმოადგენს დედამიწის წყვეტილ გარსს მსოფლიო ოკეანისა (ოკეანეები და ზღვები) და კონტინენტებზე არსებული წყლის აუზების (ტბები, მდინარეები) ერთობლიობის სახით. მაგრამ მასში მეტწილად გულისხმობენ ზღვებსა და ოკეანეებს. ამ გაგებით ჰიდროსფეროს უჭირავს დედამიწის ზედაპირის 70,8% ჩაღრმავებული ადგილები, რომლის შესაბამისი სივრცით იგი ესაზღვრება ატმოსფეროს. ჰიდროსფეროს მოცულობა 1370,3 მლნ კმ³ აღწევს, რაც დედამიწის მოცულობის 0,125% უდრის (ცბრილი 1)². მისი მასაა 1,40 · 10¹⁸ ტ, საიდანაც 98,00% თავმოყრილია ოკეანეებში, 1,55% კონტინენტების პლა-

ცბრილი 1. 1. 1. 1

ოკეანეები	ზედაპირის ფართობი (მლნ. კმ ²)	%	მოცულობა (მლნ. კმ ³)	საშუალო სიღრმე, მეტრობით	უდიდესი სიღრმე, მეტრობით
წყნარი	179,679	50	723,699	4029	11521
ატლანტის	93,363	25	347,699	3926	9211
ინდოეთის	74,917	21	291,945	3897	7460
ჩრდილო ყინულოვანი	13,100	4	16,180	1235	5220
მსოფლიო ოკეანე	361,659	100	1370,323	3735	11521

რული. სივრცეების ყინულს წარმოადგენს, ხოლო 0,45% მტკნარ წყალსა, ტბებებსა და ტბებზე მოდის.

1 „ჰიდრო“ (ბერძენ.) — წყალი.

2 პარაგრაფის კითხვის დროს თუ მითითებულია, ვთქვათ (1. 1. 1. 1) ფორმულა (მაგალითი, ცხრილი ან ნახაზი), ეს ნიშნავს პირველ ტომს, პირველ თავს, პირველ პარაგრაფს და პირველ ფორმულას (მაგალითს, ცხრილს ან ნახაზს). ხოლო თუ მითითებული იქნა (1) ფორმულა (მაგალითი, ცხრილი ან ნახაზი), ნიშნავს იმავე პარაგრაფის პირველ ფორმულას (მაგალითს, ცხრილს ან ნახაზს). პარაგრაფის მითითების დროს იწერება, მაგალითად, 1. 1. 6, რაც ნიშნავს პირველ ტომს, პირველ თავს და მეექვსე პარაგრაფს.

ოკეანეების ფსკერის რელიეფი ხმელეთის რელიეფთან შედარებით უფრო „მშვილია“, მაგრამ ზოგ ადგილას ის მეტისმეტად უსწორმასწოროა და წააგავს ოკეანეებში „ჩაძირულ“ მთაგორიან რელიეფს. ოკეანეების ფსკერის რელიეფში გამოყოფენ: შელ ფს ანუ კონტინენტურ თავთხელს (ნარჩევს), კონტინენტურ ფერდობს, ოკეანის სადინარებს და ოკეანურ ღრმულებს.

კონტინენტური თავთხელი ეწოდება მატერიკის წყალქვეშა გრძელებას. იგი ვრცელდება 200 მ-ის სიღრმემდე. ეს თხელი წყლის ზოლი უშუალოდ ერტყმის ხმელეთს და იმეორებს მის კონფიგურაციას, მაგრამ მის ფსკერზე მთელ რიგ ადგილებში მოთავსებულია წყალქვეშა ხეობები, სერები, ბორცვები, მცირე ზომის ტაფობები და რელიეფის სხვა ფორმები.

კონტინენტური ფერდობი მატერიკის გვერდია. იგი ვრცელდება 200 მ-დან 2400—3000 მ-ის სიღრმემდე და აქა-იქ მოიცავს წყალქვეშა კანიონებს, მთების გაგრძელებებსა და რელიეფის ზოგიერთ სხვანაირ წარმონაქმნებს.

ოკეანურ სადინარებს უჭირავს შედარებით დიდი სივრცე. იგი აღწევს 6000 მ-ის სიღრმემდე და მეტწილად ვაკეა, მაგრამ აქა-იქ მასზე მოთავსებულია წყალქვეშა ქედები, კუნძულები, პლატოები, ტაფობები, ლარები და რელიეფის სხვა ფორმები.

ოკეანურ ღრმულებს უკავია 6000 მ-ზე ღრმა ადგილები, არსებითად იგი არის ვიწრო და ღრმა ლარტაფები, რომელთა სიგრძე ზოგჯერ ასეულ კილომეტრებს უდრის.

შელში მეტწილად დაფარულია მდინარეების შემოტანილი და ტალღების მიერ ხმელეთიდან მონგრეული მასალით, აქა-იქ კი—ორგანული კირქვებითა და სხვა კარბონატული ქანებით. კონტინენტური ფერდობის ზედაპირზე არსებითად გავრცელებულია სხვადასხვა მიკროორგანიზმის ნაქუქებისაგან აგებული შლამები, ოკეანის ფსკერის ქვეშ დედამიწის ქერქის სისქე შედარებით მცირეა და არ არის გრანიტული ფენა (უკანასკნელი არის კონტინენტური ქერქის დამახასიათებელი ელემენტი), სამაგიეროდ ბაზალტური შრე უწყვეტლივ ვრცელდება და მისი სისქე საშუალოდ 5—8 კმ-დე აღწევს.

ოკეანეებს ახასიათებს წყლის შემდეგი სახის მოძრაობები: მიმოქცევა, დინებები, დელტა და ვერტიკალური ცირკულაცია.

მიმოქცევა არსებითად გამოწვეულია მთვარის მიზიდულობით. მას მოძრაობაში მოჰყავს ოკეანის მთელი წყალი. მისი ტალღების სიდიდე დამოკიდებულია აუზის სიდიდეზე, სიღრმეზე, ხმელეთის სიახლოვესა და ნაპირის მოყვანილობაზე. იგი ზოგან დღე-ღამეში ხდება ერთხელ, ზოგან ორჯერ, აქა-იქ კი ოთხჯერ.

დინებები გამოწვეულია სხვადასხვა ადგილზე წყლის განსხვავებული სიმკვრივეებითა და გაბატონებული მიმართულების ქარებით. იგი შეიძლება იყოს ზედაპირზე და ფსკერზედაც. პირველის კარგ მაგალითს წარმოადგენს გოლფსტრიმი, რომელიც იწყება მექსიკის უბეში და ჩრდილო ყინულოვან ოკეანეში შედის.

დელტა ძირითადად გამოწვეულია ქარის მიერ. ხანდახან კი ხდება წყალქვეშა მიწისძვრებისა და ჩამოქცევების შედეგად.

ოკეანეების წყლებს დედამიწის შიგა სითბო ძლიერ მცირედ ათბობს. გათბობის ძირითადი წყაროა მზის სხივები, რომელთაც წყალი ძლიერ შთან-

თქავს. ოკეანეთა ზედაპირების სიბოზს ბალანსის ანგარიშზე ტემპერატურის სეზონური ცვალებადობა ხდება 50 - 100 მ სიღრმის ფარგლებში. 100 მეტრიდან 200—500 მეტრამდე ტემპერატურა მცირედ იცვლება, ხოლო 500 მეტრის შემდეგ სიღრმეებში $+1^{\circ}\text{C}$, $+2^{\circ}\text{C}$ -მდე იცვლება. ეკვატორიდან ცოტა ჩრდილოეთით ოკეანეთა ზედაპირის ტემპერატურა $+28^{\circ}\text{C}$ -მდეა, ხოლო ჩაკეტილ ზღვებში $+32^{\circ}\text{C}$ -მდე აღწევს; პოლარულ სარტყლებში $1^{\circ}, 5\text{C}$ — $1^{\circ}, 9\text{C}$ -მდეა. ზედაპირიდან შედარებით ღრმა ადგილებში სიბოზს გავრცელება ნელი ტემპით მიმდინარეობს; მაგალითად, 200 მ სიღრმეზე ხშირად შეიმჩნევა, რომ ზაფხულის დამლევს ტემპერატურა დაბალია, ხოლო ზამთარში ყველაზე მაღალია. სიბოზსა და მარილის გავრცელებაზე დიდ გავლენას ახდენს ოკეანეთა მიმოქცევა, წყლის ვერტიკალური ცირკულაცია, დინებები და ლევა.

ოკეანეების დონე განსაკუთრებით ცვალებადია სანაპიროებთან. ცვალებადობა ხდება პერიოდულად და არაპერიოდულად. დონის პერიოდული ცვალებადობის მთავარი მიზეზია მისი სეზონური ცვალებადობა და მიმოქცევა. სეზონურ ცვალებადობას იწვევს ატმოსფეროს წნევის, ქარების, წყლის სანაპირო დინებისა და ზღვის წყლის სიმკვრივის ცვალებადობა. დონის პერიოდულ ცვალებადობაზე სეზონური ცვალებადობის გავლენა მეტოა ოკეანეთა გაშლილ სივრცეებიდან შოშოვრებულ ზღვებში, ხოლო ოკეანეთა გაშლილ სივრცეებში წყლის დონის პერიოდულ ცვალებადობაზე უფრო გავლენას ახდენს მიმოქცევის მოვლენა.

ოკეანეებში გვხვდება ორგვარი სახის ყინული: მატერიკებიდან შემოსული (აისბერგები) და ზღვის გაყინვით მიღებული. იგი ხელის შემშლელია ზღვაოსნობისა და საერთოდ დიდ გავლენას ახდენს სიბოზურ რეჟიმზე, მარილიანობაზე, ფაუნაზე და სხვა.

ზღვებსა და ოკეანეებში ფაუნა გავრცელებულია მთელ სიღრმეზე, ფლორა კი მხოლოდ კარგად განათებულ ზოლში და 200—300 მეტრზე ღრმად ვერ აღწევს. ჰიდროსფერო ის გარემოა, სადაც წარმოიშვა სიცოცხლე. მას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე დედამიწის ფორმის ზომებისა და მისი შედგენილობის განსაზღვრის საქმეშიაც.

ა. მყარი ტანი

დედამიწის მყარი ტანი შედგება მრავალი ფენისაგან, მაგრამ მას წარმოადგენენ სამი ძირითადი გარსის სახით, როგორცაა: ლითოსფერო, შუალედი გარსი ანუ მანტია და ცენტროსფერო ანუ გულო.

ლითოსფერო ანუ დედამიწის ქერქი წარმოადგენს ზედა მაგარ გარსს, რომლის სისქე 5-დან 80 კმ-მდე აღწევს (სქელია კონტინენტების ფარგლებში და თხელი—ოკეანეების ფსკერზე). მას ზემოდან საზღვრავს ატმოსფერო და ჰიდროსფერო, ქვემოდან კი ზედა მანტია. ლითოსფერო შედგება კონტინენტური ბელტებისა და ოკეანური აუზებისაგან. არჩევნ ექვს მატერიკს ანუ კონტინენტს (ცხრ. 2) და ოთხ ოკეანეს (ცხრ. 1).

ქალაქზე გამოსახვის მიზნით დედამიწის ხილულ ზედაპირს სათანადო ხერხით, წარმოადგენით (ორთოგონალურად) აგვემილებენ სფეროიდის ან სფეროს ზედაპირზე და შემდეგ აწარმოებენ მის განშლას ქალაქზე რუკების სა-

ხით. როგორც (1) და (2) ცხრილებიდან ჩანს, დედამიწის ნამდვილი ზედაპირის სფეროიდის ზედაპირზე ორთოგონალური გეგმილის შესაბამისი ფართობი დაახლოებით იქნება 510 მლნ კმ². აქედან მსოფლიო ოკეანეს უკავია 361 მლნ კმ² (70, 8%), ხმელეთს კი 149 მლნ კმ² (29,2%).

შუალედო გარსი ანუ მანტია მდებარეობს ლითოსფეროსა და გულს შორის და 2900 კმ-ის სიღრმემდე აღწევს. მას ყოფენ ზედა, შუა და ქვედა მანტიად.

ზედა მანტიას უწოდებენ იმ გარსს, რომელიც ქვემოდან ესაზღვრება დედამიწის ქერქს. მისი სისქე 700—800 კმ აღწევს. ძირითადად ეს გარსი ახდენს გავლენას დედამიწის ქერქის როგორც სიმკვრივის, ისე შედგენილობის ცვალებადობაზე. მაგალითად, გეოდენზიურ-გეომორფოლოგიური, გეოლოგიური, გეოფიზიკური და გეოქიმიური კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ

ცხრილი 1. 1. 2. 2

№№	მატრიკების დასახელება	ფართობი (მლნ. კმ ²)	საშუალო სიმაღლე (მ)	უდიდესი სიმაღლე (მ)
1.	ევროპა	11,009	300	5634
	აზია	41,849	950	5642
2.	აფრიკა	2,584	650	8010
3.	ჩრ. ამერიკა	24,259	700	6187
4.	სამხ. ამერიკა	18,280	600	7040
5.	ავსტრალია			
	ოკეანათი	8,963	100	5030
6.	ანტარქტიდა	14,000	2000	6000
	ხმელეთი	148,791	746	8982

ზედა მანტიის მასის შემადგენლობაში ნივთიერებათა დიფერენციაციის, ანუ ენდოგენური პროცესების, გამო ხდება დედამიწის ქერქის (ლითოსფეროს) სისქის როგორც გაზრდა, ისე შემცირება; ამავე დროს მისი ქვედა შრეები იცვლება ზედა მანტიის უფრო მძიმე და მკვრივი მასალებით. გარდა აღნიშნულისა, დედამიწის ქერქის თარაზული მოძრაობა ხდება მთლიანად ზედა მანტიის შრეებთან ერთად. მაშასადამე, დედამიწის ქერქის ყოველგვარი ცვალებადობა უშუალოდ დაკავშირებულია მხოლოდ და მხოლოდ ზედა მანტიის ფარგლებში მომხდარ გეოლოგიურ და გეოქიმიურ ცვალებადობასთან. შემოხსენებულის გამო დაისვა საკითხი დედამიწის ქერქისა და ზედა მანტიის კომპლექსური, ანუ გეოლოგიური, შესწავლის შესახებ.

შუა და ქვედა მანტია სისქით დაახლოებით 2000 კმ-ია. მის ქვეშ ძევს გული, რომლის რადიუსი 3400—3500 კმ-ია. მას ბაროსფეროს, ანუ ცენტრისფეროს უწოდებენ. მისი შემადგენლობა ჯერჯერობით შესწავლილი არ არის, მხოლოდ გულისხმობენ, რომ ის თხევადია. საერთოდ ცნობილია, რომ ტემპერატურა დედამიწის ქერქში ყოველ 100 მეტრ სიღრმეზე დაახლოებით 3°C-ით მატულობს, ხოლო უფრო მეტ სიღრმეებში შედარებით ნაკლებად იზრდება და გულში არ აღემატება 5000°C.

დედამიწის მყარი ტანის ფიზიკურ სიდიდეთა შესახებ ზოგიერთი მიახლოებითი ცნობა მოცემულია (3) ცხრილში. იმის გამო, რომ სიღრმის შესაბამისად წნევა მატულობს, მაღალი ტემპერატურა დედამიწის გულის აგრეგა-

ტულ მდგომარეობაზე გავლენას ვერ ახდენს და იქ სივითერება ფოლაღზე უფრო მკვირივი უნდა იყოს.

დედამიწის ერთ-ერთ გარსს წარმოადგენს აგრეთვე ბიოსფერო¹. ეს ის გარსია, რომელშიაც მიმდინარეობს სიცოცხლე (ფაუნა და ფლორა). იგი მოიცავს ტროპოსფეროს, მთელ ჰიდროსფეროს (გარდა მაღალტემპერატურიანი და ზემეტად მარილიანი წყლებისა) და ლითოსფეროს სულ ზედა ნაწილს

ცხრილი 1. 1. 2. 3

სიღრმე დედამიწის ზედაპირიდან (კმ)	სეისმური ტალღების სიჩქარე (კმ/სეკ)		სიმკვრივე ტ/მ ³	წნევა (მლნ. ბარ.)	სიმძიმის ძალა (ათასგაღ.)
	გრძივი	განივი			
640	10,5	5,8	4,3	0,2	0,98
1280	11,8	6,6	4,7	0,5	0,98
1920	12,7	6,9	5,1	0,9	0,98
2560	13,5	7,2	5,4	1,2	1,01
3200	8,5	—	10,1	1,6	0,97
3840	9,3	—	10,8	2,2	0,81
4480	10,0	—	11,4	2,7	0,62
5120	10,0	—	11,9	3,2	0,43
5670	11,3	—	12,1	3,4	0,21
6400	11,3	—	12,2	3,5	0,00

3-4 კმ-ის სიღრმემდე (გარდა მოქმედი ვულკანების კრატერებისა და გაუცხვებელი ლავისა). ბიოსფეროზე როგორც დადებით, ისე უარყოფით გავლენას ახდენს მზე, რაც თანამედროვე მეცნიერების შესწავლის საგანია.

ბ. დედამიწის სოციალური ელემენტი

დედამიწის სოციალურ ელემენტს ვუწოდებთ კაცობრიობას, განლაგებულს ქვეყნიერებაზე სხვადასხვა ეროვნებისა და მოსახლეობის სახით.

ც. დედამიწის ეკონომიური ელემენტები

დედამიწის ეკონომიურ (ხელოვნურ) ელემენტს ვუწოდებთ ყველაფერს მატერიალურს, რაც კაცობრიობის მიერ არის შექმნილი, მაგალითად, დედამიწის ეკონომიური ელემენტებია მიწაზე და მიწაში ან დედამიწის ატმოსფეროში არსებული ბუნებრივი სიმდიდრის მოპოვება-დამუშავებისათვის ნებისმიერი სახის სამრეწველო, კავშირგაბმულობის და საგზაო, სოფლის მეურნეობის, განათლების, სამედიცინო, სამხედრო ობიექტები და სხვა მრავალი საქალაქო და სასოფლო-სამეურნეო ხელსაწყო-იარაღები და ნაგებობანი.

დედამიწის ბუნებრივ, სოციალურ და ეკონომიურ ელემენტებს უწოდებენ დედამიწის ფიზიკურ ელემენტებს ანუ მოკლედ—დედამიწის ელემენტებს. სახალხო სამეურნეო თვალსაზრისით კი დედამიწის ელემენტებად იგულისხმება ქვეყნის საწარმოო ძალები ანუ შრომის საშუალებანი და ადამიანები.

1 „ბიოს“ (ბერძნ.)—სიცოცხლე.

2 „ბაროს“ (ბერძნ.)—წონა, ანუ ის წნევა, რომელიც უდრის 10⁶ დინ/სმ².

**D. დედამიწის ფიზიკური და ხილული ზედპირი, დედამიწის ნაპოვნი
სახე, წილი, ადგილი, ფულიადები**

ლითოსფეროს ზედაპირი შედგება ხილული და უხილავი ნაწილები-
ბისაგან. მისი რელიეფი მეტად რთულია და მას უწოდებენ დედამიწის
ფიზიკურ ზედაპირს. ამ ზედაპირის ხილულ ნაწილს, რომელიც ზემოდან
ატმოსფეროთა შემოსაზღვრული ჰიდროსფეროს ნაწილის (წყლის აუზები,
ტბები, მდინარეები, მათი ფაუნა და ფლორა) ჩათვლით, კუნძულებითურთ
ხმელეთის ანუ კონტინენტების ზედაპირი ჰქვია. როგორც
აღნიშნულ, ხმელეთის უდიდეს უბნებს ეკვსი მატერია წარმოადგენს (ცხრ. 2).
დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის უხილავი ნაწილია მსოფლიო ოკეანის
ძირი ანუ ფსკერი. მისი რელიეფის დადგენა ხდება სიღრმეების გაზომვით.
ხმელეთისა და მსოფლიო ოკეანის ზედაპირს ერთად დედამიწის ხილულ
(ნამდვილ) ზედაპირს უწოდებენ, ამ ზედაპირს მთლიანად დედამიწის ნა-
მდვილი სახე ანუ დედამიწის ფიგურა ჰქვია. დედამიწის ფიზი-
კური ზედაპირის შიგა, უხილავ ნაწილს წილი ეწოდება.

მიწაზე თუ მიწაში (წიაღში) შესასწავლად გამიზნულ ანუ
სიერცის განხილად ნაწილს, რომელიც მოიცავს დედამიწის ელემენ-
ტებს, ადგილს უწოდებენ.

გარკვეული მიზანდასახულობის გამო ადგილის ყველა ელემენტის ქა-
ლალზე გამოხაზვა და შესწავლა არ არის საჭირო. იმ ელემენტებს, რომელ-
თა შესწავლა და ქალაღზე გამოხაზვა საჭირო, უწოდებენ შესატანებს
ანუ წვლილადებს.

E. ადგილის ტოპოგრაფიული მლენებები

ადგილის უკეთ შესწავლის მიზნით, წვლილადების ცნების შესაბამისად.
დედამიწის ელემენტებს ანუ ქვეყნის საწარმოო ძალებს
გეოდეზიაში უწოდებენ ადგილის ტოპოგრაფიულ ელემენტებს.

ადგილის ტოპოგრაფიულ ელემენტებს მიეკუთვნება: *ა.* რელიეფი ანუ
ტოპოგრაფიული ზედაპირი; *ბ.* ქანები, გრუნტები, ნიადაგი და
ლითოსფეროს ობიექტები; *გ.* ჰიდროგრაფიის ანუ მიწის ზე-
დაპირული წყლები (ფლორითა და ფაუნით) შესაბამისი ობი-
ექტებით; *დ.* მცენარეულობა ანუ ფლორა და შესაბამისი ობი-
ექტები; *ე.* საგზაო ქსელები (რკინის, საავტომობილო და
სხვა) და *ფ.* დასახლებული პუნქტები (სამრეწველო ცენტრე-
ბი, ქალაქები, სოფლები და სხვა დასახლებები).

ზემოხსენებული ტოპოგრაფიული ელემენტების ერთობლიობას, რომელთა
გამოხაზვა ქალაღზე და შესწავლა საჭირო და რასაც წვლილადები ვუწო-
დეთ, ზმირად მოიხსენიებენ ადგილის ტოპოგრაფიის (სიტუაციის)
სახელით; აგრეთვე ჰიდროგრაფიის, მცენარეულობის, საგზაო ქსელებისა და
დასახლებული პუნქტების ცალკეულ ობიექტებს და ზოგიერთ საგნებს, რო-
მელთაც საორიენტაციო მნიშვნელობა (ძეგლები, ობელისკები, გზის მაჩვენებ-
ლები და სხვა) აქვთ, უწოდებენ ადგილობრივ საგნებს.

ადგილის ტოპოგრაფიული ელემენტები წარმოადგენს ერთიან კომპლექსს,
ისინი ურთიერთ ახდენენ ზეგავლენას. მაგალითად, რელიეფი გავლენას ახდენს
ნიადაგის, მცენარეთა საფარის, ჰიდროგრაფიული და საგზაო ქსელების განა-

წილებაზე; ნიადაგები კი, თავის მხრივ, გავლენას ახდენს მცენარეთა საფარის ხასიათზე. გზების ხარისხზე, მიწისქვეშა წყლების მდებარეობის სიღრმეზე და სხვა.

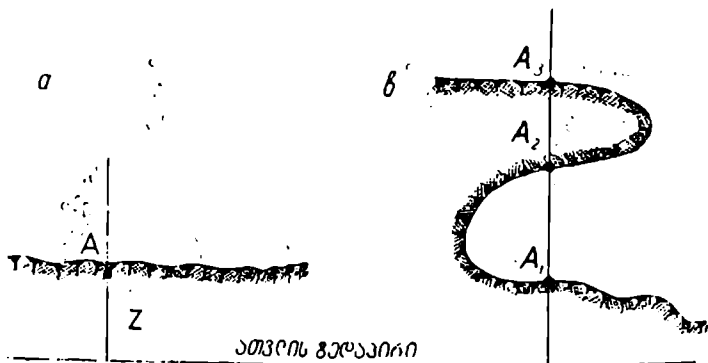
ადგილი მუდამ ცვალებადობას განიცდის როგორც დედამიწის მოძრაობების, ისე სხვადასხვა გეოლოგიური და სხვა ბუნებრივი პროცესების გავლენათ (ტბების დაშრობა, მდინარეების გამეჩინიანება, ვულკანებისა და კუნძულების წარმოშობა და სხვა), აგრეთვე ადამიანის განუწყვეტელი ზემოქმედების შედეგად (წიაღისეულის ექსპლოატაცია, ქალაქების, სამრეწველო ცენტრების, გზების, კავშირგაბმულობის, წყალსაცავების მშენებლობა. ჭაობების დაშრობა და სხვა). გარდა ზემოხსენებულისა, ადგილი პერიოდულად იცვლება სეზონური კლიმატური პირობების გავლენით. წლის სეზონის ცვლის შესაბამისად (ზამთარი, ზაფხული, შემოდგომა, გაზაფხული) ხდება ღრმა ხარისხობრივი ცვალებადობა ადგილის ელემენტებისა და საერთოდ ადგილისა. აღნიშნულის გამო ადგილის შესწავლისათვის ყოველთვისაა საჭირო შესაძლო სეზონურ-კლიმატური და სხვა ცვალებადობის მხედველობაში მიღება.

ადგილი უდიდეს გავლენას ახდენს სამხედრო ამოცანების ამოხსნის საქმეზე. სხვა დანარჩენ ტოლ პირობებში საბრძოლო მიღწევები დამოკიდებულია იმაზე, თუ ვინ როგორი სისწრაფითა და სისწორით შეისწავლა და გამოიყენა ადგილი.

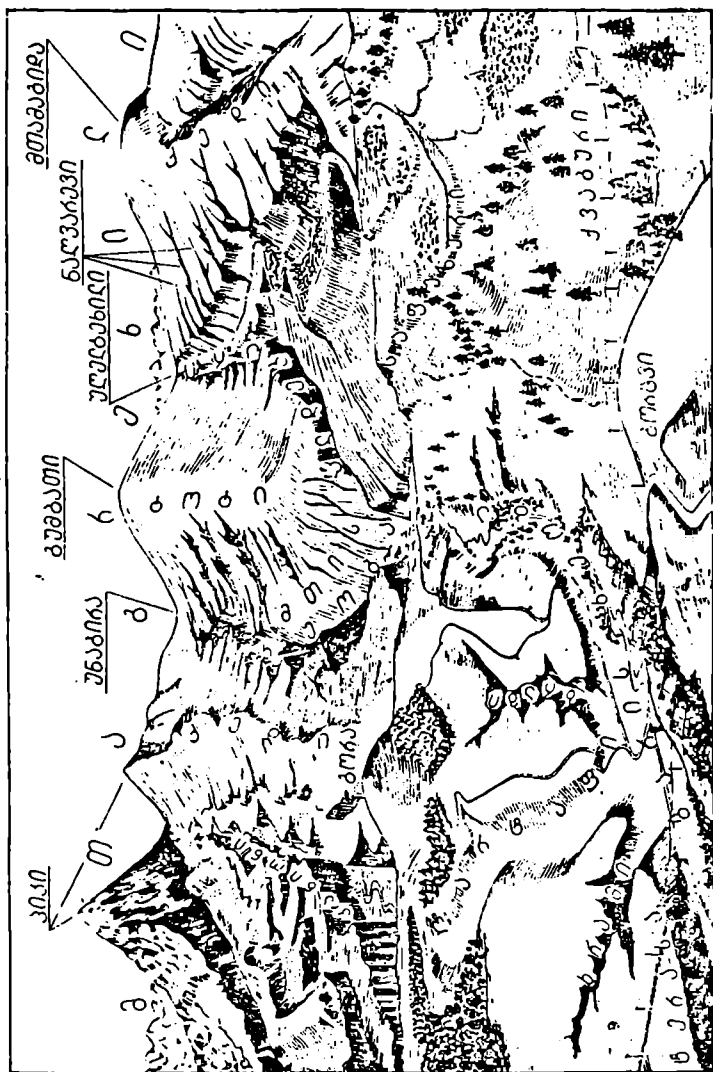
მოკლედ განვიხილოთ ადგილის ტოპოგრაფიული ელემენტები.

ა. ტოპოგრაფიული ზედაპირი (რელიეფი—დედამიწის ბუნებრივი ელემენტები)

ტოპოგრაფიულ ზედაპირს, ანუ რელიეფს, უწოდებენ დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის უსწორმასწორობათა ისეთ ერთობლიობას, რომელსაც ნებისმიერი ვერტიკალური წრფე ჰკვეთს მხოლოდ ერთ წერტილში (ნა. 1). ნახ. 1^ა ტოპოგრაფიული ზედაპირია, ხოლო ნახ. 1^ბ ტოპოგრაფიული ზედაპირი არ არის (იგი საერთოდ დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ნაწილია). ტოპოგრაფიული ზედაპირის გამომსახველი $z=f(x, y)$ ფუნქცია ხასიათდება ცალსახობით, სასრულობით, უწყვეტობითა და მდოვრულობით.



ნახ. 1. 1. 2. 1.



ნახ. I 1. 2. 2.

ღეღამის ფიზიკური ზედაპირის ცალკეულ უსწორმასწორობებს, რომელთაც აქვთ გარკვეული გარეგანი სახე. უწოდებენ რელიეფის ანუ ტოპოგრაფიული ზედაპირის ფორმებს. რელიეფის ძირითადი ფორმებია (ნახ. 2):

1. გორა — ტოპოგრაფიული ზედაპირის მრგვალად ამოღებული ნაწილი. რომელიც იზოლირებულად არის აღმართული მეტნაკლებად ვაკე ადგილზე და შემოსაზღვრულია მკვეთრად გამოსახული ფუთით. მისი ელემენტებია: მწვერვალი, ქალთები (ფერდობები) და ფუძე ანუ ხაზი, რომლითაც კალთები გამოყოფილია ვაკე ზედაპირისაგან. მწვერვალი გორის ყველაზე ამოღებული ნაწილია. იგი შეიძლება იყოს წვეტიანი, მომრგვალებული და ბრტყელი. პირველს უწოდებენ პიკს, მეორეს — გუმბათს, მესამეს — თამაგის დას. ასევე ფერდობები შეიძლება წაგავდეს სიბრტყეს, ამოზრდულ ან ჩახნეჭილ ცილინდრს ან დაღარულ ზედაპირს.

პატარა გორას ბორცვი ანუ გორაკი ჰქვია. ხელოვნურ ვორაკს რომელიც შექმნილია სასარგებლო წიაღისეულის ექსპლოატაციით, უწოდებენ ნაყარს, საფლაზე, ან საზღვარზე აღმართულს კი — ყორღანს. 200 მ-მდე სიმაღლის, მაგრამ დამრეცკალთებიან და ბრტყელ ან ამოზნეჭილმწვერვალიან წაგრძელებულ მაღლობს, რომელსაც არა აქვს მკვეთრად გამოსახული ფუძე, ბეჭობი ჰქვია.

2. მთა — ტოპოგრაფიული ზედაპირის 200 მ-ზე მეტად ამოღებული წაგრძელებული ნაწილი. მისი ელემენტებია: თხემი (ზედა ნაწილი), ფერდობები და ძირი. მთის თხემი შეიძლება წარმოადგენდეს წიბოსებრ ამოღებულ ზედაპირს, რომლის უმაღლესი ზოლი წყალგამყოფი ხაზია და უწოდებენ დადებით ინვარიანტულ (დამახასიათებელ) ხაზს. მთის თხემი შეიძლება წარმოადგენდეს აგრეთვე თაღისებურ (ამოზრდულ) ან ჩახნეჭილ ზედაპირს. მრავალნაირია მთის ფერდობებიც. უფრო მეტად იგი დაღარულია. მთა შეიძლება მცირე განშტოებითაც ხასიათდებოდეს.

3. ტაფობი, ქვაბური — ტოპოგრაფიული ზედაპირის მოგრძო, მომრგვალო ან ოვალური ფორმის ჩაღრმავებული უბანი; მისი ელემენტებია: ძირი, ფერდობები და პირი, რომელიც წარმოადგენს საზღვარს რელიეფის სხვა ფორმასა და ტაფობს შორის. ტაფობები ხშირად შევსებულია წყლით და წარმოადგენს ტბას. მცირე, მომრგვალო ტაფობს ლამბაქი ან ორმო ჰქვია, ხელოვნურ ქვაბურებს, მაგალითად, პილროტენიკური ნაგებობების მშენებლობების დროს, უწოდებენ თხრილებს.

4. ქედი — ტოპოგრაფიული ზედაპირის დახრილი გრძელი, ამოღებული ნაწილი. მისი ელემენტებია: თხემი და ქალთები. თხემის უმაღლესი ხაზი წყალგამყოფია. მას უწოდებენ დადებით ინვარიანტულ ხაზს. ფერდები ხშირად დაღარულია. დადებით ინვარიანტულ ხაზზე დგომისას ზედაპირი ჩვენგან სამი მხრივ დაბლდება, ერთი მხრივ კი მაღლდება.

5. დელე, ღარტაფი — ტოპოგრაფიული ზედაპირის დახრილი, გრძელი, ჩაღრმავებული ნაწილი. მისი ელემენტებია ფერდობები და წყლის სადენი უმაღლესი ხაზი ანუ ტალღევი. ღარტაფის ფერდობები ხშირად ქედის ფერდობებია. წყალსადენ ხაზს უწოდებენ უარყოფით ინვარიანტულ ხაზს. ამ ხაზზე თუ დაედგებით, ჩვენგან სამივე მხრივ იქნება ამოღლება და ერთის მხრივ დაბლდება. მეტნაკლებად ღრმა დელეა, რომელიც შექმნილია ფხვიერ ქანებში ღვარების მოქმედების შედეგად, უწოდებენ ხრამს.

მთებს შუა შექმნილ წაგრძელებულ ჩაღრმავებას უწოდებენ მთის ხეობას. არის აგრეთვე ბარის ხეობა და მის ფართო მოვაკებულ ფსკერს, რომელიც წყალდიდობის დროს იფარება წყლით, კალას ან მერეთს უწოდებენ.

ბარის ხეობის ვიწრო, შეველკედლებიან ნაწილს, სადაც თითქოს უკრძალავდა ორი მთა და გადის მდინარე, უწოდებენ გასასვლელს. კლდე-კარს ანუ ვიწრობს.

ვიწრო, ღრმა, შეველკედლებიან მთის ხეობას, რომელიც დიდ მანძილზე ვრცელდება, უწოდებენ კანიონს.

6. უნაგირა—ტოპოგრაფიული ზედაპირის დაბალი, დაახლოებით ვაკე ან ჩაზნექილი მოედანი ქედის ორ მწვერვალს შორის, სადაც უმრავლეს შემთხვევაში იწყება ორი ღელე და ერთმანეთს ხვდება ორი ქედი. მას ინვარიანტულ მოედანს უწოდებენ.

7. ტერასა—ფერდობებზე საფეხურისებურად გამოყოფილი მოკეცებული ადგილი. მდინარის ნაპირებზე არადიდი სივრცის მომცველ ადგილსაც ზოგი ტერასას უწოდებს.

8. მთაგრეხილი—ერთმანეთთან გადაბმული მთები ანუ მთებისა და ნაოკა ზონების მიმართებით დიდ მანძილზე ხაზობრივად წაგრძელებული მაღლობი. მისი ელემენტებია: უმაღლესი ხაზი ანუ თხემი (ხერხემალი), მთების განშტოებები და სხვა. თხემის ჩაზნექილ ნაწილს უწოდებენ უღელტეხილს ანუ გადასასვლელს. თუ თხემი ვაკეა, მაშინ მას ჰქვია ხეგანი.

9. კვების აუზი—მთაგრეხილებსა და მთების წყალგამყოფ ხაზებს შორის მოქცეული ის ზედაპირი (სივრცე), რომელიც ატმოსფერული ნალექებით ამარაგებს მასში არსებულ მდინარეებს, ტბებს ან სხვა რომელიმე წყალსაცავს.

რელიეფის დამახასიათებელ კლუს წერტილებად ითვლება გორის წერო, ტაფობის ძირი და უნაგირას უდაბლესი ადგილი, აგრეთვე ის წერტილები, სადაც აღმართი და დაღმართა ურთიერთიცვლება. დამახასიათებელ ხაზებს კი წარმოადგენს წყალგამყოფი და წყალსაერთი ანუ ინვარიანტული ხაზები.

როგორც აღვნიშნეთ, რელიეფი მუდამ ბუნებრივ ცვალებადობას განიცდის. ამის მიზეზია სხვადასხვა გეოლოგიური მოვლენები. მაგალითად, დედამიწის შიგა (ენდოგენური) გეოლოგიური პროცესების შედეგად მის ზედაპირზე ჩნდება მრავალნაირი უსწორმასწორობები, ხოლო გარე (ეგზოგენური) გეოლოგიური პროცესები ახდენს მის მოსწორებას. მაშასადამე, შიგა და გარე გეოლოგიური პროცესები მუდამ ურთიერთზემოქმედებაში იმყოფება.

ბ. ქანები, გრუნტები (მიწა) და ნიადაგები

(დედამიწის ბუნებრივი ელემენტები)

სიმძიმის ძალის საშუალო განაწილებიდან გაღარისა (ანომალიის) და მიწის ძვრის მოვლენებით (სეისმური) გამოწვეული ტალღების შესწავლით დადგენილია, რომ დედამიწის ქერქს მატერიკების მასივების შესაბამის სივრცეზე ოკეანეების შესაბამის სივრცესთან შედარებით განსხვავებული სიძვერე და აგებულება აქვს. დედამიწის ქერქის ზედა ფენა წარმოადგენს მინერალური და ორგანიკული მასების მრავალფეროვან ერთობლიობას. უმთავრესად კი იგი დანალექი ქანებასაგან (კარქები. ქვიშა, თიხა, ტორფი და სხვა) შედგება, რომლის სისქე 0÷20 კმ. მის ქვეშ წყვეტილი სახით 0—35 კმ სისქის გრანიტის ფენაა განლაგებული, რომლის სიძვერეც 2,6 გ.სმ³. გრანიტის ფენა. ნ. თეგაძე

ნა ეურო სქელია სმელეთის მთაგორიან ადგილებს შესაბამის სივრცეში, ხოლო ოკეანეების ქვეშ ან სრულიად არ არის (წყნარი ოკეანის ცენტრალურ ნაწილში და ინდოეთის ოკეანის ღრმა ადგილებში), ან ახელია და ნაწყვეტებად არის განლაგებული (ინდოეთისა და წყნარი ოკეანის შედარებით დაბალი ადგილები და ატლანტის ოკეანე). გრანიტის ფენის ქვეშ არის 20—30 კმ-მდე სისქის ე. წ. ბაზალტური ფენა, რომლის სიმკვრივეა 2,95 გ/სმ³. ყველა ესენი შედგება შესაბამისი შემადგენლობის ქანებისაგან.

იმ ქანებს, რომელთანაც საქმე გვაქვს სხვადასხვა საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობასთან დაკავშირებით, უწოდებენ გ რ უ ნ ტ ს.

გრუნტის სულ ზემო, ფხვიერ ფენას, რომელიც დასახლებულია მცენარეებით და გვაძლევს მოსავალს, ჰქვია ნ ი ა დ ა გ ი. მისი სისქე ზოგან 50 მ-მდე აღწევს, მაგრამ მეტწილად ერთეული მეტრებით განისაზღვრება.

ტოპოგრაფიული თვალთახედვით გრუნტების არსებულ მრავალ სახეობათა ერთობლიობას ჰყოფენ ოთხ ძირითად ჯგუფად: კ ლ დ ო ვ ა ნ ი და ქ ე ი ა ნ ი, ფ ხ ვ ი ე რ ი, ჰ ა რ ბ ტ ე ნ ი ა ნ ი (ტორფიანი) და ჰ ა რ ბ ა დ მ ა რ ი ლ ი ა ნ ი (მლაშობი).

კ ლ დ ო ვ ა ნ ი და ქ ე ი ა ნ ი გრუნტები მეტწილად კრისტალური ქანებისაგან შედგება. ისინი ხასიათდებიან მაღალი გამძლეობითა და სიმტკიცით, ასეთი გრუნტები უფრო გავრცელებულია მთიანი რაიონების მაღალ კალთებსა და თხემებზე. მთის ხეობის კალთებზე ისინი გამოდიან კლდოვანი ნაწყვეტების სახით, რომელთა სიმაღლე აღწევს რამდენიმე ასეულ მეტრს. ვაკე ადგილებში ასეთი გრუნტები განლაგებულია ზედაპირზე სხვადასხვა სიღრმის ქვებისა და რიყის სახით. ასეთ ზედაპირზე გზების გარეშე ტრანსპორტის მოძრაობა მეტად ფერხდება, ხოლო მასზე გაყვანილი გზები და ნაშენი ნაგებობები ძნელად იძვრის და ძნელად ირეცხება, აქ დაცულია მდგრადობა. ქალაღზე ამ გრუნტების გამოხაზვა გაძნელებულია.

ფ ხ ვ ი ე რ ი გრუნტები მეტწილად წარმოადგენს სხვადასხვა სიღრმისა და შემადგენლობის ქ ე ი შ ე ბ ი ს ან მიწის ნაწილაკების ერთობლიობას. იგი გავრცელებულია როგორც ვაკე, ისე მთიან ადგილებში. ასეთ გრუნტებზე გზების გაყვანისათვის საჭიროა მტკიცე საფენი.

ჰ ა რ ბ ტ ე ნ ი ა ნ ი (ტორფიანი) გრუნტები გვხვდება ჰაობებში, სადაც მასობრივად იზრდება ე. წ. პიგროფილური მცენარეები და გამხმარი ნაშთებისაგან იქმნება ტორფი. ამ გრუნტის სისქე როცა 1,5 მეტრს აღემატება, თითქმის გაუვალია ნებისმიერი ტრანსპორტისათვის.

ჰ ა რ ბ მ ა რ ი ლ ი ა ნ ი (მლაშობი) გრუნტები გავრცელებულია უ და ბ ნ ო ე ბ ს ა და ნ ა ხ ე ვ რ ა დ უ და ბ ნ ო ე ბ შ ი. დანესტიანებისას, როცა იგი 2 მეტრზე მეტი სისქისა და მთლიანად მარილით არის დაფარული, გაუვალია როგორც ტრანსპორტის, ისე ქვეითად მოსიარულესათვის. ასეთი გრუნტების რადიკტიური ზემოქმედების შედეგად ადვილად ხდება რადიკტიური და ხელს უწყობს ადგილის მოწამვლას. ამავე დროს მოწამვლის სიღრმე აღწევს 0,5 მეტრზე მეტს, რაც აძნელებს ამ ადგილის მოწამვლისაგან გაწმენდას.

საბჭოთა კავშირის ჩრდილო რაიონებში გრუნტები ხშირად მუდმივ გაყინულ მდგომარეობაშია, რაც ზამთარში ხელს უწყობს ნებისმიერი ტრანსპორტის მოძრაობას, მაგრამ ზაფხულობით მისი სულ ზედა ფენა ღლვება და გაუვალი ხდება.

საერთოდ, გრუნტები დიდ გავლენას ახდენს ნებისმიერი საინჟინერო საგებობების კონსტრუქციების დამუშავებასა და მშენებლობაზე. მაგალითად, სველი გრუნტები აძნელებს ნაგებობათა-როგორც კონსტრუქციის შემუშავების, ისე მათი აგების საქმეს; საჭირო ხდება მრავალნაირი ღრუნაჟის, საყრდენი კედლებისა და სხვა ღონისძიებათა გამოყენება.

აღნიშნულის გამო აუცილებელია ქალაქებში ადგილის გამოხაზვის დროს გრუნტების სახეობების (ქაობები, მარილიანი და სხვა) გავრცელების საზღვრების. კლდოვანი და ქვიანი გრუნტების ფიზიკურ ზედაპირზე გამოსავლი: ჩვენება და სხვა. რაც შეეხება ფხვიერ გრუნტებს, ქალაქებში მათი გამოძახვის დროს უჩვენებენ ქვიშიან და თიხნარ გრუნტებს, რომელზეც არ არის არავითარი მცენარეულობა.

ე. ჰიდროგრაფია

(დედამიწის ბუნებრივ-ეკონომიური ელემენტები)

ჰიდროგრაფია, როგორც ადგილის ტოპოგრაფიული ელემენტი, გარდა 1. 1. 2 პარაგრაფის A მუხლის ბ პუნქტში განხილული ოკეანეებისა, მოიცავს: ზღვებს, მდინარეებს, არხებს, ტბებს, წყალსაცავებს, წყაროებს, სამკურნალო წყლებსა და სხვა.

1. ზღვები

(დედამიწის ბუნებრივი ელემენტები)

ხაზს, რომლითაც ზღვა გამოიყოფა ხმელეთისაგან, უწოდებენ სანაპირო ხაზს; მასთან მიმდებარე ხმელეთის იმ ნაწილს, რომელიც ღელვისას ხან წყლით არის დაფარული და ხან ხმელეთია—სანაპიროს, ხოლო ადგილს ხმელეთზე, სადაც წყლის სივრცე იწყება—ნაპიროს. ზღვის ნაპირი ხასიათდება რელიეფის სხვადასხვა ფორმით, სანაპირო ხაზის დანაწილებით და წყალქვეშა უსწორმასწორობებით. ტოპოგრაფიული თვალსაზრისით განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს სანაპირო ხაზის ზუსტ მდებარეობას და მის ცვალებადობას მიმოქცევებისა, ლევისა და სხვა მოვლენათა გამო. მეტად საჭიროა მიმოქცევის შესაბამისი სანაპირო ხაზის ზღვრული მდებარეობისა და ზოლის ცოდნა.

რელიეფის ხასიათის მიხედვით არჩევენ ზღვის სანაპიროს შემდეგ სახეებს: მთიანს, ამაღლებულსა და დაბლობებს. პირველ ორს ეზღვის მთები. ფლატეები და რელიეფის სხვა დადებითი ფორმები, რომლებიც ხშირად სანაპიროებთან ბოლოვდებიან კლდოვანი საფეხურებით. ამ შემთხვევაში ზღვის სანაპირო ზოლი არის ღრმა და მეტწილად ხასიათდება უსწორმასწორო ფსკერით. დაბლობი ნაპირი წარმოადგენს სწორ ან ზღვისაკენ თანაბრად დაქანებულ ადგილს, რომლის სანაპირო ხაზი სწორია, ხოლო ნაპირი დაბალწყლიანი.

2. მდინარეები

(დედამიწის ბუნებრივი ელემენტები)

მდინარეების ერთობლიობა ადგილზე ქმნის სამდინარო ქსელს, რომლის სიხშირე დამოკიდებულია პავსა და ადგილის ლითოლოგიურ შემადგენლობაზე. ქსელები ურთიერთდაკავშირებულია საერთო დინებით და წარ-

მოადგენს სამდიწარო სისტემას, საიდანაც გამოიყოფა მთავარი მდიწარე.

მდინარის ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენს: მისი სანაპირო ხაზების მოყვანილობა, სიგანე, სიღრმე, ფსკერის ხასიათი და სიჩქარე. ჩვეულებრივ, დინების მიმართულებით მდინარის სიგანე და სიღრმე იზრდება, ხოლო სიჩქარე კლებულობს. მდინარის მოხვეულ ნაწილს, სადაც იგი შედარებით ღრმა და ნელი სიჩქარით მადინდება, უწოდებენ მუხლს, ხოლო იმ ადგილს, სადაც მდინარე თხელი და განიერია, ნაკლები სიღრმე აქვს და შედარებით ჩქარა მიედინება, უწოდებენ ჩქერს. როგორც წესი, მდინარის მუხლები გვხვდება მდინარის მოსახვევებში, ჩქერები კი—მდინარის ფსკერის ვერტიკალური გადაღუნვის ადგილზე. ხეობას ფსკერის იმ ნაწილს, რომელიც წყალდიდობისას იფარება წყლით, ხოლო წყალკმობისას ხმელეთია, ჰქვია კალა ანუ ნოღა, ხოლო მასზე არსებულ საფეხურისებურად გამოყოფილ ვაკე ადგილს—კალის ტერასა. იგი, ჩვეულებრივ, ნოყიერი ადგილია და გამოიყენება სახნავ-სათესად.

მდინარის რეჟიმი ეწოდება მისი დონის სეზონურ ცვალებადობას, რომელთანაც დაკავშირებულია მისი სიგანის, სიღრმისა და სიჩქარის ცვალებადობა. მასზეა დამოკიდებულია მდინარის თვისებები ანუ დაშრობისა, გაყინვისა და ყინულისაგან გახსნის მოვლენები. მდინარეების დონის ცვლის შესაბამისად იცვლება მდინარის სანაპირო ხაზების მოყვანილობა. ჩვენი ქვეყნის მდინარეების უმრავლესობის დონე ზამთრობით დაბალა და უცვლელი რჩება გაზაფხულამდე. გაზაფხულზე მდინარეების დონე მალე იწევს და იწყება წყალდიდობები. ზაფხულობით მდინარეების დონე ისევ დაბლდება და წყალი მიედინება მცირე კალაპოტში და იწყება ე. წ. სამიჯნო პერიოდი, იგი ძლიერ იშვიათად ირღვევა ზაფხულის წყალდიდობებით, რომელსაც იწვევს კოკისპირული წვიმები. ზმირი წვიმების გამო შემოდგომაზე მდინარეების დონე ისევ ზევით იწევს და იწყება შემოდგომის წყალდიდობები. მდინარის საშუალო დონეს, რომელიც მიიღება სამიჯნო პერიოდში დაკვირვებების შედეგად, ეწოდება მდინარის სამიჯნო დონე რომელსაც გამოხაზავენ ხოლმე კალაღზე.

იმ რაიონებში, რომლებიც ხასიათდებიან გვალვიანი კლიმატით მდინარეები ხშირად მცირეწყლიანია და ზოგი მთლად შრება. ასეთ მდინარეებს უწოდებენ დროებითი დინების, ანუ შრობად მდინარეებს. მათი კალაპოტები წლის ცხელ დროებში მეტწილად მშრალია.

3. ა რ ხ ე ბ ი

(დედამიწის ეკონომიური ელემენტები)

არხები ძირითადად ხასიათდება იგივე ნიშან-თვისებებით, რითაც მდინარეები. დანიშნულების მიხედვით არჩევენ: გემთსავალ, სამელიორაციო, ენერგეტიკულ წყალსადენისა და სხვა არხებს.

გემთსავალი არხებია საზღვაო და შინაგანი. საზღვაო არხები გაჭყავთ ზღვის ფსკერზე, თებლწყლიან ზონაში, რათა ზღვის არასაკმარისი სიღრმის გამო გემები დაუბრკოლებლივ შევიდნენ ნავსადგურში (პორტში). შინაგანი არხები კი—მიწაყრილებში, დამბებში და ხმელეთის სხვა ადგილებში. წყლის დონე ამ არხებისა მალაა, ვიდრე გარემო ადგილის ფიზიკური ზედაპირის დონე. სამელიორაციო არხებია სარწყავი და

ქაობებიანი ადგილების გამოსაშრობი. სხვადასხვა ადგილებში იქმნება მთელი სისტემა ასეთი არხებისა, რომლებიც უნდა გამომდინარეობდნენ მთავარი არხიდან. მთავარ არხს ხშირად უწოდებენ მაგისტრალურ არხს.

ენერგეტიკული არხი ემსახურება რაიმე ჰიდროსადგურს, ხოლო წყალსადენების არხი სასმელი წყლით მომარაგებისათვის გაკავთ.

4. ტ ბ ე ბ ი დ ა წ ა ლ ს ა ც ა ვ ე ბ ი (დედამიწის ბუნებრივი და ეკონომიური ელემენტები)

ტბები და წყალსაცავები ხასიათდება ნაპირების გეოლოგიური აგებულებით და ყამირით, წყლის ზედაპირის ზომებით, სანაპირო ხაზის მოყვანილობით, სიღრმითა და ფსკერის გრუნტით. ტბებისა და წყალსაცავების ნაპირების აგებულება მსგავსია ზღვების ნაპირებისა, მაგრამ მცირეა ზომებით (ელემენტების ოდენობით). ტბების წყლის ზედაპირის ზომები, სიღრმე და ნაპირების მოყვანილობა ძლიერ იცვლება წყლის დონის მრავალწლიანი და სეზონური ცვალებადობის გამო.

ტბებში წყლის დონის მრავალწლიან შეცვლას იწვევს აორთქლების შემცირება ან მომატება და მცენარეებით დასახლების ზრდა ან კლება. მშრალი კლიმატისა და მცენარეულობით მასობრივი დასახლების დროს ზოგჯერ ხდება ტბების დაშრობა. წინააღმდეგ შემთხვევაში კი—მისი დონის მომატება.

ტბების წყლის დონის სეზონური ცვალებადობა ისეთივე წესით ხდება, როგორც მდინარეებში. ტბები შეიძლება იყოს სეზონურად შრობადი ან უშრობადი. ქალაღზე გამოხაზვისას ტბებისა და წყალსაცავების სანაპირო ხაზები გადააქვთ სამიჯნო დონის შესაბამისად.

წყლის თვისების მიხედვით ტბები შეიძლება იყოს მტკნარი და მარილიანი. მტკნარია ისეთი ტბები, რომლებშიც მარილების რაოდენობა 1% -ზე ნაკლებია, მარილიანი კი—პირიქით. გვაღვიანი კლიმატის ზოგიერთ რაიონში და ზღვების ნაპირების დაბლობ ადგილებში ხანდახან გვხვდება სუფრის მარილიანი ანუ მლაშე გემოს ტბები.

5. წ ა რ ო ე ბ ი დ ა ს ა მ კ უ რ ნ ა ლ ო წ ა ლ ე ბ ი (დედამიწის ბუნებრივი და ეკონომიური ელემენტები)

წყარო შეიძლება იყოს ბუნებრივი და ხელოვნური. პირველი იკვებება მიწისქვეშა წყლებით და გვხვდება მათ გამოსავლის ადგილებში, მერე კი სათავეს ღებულობს ამა თუ იმ წყალსაცვიდან. ორივეს ზედაპირი მეტნაკლებად უსწორმასწოროა და არსებითად ემთხვევა მიწის ზედაპირის რელიეფს. ყველა მათგანს ახასიათებს შესაბამისი დებიტი, ანუ დროის ერთეულში მოწოდებული წყლის რაოდენობა.

ხელოვნურ წყაროებად მეტწილად იგულისხმება სხვადასხვა ჰებითა და ჰაბურდილებით გახსნილი მიწისქვეშა წყლები. ჰებს თხრიან იმ შემთხვევაში, როდესაც მიწისქვეშა წყალი იმყოფება ზედაპირთან ახლოს, ჰაბურდილებს კი—უფრო ღრმად მდებარეობის დროს. ხელოვნურ წყაროებს მიეკუთვნება აგრეთვე წვიმის წყლის დამაგროვებელ ნაგებობებში დამაგროვებული წყალი. მათ ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს წყლის მარაგი, ანუ ვსებადუნარიანობა, გამოსახული აუზში ერთ საათში შესული წყლის რაოდენობა.

დენობით ლიტრებში, და სასმელად, ტექნიკური ან სხვა მიზნებისათვის ვარ-
გისიანობა.

სამკურნალო წყლებს სწავლობენ სათანადო ანალიზებით. მათ დიდი სა-
მედიცინო გამოყენება აქვთ.

ჰიდროგრაფიას უარესად დიდი მნიშვნელობა აქვს სახალხო მეურნეო-
ბის მართვის საქმეში. საკირო საინჟინრო ნაგებობათა შენების, ნებისმიერი
სახის საწარმოების, წამოწყებების და სამხედრო საქმის ნორმალურად მართვა
დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ არის შესწავლილი საკვლევი ადგილის
ჰიდროგრაფია.

დ. მცენარეულობა (ფლორა)

(დედამიწის ბუნებრივი და ეკონომიური ელემენტები)

მცენარეულობა წარმოადგენს დედამიწის ერთ-ერთ ბუნებრივ და ეკონო-
მიურ ელემენტს. მასში გამოყოფენ ხეებს, ბუჩქნარს, ჯაგნარს, ნახევრად
ბუჩქნარს, ბალახებს, ხავსებს, ხავსურებს, კულტურულ მცენარეებსა და სხვა
ჯგუფებს.

1. ხე მცენარეები ძირითადად თავმოყრილია ტყეებში. ტყეს
უწოდებენ 4 მეტრზე მეტი სიმაღლის ხეების ერთობლიობას, რომელთა ზემო
ნაწილის ანუ კრონის შემკვიდროება არის 0,2. კრონების შემკვი-
დროებას უწოდებენ მათი პაროქციების ფართობისა და ადგილის მთელი
ფართობის ფარდობას, გამოსახულს ათწილადი რიცხვის სახით. როცა ხეებს
შორის მანძილი მეტია მათი კრონების დიამეტრების გარკვევებულ მანძილზე,
მაშინ ხეების შემკვიდროებას უწოდებენ მეჩხერს.

ტყეს, როცა მასში ხეების სიმაღლე 6 მეტრზე დაბალია, უწოდებენ და-
ბალ ტყეს.

ტყის დახასიათების დროს, გარდა ხეების სიმაღლისა და კრონების შემ-
კვიდროებისა, დიდი მნიშვნელობა აქვს ხეების სიმსხოს, მათ სიხშირე-
სა და ჯიშების შემადგენლობას. ხეების სიმსხო იზომება ადამიან-
ის მკერდის სიმაღლის შესაბამისად. ხეების სიხშირე გამოისახება მათ შო-
რის საშუალო მანძილით. ტყეში ჯიშების შემადგენლობა გამოისახე-
ბა პროცენტებში და გამოიანგარიშება ტყეში შემავალი ყველა ჯიშის საერთო
რაოდენობიდან. იმ ტყეს, რომელშიც 80%-ზე ნაკლები არ არის გარკვეული
ჯიში, უწოდებენ წმინდას. იმ ჯიშებს, რომელთა ჯამი ტყეში არ აღემა-
ტება 20%-ს, უწოდებენ ნარეკს. შერეული ეწოდება იმ ტყეს, რომელ-
შიც არეულია სხვადასხვა ჯიშები, მაგრამ არცერთი ჯიში არ აღემატება
80%-ს მთელი ხეებისას. წმინდა ანუ სულ ერთი ჯიშის მომცველი ტყე იშვია-
თად გვხვდება. საერთოდ ხშირია ორი ან სამი ჯიშის ხეების ერთობლიობი-
საგან შემდგარი ტყეები. ტყის ერთ-ერთი მახასიათებელია ტყის შიგა გზები
და ბილიკები.

2. ბუჩქნარს აკუთვნებენ ისეთ მერქნიან მცენარეულობას, რომლის
სიმაღლე არ აღემატება 6 მეტრს და რომლის ძირიდან იწყება რამდენიმე
ტანი. ბუჩქნარს არ მიეკუთვნება ისეთი ცალკეული მზარდი ხეები, რომლი-
დანაც შემდეგში შეიქმნება ტყე. ბუჩქნარის ძირითადი მახასიათებელია ჯი-
შების შემადგენლობა, სიმაღლე და სიხშირე.

3. ჯაგნარს უწოდებენ ისეთ ბუჩქნარს, რომლის სიმაღლე არ აღემა-
ტება 0,8 მეტრს. იგი მეტწილად გავრცელებულია გვალვიანი რაიონების ვაკე
ადგილებში, მთის ტუნდრებსა და კაობებში.

4. ნახევრად ბუჩქნარს უწოდებენ ისეთ მცენარეებს, რომელთაც აქვთ ხის ღეროები არა უმეტეს 0,8 მეტრის სიმაღლისა. ზამთრობით ამ ღეროების ზემო ნაწილი ხმება. ეს მცენარეები საკმაოდ დიდ მანძილზეა დაცილებული ერთმანეთისაგან.

5. ბალახოვანი მცენარეებო ძირითადად გვხვება მოელოებსა და ველებზე (ტრამალეებზე) და არსებითად გამოაყენება საბალახობად და სათიბად.

სიმაღლის მიხედვით მასში არჩევენ დაბალ (ერთ მეტრზე ნაკლები) და მაღალ ბალახებს (ერთ მეტრზე მაღალი).

6. ხავსები და ხავსურები გავრცელებულია ტყიან და კუბიან ტუნდრებში. ხავსი გვხვდება უფრო დაბალ და ნესტიან ადგილებში, ხავსურები კი—უფრო მშრალ და მაღალ რაიონებში.

7. კულტურულ მცენარეებს ეკუთვნის ხელოვნურად გაშენებული ნებისმიერი სასოფლო-სამეურნეო მცენარეები, როგორცაა: ხილის ბაღები, სხვადასხვა სახის პლანტაციები, ბოსტნები, სათბურები, როზარეუმები, სანერგეები და სხვა.

როგორც სახალხო მეურნეობის, ისე სამხედრო საქმეში მცენარეულობას უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც სტრატეგიული, ისე ეკონომიური თვალთახედვით.

მცენარეულობის ზემოხსენებული ჯგუფები საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ გადაკეპულია ზონების სახით. პოლუსებიდან ეკვატორისაკენ და მთის ძირიდან მწვერვალისაკენ, ე. ი. ვერტიკალური მიმართულებით მასში გამოჰყოფენ: ტუნდრების, ტყიან, ტრამალეებისა და უდაბნოების ზონებს და მთელ რიგ შუალედ არე ქვეზონებს.

ე. გზები

(დედამიწის ეკონომიური ელემენტები)

გზები წარმოადგენს სახალხო მეურნეობის ნებისმიერი დარგებისა და ადამიანთა ურთიერთდაკავშირების ერთ-ერთ ძირითად საშუალებას. გეგმის შედგენის თვალთახედვით მასში არჩევენ: რკინისა და საავტომობილო გზებს. თითოეული ამთავანის გამტარუნარიანობას უწოდებენ ტრანსპორტის ერთეულების ანუ მანქანების, მატარებლების რაოდენობას, რომელმაც შეიძლება გაიაროს გარკვეულ დროში ანუ საათში დღე-ღამეში და სხვა. გზის სიმტკიცე ისაზღვრება იმ დროის მიხედვით, რომელიც შეესაბამება გზის უდიდესი ინტენსიური ექსპლოატაციის პერიოდს ისე, რომ მისი მიჰდინარე რემონტის დროს მასზე მოქრობა არ შეწყდეს. გზის გამტარუნარიანობა და სიმტკიცე დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორზე, რომელთაგანაც ძირითადია გზის სიგანე, ლიანდაგების რაოდენობა, ვაკისის ხარისხი, ქანობების ოდენობა, ტრანსპორტის მოძრაობის შესაძლო სიჩქარე. კლიმატი, ზოლის ჰიდროგეოლოგიური ხასიათი და სხვა.

რკინიგზების გამტარუნარიანობის, სიმტკიცისა და სამხედრო მნიშვნელობის ძირითად მახასიათებლად ითვლება ლიანდაგის სიგანე, მათი რიცხვი. ქანობის ოდენობა, მოხვევის რადიუსები, გზებზე სხვადასხვა ნაგებობების არსებობა, წნევის სახე, საღებურების რაოდენობა და კლასები.

ლიანდაგის სიგანე გავლენას ახდენს გამოყენებული ეავონების

ტვირთიდან და მატარებლის მთელი შემადგენლობის დასაშვებ სიმძიმეზე. არჩევენ ფართო და ვიწრო ლიანდაგის რკინიგზებს. პირველს აკუთვნებენ რელსების თავებს შორის 1435 მმ-ზე მეტ და მეორეს მასზე ნაკლები სიგანის ლიანდაგებს. საბჭოთა კავშირში ლიანდაგის სიგანედ მიღებულია 1524 მმ, ხოლო დასავლეთ ევროპაში 1435 მმ. ლიანდაგის რაოდენობა - ზეა დამოკიდებული, თუ რამდენ მატარებელს შეუძლია გაიაროს თანადროულად გზაზე. ასხავეებენ ერთლიან და გვიან, ორლიან და გვიან და მრავალლიან და გვიან გზებს.

ქანობებისა და მოხვევის კუთხეების ოდენობები გავლენას ახდენს მატარებლის სიჩქარესა და დასაშვებ წონაზე. საგზაო ნაგებობებს აგებენ მდინარეებზე, მშრალ ხეობებზე, კაობიან და დაბლობ ადგილებში (ხიდები, ვიადუკები, მილები და სხვა), მიწის ქვეშ (გვირაბები), გზების გადაკვეთის ადგილებში (გზაჯვარები). გზების ვაკისების სამაგრი --საყრდენი კედლების სახით და სხვა. წვევის სახეობებზე, როგორცაა ელექტრომავალი, დიზელები, ორთქლისა და სხვა, დამოკიდებულია მატარებლების მოძრაობის სიჩქარე. სადგურების კლასები და რაოდენობა ვაკუნას ახდენს მატარებლების მომსახურების უზრუნველყოფის საკითხზე, როგორცაა წყლით შევსება, საწვავით უზრუნველყოფა, დატვირთვა-გადმოტვირთვა და სხვა. ტექნიკური აღჭურვილობისა და დანადგარების მოხედვით სადგურები იყოფა: კლასგარეშე, პირველი, მეორე, მესამე, მეოთხე და მეხუთე კლასად. ყველაზე უფრო დიდ სადგურად ითვლება უკლასო და პირველი კლასის სადგურები, სადაც ხდება შედარებით მრავალფეროვანი და ინტენსიური ოპერაციები მგზავრების, ტვირთის დახარისხებისათვის, წვევისა და მოძრავი შემადგენლობის რემონტი და სხვა.

საავტომობილო გზებს ეკუთვნის ყველა სახის გზები, რომლებზეც მოძრაობენ ავტომობილები.

საავტომობილო გზები განსაკუთრებული მნიშვნელობისაა, რომელთა გამტარუნარიანობისა და სიმტკიცის ძირითად მახასიათებლად ითვლება გზის სიგანე და მოკირწყლული ნაწილი, მოკირწყვლის ტიპი, ქანობებისა და მოხვევის კუთხეების ოდენობები, ხელოვნური ნაგებობები და მათი ხასიათი. გზის სიგანე, ანუ მანძილი თხრილებს შორის, და გზის მოკირწყლული ნაწილის სიგანე, ანუ მისი სავალი ნაწილი, საზღვრავს ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ზოლის რაოდენობას. გზის მოკირწყლული ნაწილი, რომელიც ქმნის ზედა ფენას, ეყრდნობა ხელოვნურ ფუძეს. არჩევენ კაპიტალურ (ასფალტბეტონი, ცემენტბეტონი), გაუმჯობესებულ (შავი საფენი, კლინკერი) და გარდამავალ (რიყის ქვის, ნამსხვრევი ქვები, ხრეშით და სხვა) მოკირწყვლას. ქანობებისა და მოხვევის კუთხეების ოდენობები გავლენას ახდენს მოძრაობის სიჩქარეზე, დასაშვებ გაბარიტებსა და ტრანსპორტის დატვირთვაზე. ყველაზე მნიშვნელოვანი ხელოვნური ნაგებობები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ავტოტრანსპორტის მოძრაობის სიჩქარეზე ან ტვირთიდან და, არის ხიდები, ბორანები და გვირაბები.

გამტარუნარიანობისა და სიმტკიცის მიხედვით საავტომობილო გზები არის: კაპიტალური (ავტოსტრადები), გაუმჯობესებული მოსებები, მოსებები. გაუმჯობესებული ყამირი გზები და ყამირი გზები. ყველაზე მტკიცეა ავტოსტრადები, რომელთა სიგანე 14 მეტრია, დაქანება 2° და მოხვევის რადიუსი არანაკლებ 600 მეტრისა. ეს გზები, როგორც წესი, არ იკვებება. ისინი აცდენილებია. ავტოსტრადე-

ბის საეალი ნაწილი ორ ზოლად არის გაყოფილი, რომლებზეც მოძრაობა მხოლოდ ერთი მიმართულებითაა მიღებული.

გზების ხარისხსა და მათ უზრუნველყოფაზეა დამოკიდებული როგორც სახალხო მეურნეობის, ისე სამხედრო საქმის მართვის ხარისხი.

ფ. დასახლებული პუნქტები

(დედამიწის სოციალურ-ეკონომიური ელემენტები)

დედამიწის სოციალური ელემენტები დასახლებული პუნქტების სახით წარმოადგენს ეკონომიურ, პოლიტიკურ და კულტურულ ცენტრს. სადაც თავმოყრილია უდიდესი კულტურული და მატერიალური ფასეულობანი - სწავლასა, სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო, სატრანსპორტო, სასწავლო, სრულიცინო, ხელოვნებისა და სხვა ობიექტები.

დასახლებული პუნქტების რაოდენობა, ოდენობები და თავისებურებანი საზღვრავს საცხოვრებელი ადგილის პირობებს.

საწარმოო საქმიანობისა და მცხოვრებთა რაოდენობის მიხედვით საქმეობები პუნქტები იყოფა: საქალაქო და სასოფლო ტიპად.

საქალაქო ტიპის დასახლებულ პუნქტებად ითვლება ქალაქები და საქალაქო დასახლებანი, როგორცაა მუშათა, სააგარაკო, საკურორტო. რკინიგზელთა, ოქროს მადიებელთა, სამთომადნო მუშათა დასახლებები და სხვა.

სასოფლო ტიპის დასახლებებად ითვლება დიდი სოფლები, დაბები, აულები (მთის სოფელი), ყიზლალები, მამულები, ხუტორები (განცალკევებული მამულები) და სხვა ისეთი დასახლებები, რომლებიც სისტემატიურად ეწევიან სოფლის მეურნეობას.

როგორც საქალაქო, ისე სასოფლო ტიპის დასახლებების ძირითადი მახასიათებელია მათი ტერიტორიის განაშენიანება და დაგეგმარება, ეკონომიკა და ადგილობრივი მეურნეობა.

დასახლებული პუნქტის განაშენიანებაში იგულისხმება კვარტალებში შენობების განლაგების ხასიათი, სადაც არჩევენ რიგითი, ჯგუფურ და უსისტემო განაშენიანებას. რიგითი განაშენიანების დროს შენობები ერთმწყრივეშია, რომლებიც ვარკვევით გამოყოფენ კვარტალებს. რიგითი განაშენიანება შეიძლება იყოს მთლიანი, ე. ი. ისეთი, სადაც სახლების კედლები ერთმანეთს ეხება, და წყვეტილი, ჯგუფური, სადაც შენობები განლაგებულია კვარტალის შიგნით ცალ-ცალკე ჯგუფებად, თანაც შეიძლება მათი ორიენტაცია არ დაემთხვეს კვარტალის შემომფარკველი ქუჩების მიმართულებას.

უსისტემო განაშენიანების დროს სახლები უწყსრივოდ არის გაშენებული და არ ქმნის კვარტალს. ასეთი განაშენიანება ხდება უფრო ხშირად მთის ფერდობებზე.

დასახლებული პუნქტის დაგეგმარებაში იგულისხმება ქუჩებისა და შესახვევების განლაგება. დაგეგმარების ძირითადი ტიპებია: მართკუთხა, რადიალური, ნებისმიერი და შერეული.

მართკუთხა დაგეგმარება ხასიათდება მეტწილად კვარტალებით, რომლებიც შემოსაზღვრულნი არიან მართობულად გადაკვეთილი ქუჩებისა და შესახვევების სისტემებით.

რადიალური დაგეგმარების დროს მაგისტრალური ქუჩები მიემარ-

თება ცენტრიდან ქალაქგარეთ რადიუსის მიმართულებით, ხოლო შუალედი ქუჩები შეკრულ მრუდებს წარმოადგენს.

ნებისმიერი დაგეგმარების დროს ქუჩები მრუდებია, ხოლო კვარტალები არასწორი კონტურების (ფარგების) მქონეა.

შერეული დაგეგმარების დროს დასახლება არის ყველა შემოხსენებული ტიპის შემცველი.

დასახლებული პუნქტების დაგეგმარებაზე უდიდეს გავლენას ახდენს რელიეფი და ჰიდროგრაფიული ქსელი.

დასახლებული პუნქტის ეკონომიკა განისაზღვრება მის ტერიტორიაზე არსებული სამრეწველო წამოწყებების რაოდენობითა და ხარისხით სატრანსპორტო ობიექტებითა და სხვა.

ნებისმიერი სახის დასახლებული პუნქტის ადგილობრივი მეურნეობა ვალდებულია უზრუნველყოს მოსახლეობა წყალსაღვნით, ელექტრობით, გათბობით, მიწისქვეშა მეურნეობით, სამგზაო ტრანსპორტით, კავშირგაბმულობით და სხვა საჭიროებებით. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მიწისქვეშა მეურნეობას, რომელშიც შედის მეტროპოლიტენი, კანალიზაცია, წყალსადენი, გათბობის ქსელები, სარდაფები და სხვა.

დასახლებული პუნქტის ერთ-ერთ მახასიათებლად შეიძლება ჩაითვალოს აგრეთვე მისი სანიტარული მდგომარეობის დონე, რაც დამოკიდებულია შესაბამის სამკურნალო ნაგებობათა და დაწესებულებათა რაოდენობასა და ხარისხზე.

თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვის ფაქტი, როგორც ცნობილია (იხ. IV თავი), დედამიწაზე განაპირობებს მრავალ ხდომილობას (გასროლილი ყუმბარის გადახრა, ციკლონები და ანტიციკლონები, რკინიგზის ლიანდაგების ცალმხრივი ცვეთა, მდინარეების კალაპოტის ცალმხრივ ჩაღრმავება და სხვა); მათ შორის ორპირი ქარების მავნე გავლენასაც. ამიტომ დასახლების პროექტირების დროს საჭიროა ჩრდილო-სამხრეთ ორიენტაციის ქუჩების ნაგებობების დასავლეთ და აღმოსავლეთ მხარეს შორის მოეწყოს ორპირი ქარის საწინააღმდეგო ღონისძიება შუა კორიდორის ან ორივე მხარეზე შუშბანდის სახით.

1. 1. 3. დედამიწის ელემენტების უმისწავლელი ზოგადი დარგი

კაცობრიობამ თავისი არსებობის მანქილზე პრაქტიკული საჭიროების გამო სამყაროში მიმდინარე პროცესების შემეცნებისა, დედამიწის ბუნებრივი ელემენტების ყოველმხრივ შესწავლა-გამოყენებისა და ეკონომიური ელემენტების შექმნის მიზნით ჩამოაყალიბა მეცნიერების დარგები. ხელოვნების სხვადასხვა დარგის შექმნაც ადამიანის ბუნებრივი (სულიერი) მოთხოვნების შედეგია. ამავე დროს საჭირო შეიქმნა ადამიანთა საზოგადოების მსოფლმხედველობის, ანუ სამყაროს შესახებ ზოგადი თეორიის, ჩამოყალიბება სინამდვილის კაცობრივ-მიმართებათა ამსახველი უზოგადესი კანონებისა და კატეგორიების სისტემის სახით. რომელიც მეთოდოლოგიურ საფუძველად დაედებოდა მეცნიერებისა და ხელოვნების სხვადასხვა დარგს. ამ სახის მეცნიერებას ფილოსოფია ეწოდება. ამგვარად, მეცნიერება, ერთი მხრივ, სამყაროს შესწავლის როგორც ერთ მთლიანს, ე. ი. ფილოსოფიურად (მეცნიერება სინამდვილის ანუ ბუნების, საზოგადოებისა და აზროვნე-

ბის უზოგადესი კანონების შესახებ), მეორე მხრივ კი—სხვადასხვა თვალსაზრისით, მეცნიერების სათანადო დარგების საშუალებით, როგორცაა: ფიზიკა-მათემატიკური, საბუნებისმეტყველო, ტექნიკური, სამედიცინო, ჰუმანიტარული და სხვა. მაშასადამე, ზოგადად შეიძლება განვმარტოთ, რომ მეცნიერება არის განზოგადებული და სისტემაში მოყვანილი ცოდნათა ჯამი სინამდვილის შემეცნებისა და გამოყენების შესახებ.

ამ პარაგრაფში მოკლედ (ზოგადი წარმოდგენისათვის) მოვიყვანო განსაზღვრებებს იმ ძირითადი სამეცნიერო დარგების შესახებ, რომლებიც სხვადასხვა თვალსაზრისით შეისწავლიან ღეღამიწას.

მეტეოროლოგია სწავლობს ატმოსფეროს ფიზიკურ მდგომარეობას და მასში წარმოშობილ მოვლენებს (ტემპერატურა, ტენიანობა, წნევა, ღრუბლიანობა, ნალექები და სხვა), ხოლო აეროლოგია კი მეტეოროლოგიის ნაწილია და სწავლობს ღეღამიწის ატმოსფეროს ქვედა ფენებს (ტროპოსფერო და სტრატოსფერო);

გეოლოგია სწავლობს ღეღამიწის ქერქს, მის შემადგენლობას, აგებულებას, ცვლილებებს და წარმოშობა-განვითარების ისტორიას. გეოლოგიურ ციკლს ეკუთვნის: კოსმოსური გეოლოგია, სტრატოგრაფია, გეოტექტონიკა, შინერალოგია, კრისტალოგრაფია, პეტროგრაფია, პალეონტოლოგია. დინამიკური გეოლოგია, ისტორიული გეოლოგია, რეგიონარული გეოლოგია, სასარგებლო ნამარხთა გეოლოგია, საინჟინრო და ჰიდროგეოლოგია და სხვა.

გეოქიმია იკვლევს ღეღამიწის ბუნებრივი ელემენტების ქიმიურ შემადგენლობასა და მის გავრცელება-განაწილებას მიწის წიაღში.

გეოფიზიკა სწავლობს ღეღამიწის ფიზიკურ თვისებებსა და მასში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებს. გეოფიზიკურ ციკლს ეკუთვნის ატმოსფეროს ფიზიკა თავისი ქვეგანყოფილებით (მეტეოროლოგია აეროლოგიითურთ და სხვა), ჰიდროფიზიკა და ღეღამიწის ფიზიკა, რომელშიაც შედის: სეისმოლოგია, გრავემეტრია, მაგნიტომეტრია, გეოთერმია, ელექტრომეტრია და რადიომეტრია.

ჰიდროლოგია სწავლობს ჰიდროსფეროს, კაობებს, ტბებს, მდინარეებსა და მყინვარებს, მათ წარმოშობას, გავრცელებას, შემადგენლობას, ფიზიკურ და ქიმიურ ცვლილებებს;

გეომორფოლოგია იკვლევს ღეღამიწის ზედაპირის რელიეფის ფორმებს, მათ წარმოშობა-განვითარებას, ურთიერთკავშირს, გავრცელებასა და ცვლილებებს დროსა და სივრცეში;

ნიადაგმცოდნეობა სწავლობს ნიადაგის წარმოშობას, განვითარებას, გავრცელების კანონზომიერებას და ღონისძიებებს მოსავლიანობის გაზრდის მიზნით;

გეოგრაფია — აღწერთი ხასიათის საბუნებისმეტყველო და საზოგადოებრივი სამეცნიერო დარგია. სწავლობს ღეღამიწის ბუნებრივი და სოციალურ-ეკონომიური ელემენტების განლაგებას, წარმოშობას, განვითარების პირობებსა და ა. შ.

სამთო საქმე—საინჟინრო სამეცნიერო დარგია. მათემატიკური ანგარიშებისა და სათანადო პროექტების შედგენის საშუალებით ადგენს სასარგებ-

ლო წიაღისეულთა (ქვანახშირისა და სხვადასხვა მადნეულის) დამუშავების, ანუ ექსპლოატაციის, მეთოდებს. სამთო საქმის ციკლს ეკუთვნის: მარკში-დიდერია, წიაღის გეომეტრია. სამთო მანქანები, სამთო ელექტროტექნიკა, გაყვანა-გამაგრება, საბადოს დამუშავება, მალაროს ტრანსპორტი, ვენტილაცია, განათება, უსაფრთხოება, სასარგებლო ნამარხის გამდიდრება და სხვა დარგები.

მეტალურგიული და ქიმიური სამეცნიერო დარგების ციკლი სწავლობს იმ საწარმოო პროცესთა ერთობლიობას, რომელიც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა სახის მადნიდან და ნივთიერებიდან გამოაყოს ლითონები და ამავ დროს მიღებულ მეტალურ შენადნობებს შეუყვალოს ქიმიური შემადგენლობა, სტრუქტურა, თვისება და მოგვეცეს მრეწველობისათვის საჭირო სხვადასხვა პროდუქცია;

ტექნოლოგიური საბეცნიერო-ტექნიკური დარგები იკვლევს სამთო მეტალურგიული პროდუქტების გადამუშავებისა და მზა ნაწარმის მიღების შესაძლებლობებს;

ჰიდრორესურსების გამოყენებასთან დაკავშირებულ სამეცნიერო-ტექნიკური დარგები აგეგმვის, დაკვირვების, აღწერისა და ანალიზების გზით სწავლობს სითხეთა წარმოშობას, მოძრაობას, შემადგენლობას, სიღრმეებს, ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებს, შიგ არსებულ ფლორასა და ფაუნას და სხვა ამგვარ საკითხებს; ამის საფუძველზე იძლევა ჰიდროენერგოსადგურების, მელიორაციული ნაგებობების, სანაოსნო გზების, ჰიდრომეტეოლოგიული საქმის, ჰიდრომექანიზაციის, წყალსადენ-კანალიზაციის, ჰიდრომაქინორომებისა და სხვა ნაგებობათა დაგეგმარება-შენებლობისათვის საჭირო დასკვნებს;

სხვადასხვა სამეცნიერო-ტექნიკური დარგი სწავლობს ამ პარაგრაფში ჩამოთვლილი დარგებისათვის ყოველნაირი ნაგებობების, ანუ როგორც იტყვიან მძიმე და მსუბუქი ინდუსტრიისათვის, სატყეო, სოფლის მეურნეობისათვის საჭირო ნაგებობების დაგეგმარებას, მშენებლობას და ექსპლოატაციის წესებს. აქვე იგულისხმება დასახლებული ადგილების ყოველმხრივი დაგეგმარება და მშენებლობა ანუ საბინაო, მიწაზე და მიწაში (მეტრო) გზების, პარკების, ფუნქციონირებისა და სხვათა დაპროექტება-მშენებლობა და სხვა. დასასრულ განსაკუთრებული ყურადღების ღირსია სსრ კავშირში სამხედრო საქმე, რომელიც წესისწავლის სახელმწიფოს თავდაცვასთან დაკავშირებულ ყველა საკითხს.

1. 1. 4. რუჰების, გეგმებისა და პროზიდების საპროექტების შესახებ

როგორც დავინახეთ, დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერების თითოეული დარგი მიზნად ისახავს დედამიწის შესწავლას ამა თუ იმ მიმართებით. ამ დარგების სპეციალისტებს დასახული მიზნის მიღწევა შეუძლიათ მაშინ, თუ მათ ხელთ ექნებათ დედამიწის ელემენტების გამომსახველი გრაფიკული მასალა, როგორცაა: შესაფერისი რუკები, გეგმები და პროფილები, რომლებსაც ისანი გამოიყენებენ მეცნიერული კვლევის დროს საორიენტაციოდ და შესრულებულ გამოჩვენებულ, აღმოჩენილ სასარგებლო ნამარხთა და სხვა სიმდიდრეთა მათზე დასატანად, რის საფუძველზე ქმნიან გეოლოგიურ, გეომორფო-

ლოგიურ, სატყეო, სასოფლო-სამეურნეო და სხვა სპეციალურ რუკებს. ამავე დროს მათ აღნიშნული რუკების, გეგმებისა და პროფილების გამოყენება შეუძლიათ მაშინ, თუ ისინი სათანადოდ იქნებაან გათვითცნობიერებულნი. სახელმწიფო მოღვაწეებისა და სხვადასხვა დარგის სპეციალისტების საზოგადოებრივი, სამეურნეო, მეცნიერულ-ტექნიკური, კულტურული, სამხედრო და სახალხო მეთუნეობის სხვა დარგებში მეთაობის ხარასხი მნიშვნელოვნად დაჰოკიდებულა რუკებისა და გეგმების ხარასხზე მათი გამოყენების უნარზე. რუკები გამოიყენება სახელმწიფოს საწარმოო ძალების დაგეგმვა-განაწილებისათვის. რუკებზე, გეგმებსა და პროფილებზე დაინიშნება სხვადასხვა სახის დასაპროექტებელი და ასაშენებელი ობიექტები, როგორცაა: დასახლებული პუნქტები, ქალაქები, ყოველნაირი სატრანსპორტო გზები, მძიმე და მსუბუქი მრეწველობისათვის საჭირო შენობები, დიდი წყალსაცავები, მსხვილი საინჟინრო ნაგებობანი, სასარგებლო ნამართა დამუშავების ღონისძიებანი და სხვა. რუკები, გეგმები და პროფილები აწის საუქველი იმისათვის, რომ მათზე ნაჩვენები იქნეს ნებისმიერი სახის ნაგებობის დაპროექტების ყოველი სტადია საპროექტო მოცემულობისა და სამუშაო პროექტის (ნაახზების) სახით. რუკები და გეგმები ერთ-ერთა უმნიშვნელოვანესი მასალა და დასაყრდენია სამხედრო საქმის წარმოების დროს. ამიტომ ამბობენ, რომ რუკა „არმიის თვალია“. საერთოდ, ძნელია წარმოვიდგინოთ სახალხო მეურნეობის ისეთი დარგი, რომელიც არ საჭიროებდეს რუკებს, გეგმებსა და პროფილებს. მათი შედგენისათვის საჭიროა წვლილადებითურთ გეგმილთ ზედაპირზე ადგილის გადატანა, რაც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია დედამიწის ფიგურის ანუ ნამდვილი სახისა და ოდენობის დადგენასთან. როგორც ვხედავთ, პრაქტიკული ცხოვრების მოთხოვნის შესაბამისად, კაცობრიობას უნდა შეექმნა მეცნიერების დარგი, რომელიც საკანგებოლ შეისწავლიდა დედამიწის ნამდვილი სახისა და ზომების დადგენის, რუკების, გეგმებისა და პროფილების შედგენისა და გამოყენების საქმეს. ასეთი ღარგია გეოდეზია.

1. 1. 5. გეოდეზია როგორც საზუნებისმეტყველო და საინჟინრო მეცნიერების დარგი. გეოდეზია თანამედროვე ზაზაზით, მისი განსაზღვრება. გეოდეზიურ მეცნიერებაში უმავალი დარგები

გეოდეზია ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს „მიწის დაყოფას“. გეომეტრიასთან ერთად მასში ძველთაგანვე იგულისხმებოდა გაზომვებიც. ასეთი განმარტება არ შეესაბამება გეოდეზიის თანამედროვე შინაარსს. ამჟამად, ფართო გაგებით, გეოდეზია საბუნებისმეტყველო და საინჟინრო მეცნიერების დარგია, რომელიც უნდა წარმოვიდგინოთ, როგორც ციკლი გეოდეზიური მეცნიერების დარგებისა.

დედამიწის ნამდვილი სახისა და ზომების განსაზღვრა, მისი ელემენტების დინამიკურ პროცესებზე დაკვირვება, ფიქსირება, რაოდენობრივად დაზუსტება და ამით დედამიწაზე, როგორც პლანეტაზე, სიცოცხლის განვითარების თეორიის შექმნა და მისი ისტორიის შესწავლა—ბუნებისმეტყველების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საკითხია. ამ მიზნისათვის ძირითადი მასალის დაგროვება ხდება მრავალჯერადი (განმეორებითი) გეოდეზიური გაზომვების, დაკვირვებებისა და მიღებული მასალის მათემატიკური დამუშავების საშუალებით, რის გამო გეოდეზია მიეკუთვნება ბუნებისმეტყველების

მეცნიერებათა დარგების ციკლს. უფრო კონკრეტულად, გეოდეზია წარმოადგენს დედამიწის შესწავლულ მეცნიერებათა (გეოლოგია, გეო-მორფოლოგია, გეოფიზიკა, გეოქიმია და სხვა) ერთ-ერთ დარგს. დედამიწის ნამდვილი სახის განსაზღვრისათვის დიდი პრაქტიკული და თეორიული მნიშვნელობა აქვს დედამიწის საერთო სახის დადგენას, რადგანაც იგი გამოიყენება როგორც გეგმილთ და სასიმალო გამოსავალი ზედაპირი მისი ელემენტების კოორდინატების დადგენისა და სიბრტყეზე მათი გამოსახვისათვის. ანუ რუკების, გეგმებისა და პროფილების შედგენისათვის (VI თავი.)

გეოდეზიის, როგორც საინჟინრო მეცნიერების დარგის, არსი ის არის, რომ აქ შესწავლება მოთხოვნილი საზუსტის შესაბამისად, თუ როგორ უნდა შედგეს და შესრულდეს ე. წ. გეოდეზიური საფუძვლის პროექტი სხვადასხვა საინჟინრო და სასოფლო-სამეურნეო ნაგებობათა გეომეტრიული ელემენტების სწორად დაპროექტება-შენებისათვის; რა სიზუსტის ინსტრუმენტებით და როგორი წესით უნდა იქნეს წარმოებული გაზომვითი სამუშაოები, განაზომთა მათემატიკური დამუშავება და გამონათვალთა გამოხატვა რუკების, გეგმებისა და პროფილების სახით; როგორ გამოიყენონ არსებული რუკები და გეგმები სხვადასხვა საინჟინრო ამოცანების გადასაწყვეტად; როგორ შევძლოთ პროექტის მონაცემთა გეგმიდან აღვიღებთ გადატანა (დაკალვა), მშენებლობის პროცესში ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიულად სწორად შენების ზედამხედველობა და უშუალო ხელმძღვანელობა; ნაგებობათა ექსპლუატაციის პროცესში გეგმების კორექტირება; დეფორმაციებსა და დატურებებზე დაკვირვება და სხვა.

თანამედროვე გაგებით გეოდეზიის უპირველესი ამოცანაა შეისწავლოს ჩვენი სახელმწიფოს ტერიტორია ტოპოგრაფიული თვალთახედვით, რათა განვითარებულ იქნეს საწარმოო ძალების დონე. ამ მიზნით გეოდეზიური მეთოდებით იქმნება ჰორიზონტული და ვერტიკალური გეოდეზიური საფუძველი გეოდეზიური კუთხვების (აგეგმებისათვის საჭირო საყრდენი წერტილების) სახით.

ერთიან კოორდინატთა სისტემაში გამოსახული სახელმწიფო გეოდეზიური საფუძველი საშუალებას იძლევა საუკეთესოდ მოვაწყოთ ტოპოგრაფიული აგეგმების ორგანიზაცია სახელმწიფოს დიდ სივრცეებზე, რათა შეიქმნას ზუსტი რუკები სახელმწიფოს როგორც ცალკეული რაიონების, ისე მთელი ტერიტორიისათვის.

გეოდეზიის საპირობების არე არ განისაზღვრება მხოლოდ ტოპოგრაფიული აგეგმებისა და ქვეყნის კარტოგრაფირებისათვის საჭირო საფუძველის შექმნით.

ძნელად შეიძლება დავასახელოთ სახალხო მეურნეობის ისეთი დარგი, რომელიც ამა თუ იმ მასშტაბით არ საპირობდეს გეოდეზიურ მონაცემებს. გეოდეზიური გაზომვები წარმოადგენს საბჭოთა მეურნეობებისა და კოლმეურნეობების მიწათმოწყობის საქმის განუყოფელ ნაწილს. მელიორაციის ანუ სასოფლო სამეურნეო ნაკვეთების გამოშრობა-მორწყვის სამუშაოების შესრულების დროს საჭირო ხდება ზუსტი გეოდეზიური გაზომვების შესრულება.

გეოდეზიური სამუშაოები ფართოდ გამოიყენება ქალაქებისა და დაბების დაგეგმარებისა და კეთილმოწყობის დროს. საინჟინრო ნაგებობათა და საერთოდ დიდი შენობების დაგეგმარება-მშენებლობა წარმოუდგენელია გეოდეზიური მომსახურების გარეშე. ნებისმიერი სახის დიდი და მცირე ჰიდროსადგუ-

რების დაგეგმარების საქმეში ერთ-ერთი ძირითადი როლი გეოდეზიურ გაზომვებს უკირავს. დაპროექტების შემდეგ ნებისმიერი ნაგებობის პროექტის შესაბამისად ადგილზე დაკვალვა და მშენებლობის პროცესში ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიულად სწორად შენების ხელმძღვანელობა და ზედამხედველობა, ნაგებობათა ექსპლოატაციის პერიოდში გეგმების კორექტირება, ნაგებობების ლეფორმაციებზე (დაცურებები და სხვა) დაკვირვებები ხდება გეოდეზიური მეთოდებით. გეოდეზიურ სამუშაოებს უდიდესი ადგილი უკირავს მიწისქვეშა სამუშაოების დროს, როგორცაა: მეტროპოლიტენების, გვირაბებისა და შანტების დაპროექტება-მშენებლობა.

გეოდეზიის როლი უდიდესია სამხედრო საქმეშიაც. თანამედროვე ბრძოლებში სარტილურიო ცეცხლს ეფექტურად მართვა შეუძლებელია სამიზნეების ორიენტირების, სადაზვერვო პუნქტებისა და საბატარეო საცეცხლე პოზიციების ერთიან კოორდინატთა სისტემის ანუ ზუსტი გეოდეზიური საფუძვლად გარეშე.

გეოდეზიურ სამუშაოებს უდიდესი გამოყენება აქვს აგრეთვე ჰაერსაწინააღმდეგო და სანაპირო დაცვისა და საერთოდ გასამაგრებელი რაიონების დაპროექტება-მშენებლობის დროს. შხამიანი იარაღების წარმატებით გამოყენება, განსაკუთრებით, რაკეტების საშუალებით მიზნების ადგილის დაზიანება შეიძლება მხოლოდ მაშინ, თუ რაკეტის გასროლის ანგარიშის შესრულების დროს სწრაფად და ზუსტად შევძლებთ დავადგინოთ მოწინააღმდეგის სარაკეტო საშუალებათა განლაგების ადგილი და მიზნების კოორდინატები.

სარაკეტო საშუალებათა საბრძოლო განლაგებების დროულად ურთიერთდაკავშირების მიზნით მათ რაიონებში წინასწარ უნდა იქნეს განსაზღვრული გეოდეზიური პუნქტები, რომლებიც გამოიყენებიან როგორც გამოსავალი საფუძველი საბრძოლო ობიექტების კოორდინატების გამოსათვლელად. დაზვერვის თანამედროვე ტექნიკის საშუალებით ღვირვება მოწინააღმდეგის ობიექტების ადგილმდებარეობა და ისაზღვრება; სამიზნეების კოორდინატები, რომლებიც სასწრაფოდ უნდა იქნეს მიბმული ზემოხსენებულ ძირითად გეოდეზიურ საფუძველზე და სხვა.

მაშასადამე, გეოდეზიური საქმიანობით იწყება და მთავრდება ნებისმიერი სახის ნაგებობათა კვლევა-ძიება, პროექტირება, მშენებლობა და ნაგებობათა ექსპლოატაციის პროცესში გრძელდება გეოდეზიური ზედამხედველობა.

როგორც ვთქვი, აქამდე არსებობს ციკლი გეოდეზიის მეცნიერებათა დარგებისა და ამიტომ საჭიროა თანამედროვე ფართო გაგებით გეოდეზიის ანუ მის ციკლში შემავალი დარგების საგნის ზოგადი განსაზღვრება, რომელიც შეიძლება შემდეგნაირად იქნას ჩამოყალიბებული. გეოდეზია არის საბუნებისმეტყველო და საინჟინრო მეცნიერებათა ერთ-ერთი დარგი, სადაც დედამიწის გეომეტრიული ელემენტების მრავალნაირი (ასტრონომიული, გეოდეზიური, გრავიმეტრიული და სხვა) გაზომვების განახლმთა მათემატიკური დამუშავებისა და გამოანათვალთა გრაფიკულად (ტიგებში, რუკებში, პროფილებში) გამოხატვის საშუალებით შეისწავლება: დედამიწის ნამდვილი სახე (ფიგურა) და ოდენობა (ზომები) დროთა ვითარებაში მათ სახეცვალბადობასთან დაკავშირებით; მისი ტოპოგრაფიული ანუ ბუნებრივი, სოციალური და ეკონომიური ელემენტების სივრ-

ცობრივი განლაგებები და ზომები; გეომეტრიულად სწორად გადაწყვეტის თვალსაზრისით ამოხსნა სახალხო მეურნეობისა და სამხედრო საქმის ისეთი ამოცანებისა, რომლებიც დაკავშირებული არიან საინჟინრო ნაგებობათა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულთა კვლევა-ძიება-ტრასირებასთან, დაპროექტებასა, მშენებლობასა, ექსპლოატაციასა და სამხედრო სტრატეგიასთან.

გეოდეზიური მეცნიერების ციკლს ეკუთვნის: უმაღლესი გეოდეზია, კოსმოსური გეოდეზია, გეოდეზიური ასტრონომია, გეოდეზიური გრავიმეტრია, კარტოგრაფია, ტოპოგრაფია, საინჟინრო გეოდეზია, აეროგეოდეზია, მარკშიდერია, სამთო (წიაღის) გეომეტრია, ტოპოგრაფიული ხაზვა კალიგრაფიითურთ, სამარკშიდერო ხაზვა, ინსტრუმენტმცოდნეობა, განაზომთა მათემატიკური დამუშავება, რომელიც შეიცავს განაზომთა შეცდომების თეორიას, გამოთვლის ტექნიკას, უმცირეს კვადრატთა მეთოდს, განაზომთა აღმათობის თეორიასა და მათემატიკურ სტატისტიკას.

4. უმაღლესი გეოდეზია

უმაღლესი გეოდეზიის მიზანია სახელმწიფო აგვეკვების წარმოებისა და დეჰაიზის ნამდვილ საზღვარსა და ოფენობის (ფორმისა და ზომების) განსაზღვრისათვის ამოხსნას მეცნიერული და მეცნიერულ-ტექნიკური (პრაქტიკული) ამოცანები, ე. ო. გამოიუმეშოს დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე მალალი სიზუსტის ხაზოვანი და კუთხური გაზომვებისა და განაზომთა მათემატიკური დამუშავებას თეორიად პრაქტიკად, რითაც განისაზღვრება დედამიწის სიმაღლის მედეველობაში მიღებით შესაბამისი დიდი მანძილებით დაშორებული ე. წ. საყრდენი გეოდეზიური ქსელას პუნქტების პორიზონტალური კოორდინატები და სიმაღლეები.

მთელი დედამიწის ან მისი უდიდესი ნაწილების ფიზიკურ ზედაპირზე უმაღლესი გეოდეზიის მეთოდებით განსაზღვრულ საყრდენ წერტილთა ერთობლიობას ეწოდება სახელმწიფოთათვის საყრდენი გეოდეზიური ქსელი, რომელიც წარმოადგენს საყრდენს უფრო მცირე მანძილებით დაშორებულ საყრდენ წერტილთა სივრცობრივი განლაგების განსაზღვრისათვის, ანუ, როგორც იტყვიან, ტოპოგრაფიული, საინჟინრო გეოდეზიური, სამარკშიდერო და აეროგეოდეზიური დასაყრდენი საფუძვლის შექმნისათვის. ამ ქსელთან შედარებით გეომეტრიულად განისაზღვრება დიდი სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობის ცალკეული ობიექტები. როგორც ვთქვით, იგი წარმოადგენს კარკასს, რომლის საფუძველზე შეისწავლება დედამიწის ფორმა და ზომები; ამავე დროს განპოვრებით გეოდეზიური გაზომვებით წერტილთა კოორდინატების განსაზღვრა საშუალებას გვაძლევს სათანადო წარმოდგენა ვიქონიოთ დროთა ვითარებაში დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ცვალებადობის შესახებ, როგორცაა მიწის ქერქის დეფორმაცია—ხმელეთის პორიზონტალური და ვერტიკალური მოძრაობა, სანაპიროების გადაადგილება (ზღვების დონეთა სხვაობების დადგენა) და სხვ, რაც უაღრესად დიდი მნიშვნელობის მასალას წარმოადგენს გეოლოგიური, გეოფიზიკური და ჰიდროლოგიური სამეცნიერო ამოცანების გადაწყვეტისათვის. უმაღლესი გეოდეზია დასახელდ მიზანს აღწევს

პრაქტიკულად გამართლებული მეთოდებით, როგორცაა ე. წ. მაღალი კლასის ტრიანგულაცია, ტრილატერაცია, პოლიგონომეტრია და ნიველობა. უმაღლესი გეოდეზიის მეთოდები გამოიყენება დიდი საინჟინრო ნაგებობების პროექტება-შენებლობის დროსაც.

დედამიწის ნამდვილი სახის შესასწავლად ძირითადად გამოიყენება ორი მეთოდი: გეომეტრიული (ასტრონომიულ-გეოდეზიური) და ფიზიკური (გრავიმეტრიული). პირველ მეთოდს იყენებენ დედამიწის სხვადასხვა წერტილში სიმძიმის ძალის მიმართულებებისა და ამ წერტილებს შორის მანძილების განსაზღვრისას; მეორე მეთოდს (მას დინამიკურ მეთოდსაც უწოდებენ) კი სიმძიმის ძალის დაძაბულობის დასადგენად [26].

აღნიშნული მიზნების შესაბამისად უმაღლესი გეოდეზია იყოფა ორ ნაწილად:

პირველ ნაწილში შეისწავლება დედამიწის ზედაპირზე გეოდეზიური გაზომვებისა და შესრულების გეომეტრიული და ფიზიკური მეთოდები, ანუ უდიდესი გრადუსული გაზომვების შესრულების პრაქტიკული ხერხები, რის შედეგად გროვდება მონაცემები უმაღლესი გეოდეზიის როგორც წმინდა სამეცნიერო, ისე ტექნიკური ამოცანების კონკრეტული ამოხსნისათვის. ეს ნაწილი შედგება ხუთი დამოუკიდებელი დარგისაგან:

I. ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოები. აქ განიხილება დედამიწის ზედაპირის წერტილების შედარებითი მდებარეობის განსაზღვრების მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება მაღალი სიზუსტის კუთხური და ხაზოვანი გაზომვებისათვის (სახელმწიფო ტრიანგულაცია, ტრილატერაცია, პოლიგონომეტრია, ნიველობა); ძირითად საკოორდინატო ხაზს, რომლის მიმართ სრულდება აღნიშნული გაზომვები, წარმოადგენს შვეული ხაზი. საერთოდ, ნებისმიერი გეოდეზიური გაზომვები, რომლებიც დაკავშირებული არ არის შვეულხაზებთან, წარმოადგენს უაზრობას და მოკლებულია პრაქტიკულ მნიშვნელობას. აქვე შევნიშნავთ, რომ მხოლოდ გეოდეზიური გაზომვები გვაძლევს საშუალებას უშუალოდ განესაზღვროთ დედამიწის წერტილების ურთიერთფარდობითი მდებარეობა (და არა მათი აბსოლუტური მდებარეობა დედამიწაზე) ანუ მდებარეობა მერიდიანებისა და პარალელების მიმართ. დედამიწაზე წერტილთა აბსოლუტური მდებარეობის დასადგენად ვიშველიებთ ასტრონომიულ გაზომვებს.

II. გეოდეზიური ასტრონომია მნათობებზე დაკვირვების გზით განიხილავს დასაყრდენი პუნქტების აბსოლუტური მდებარეობის, ანუ მათი განედების, გრძედების და ამ პუნქტებიდან რაიმე წერტილებზე აზიმუტების განსაზღვრის მეთოდებს, რაც საშუალებას გვაძლევს დედამიწის ტანში რეფერენციულ-ელფსოიდისა და, საერთოდ, გეოდეზიური ხერხებით შექმნილი დასაყრდენი ქსელის გეოგრაფიული ორიენტაციებისას. განედებისა და გრძედების ასტრონომიული გაზომვები საშუალებას გვაძლევს განესაზღვროთ შვეული ხაზის, ანუ სიმძიმის ძალის. მიმართულება, ხოლო ასტრონომიული აზიმუტები კი—დედამიწის პოლუსების მიმართულებასთან შედარებით მისი ფიზიკური ზედაპირის წერტილებზე მიმართულებები.

III. გეოდეზიური გრავიმეტრია იყენებს დედამიწის ხილულ ზედაპირზე და ჰაერში სიმძიმის ძალის აჩქარების გაზომვის მეთოდებს. ამ მე-

თოღებით მოაკებელი გრავიმეტრიული მონაცემები (სიმძიმის ძალის აჩქარება) გამოიყენება დედამიწის ნამდვილი ფორმის შესწავლისათვის.

IV. კოსმოსური გეოდეზია წარმოადგენს სრულიად ხალ დარგს, წარმოშობილს კოსმოსის ათვისებასთან დაკავშირებით. იგი საკუთარი პროგრამის შესაბამისად დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრთა საშუალებით დგროვილი მასალის გეოდეზიური თვალახედვით დამუშავების საფუძველზე იკვლევს ისეთ პრობლემებს, როგორცაა: დაკვირვების ადგილების, ანუ ე. წ. გეოცენტრული კოორდინატების, დადგენის საფუძველზე დედამიწის ფორმისა და ზომების დადგენა; კონტინენტების გეოდეზიურად დაკავშირების საკითხი; მზის დაბნელებასა და მთვარის მიერ ვარსკვლავების დაფარვის მასალების გეოდეზიური თვალახედვით დამუშავება და სხვა.

V. კარტოგრაფიაში იგულისხმება იმ მეცნიერებათა ერთობლიობა, სადაც შეისწავლება ზემოხსენებული ოთხი დამოუკიდებელი, მხოლოდ მიზნობრივად ურთიერთ მტკიცედ დაკავშირებული საეცნიერო დარგების მონაცემთა და ტოპოგრაფიული აგეგმვების საფუძველზე საკუთარი პროექციებით (მათემატიკური მეთოდებით და ტექნიკური ხერხებით) სიბრტყეზე ელიფსოიდის ან სფეროს ზედაპირის გამოსახვის, ანუ მთელი დედამიწის და მისი უდიდესი ნაწილების რუკების შედგენისა და გამოყენების თეორია და პრაქტიკა. ამჟამად კარტოგრაფია ერთ-ერთ დამოუკიდებელ დარგს წარმოადგენს, რომელშიც შედის: რუკათმკოდნეობა, მათემატიკური კარტოგრაფია რუკათმზომელობითურთ, რუკების შედგენა-რედაქტირება და რუკების გამოცემა.

მეორე ნაწილი წარმოადგენს უმაღლესი გეოდეზიის თეორიას, სადაც განიხილება და დადგინდება განაზომთა ანალიზური დამოკიდებულება დედამიწის ფიგურასა და მის გრავიტაციულ ველს შორის. იგი შედგება სფეროიდული და თეორიული გეოდეზიისაგან.

I. სფეროიდული გეოდეზია შეისწავლის ელიფსოიდის ზედაპირზე გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნის მეთოდებს. აქ წყდება შემდეგი ძირითადი ამოცანები: 1) გარკვეული პარამეტრების მქონე უკვე დადგენილ და დედამიწის ტანში სათანადოდ ორიენტირებული ბრუნვის ელიფსოიდის ზედაპირის ელემენტებს შორის მათემატიკური კავშირის დადგენა (სფეროიდული გეომეტრია). 2) აღნიშნული ელიფსოიდის ზედაპირზე რედუცირებული განაზომების (დედამიწის ხილულ ზედაპირზე კუთხეების ზაზების და სხვა) მათემატიკური დამუშავება, ანუ გეოდეზიური კოორდინატებით წერტილთა ურთიერთმდებარეობების განსაზღვრა, და მათი სფეროზე გადატანისა და სიბრტყეზე ფარგების განშლის მეთოდების დამუშავება, რაც დაკავშირებულია ბრტყელო, ე. წ. გაუსის კოორდინატების გამოყენებასთან. აქვე შეისწავლება ამოცანები, რომლებიც დაკავშირებულია ელიფსოიდის ზედაპირიდან დაშორებულ წერტილებს ურთიერთდაკავშირებასთან, ანუ დედამიწის ატმოსფეროს წერტილთა სამ-საში კოორდინატის დადგენასთან.

როგორც ვხედავთ, ზემოხსენებული ღონისძიებების შედეგად დედამიწის ელიფსოიდზე გამოსავალი მონაცემები ცნობილია.

II. თეორიული გეოდეზია შეისწავლის დედამიწის საერთო (გეომეტრიული) სახისა და ნაშვლი (ფიზიკური) სახის დადგენის საკითხებს. აქ ამოიხსნება შემდეგი ძირითადი ამოცანები: 1) უდიდესი გრადუტული (ასტრონომიული, გეოდეზიური და გრავიმეტრიული) გაზომვების თეორიის დამუშავება, რის საფუძველზე დადგინდება დედამიწის ბრუნვის ელიფსოიდის პარამეტ-

რები; 2) ბრუნვის ელიფსოიდის დედამიწის ტანში ორიენტირების თეორიის დამუშავება; 3) ბრუნვის ელიფსოიდის როგორც შესადარი. გამოსაკლი ზედაპირისადმი კვაზი-გეოიდის როგორც დამხარვე ზედაპირია განსაზღვრა და დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისათვის მისი წერტილების გეოდეზიური სიმაღლეების დადგენის თეორიის დამუშავება; 4) დედამიწის ზედაპირზე შესრულებული კუთხური, ხაზოვანი და სხვა განზომების ბრუნვის ელიფსოიდზე რედუქციების თეორიის დამუშავება. 5) უდიდესი ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელების გაწინასწორებითი სამუშაოების თეორიის დამუშავება; 6) გეოდეზიური მონაცემების თეორიულად დამუშავების გზით დედამიწის ლიოზფეროსა და შინაგანი აგებულების საკითხების შესწავლა.

თეორიული გეოდეზიის მონაცემთა საშუალებით გეოდეზია შედის დედამიწის მეცნიერებების კომპლექსში, სადაც ვეოდეზიური, გეოფიზიკური, გეოლოგიური, გეოქიმიური, გეომორფოლოგიური და სხვა სამეცნიერო დარგთა მონაცემების საფუძველზე შეისწავლება დედამიწის, როგორც პლანეტის, სხვადასხვა მხარეები და სიცოცხლე.

უმალესი ვეოდეზიის ორივე ნაწილი განსახილველი საკითხების მხრივ ურთიერთდაკავშირებულია. გეოდეზიური განზომებები უნდა შეესაბამებოდეს თეორიული გეოდეზიის მოთხოვნებს. ამასთანავე, გეოდეზიურ განზომებათა დამუშავების თეორიის საკითხების განხილვის დროს მუდგელობაში უნდა იქნეს მიღებული გეოდეზიური განზომებების შესაძლებლობები და დასაშვები რიცხობრივი მახასიათებლები.

B. ტოპოგრაფია

უარესად დიდი სირთულის გამო დედამიწის ნამდვილი ზედაპირის რაიმე მათემატიკური ფორმულებით გამოსახვა შეუძლებელია. როგორც ითქვამს, უმალესი გეოდეზიის მეთოდებით მაღალი სიზუსტით ისაზღვრება ამ ზედაპირის ცალკეული წერტილები და შემდეგ კი მათ შორის სივრცეებს შედარებით დაბალი სიზუსტით ზომავს ტოპოგრაფია. მაშასადამე, ტოპოგრაფიაში შეისწავლება: უმალესი გეოდეზიის მეთოდებით დიდ სივრცეებზე მაღალი სიზუსტის გეოდეზიური საფუძვლის ბაზაზე შექმნილი მსხვილმასშტაბიანი (1:50000) გეოგრაფიული რუკებით და ადგილის განაზომებით კარტოგრაფიის უზრუნველყოფა; იმავე საფუძვლის ბაზაზე შედარებით მცირე სივრცეებისათვის საკუთარი დასაყრდენი საფუძვლის შექმნა; წვლილადებითურთ ადგილის აგეგმვების წარმოება; განაზომთა მათემატიკური დამუშავება და გამონათვალითა გრაფიკულად ტოპოგრაფიული რუკებისა და გეგმების სათანა გამოხატვა. აქვე შეისწავლება ტოპოგრაფიული რუკებისა და ანუ ტოპოგრაფიული რუკებისა და გეგმების შესადგენად საჭირო ხაზვითი, პირობითი აღნიშვნებისა და კალიგრაფიის, ანუ დამწერლობის, თეორიისა და პრაქტიკის საკითხები.

C. ამროგეოდეზია

აეროგეოდეზია არის მეცნიერების ის დარგი, რომელიც მაღალი სიზუსტის გეოდეზიურ საფუძველზე დაყრდნობით სწავლობს დედამიწის ზედაპირიდან და თვითმფრინავიდან ფოტოგრაფირების ან სტერეო-ფოტოგრაფირების საშუალებით ადგილის აეროსურათების გადაღებას და საჭირო განაზომთა გამოყენებით ამ სურათებზე ტოპოგრაფიული გეგმების, რუკებისა და პროფილების შედგენას. აეროგეოდეზიაში დანიშნულებისამებრ

სრულდება შემდეგი სახის სახმელეთო და აეროაგეგმვები: კონტურული, სადაც მიიღწა ადგილის წვლილადების მხოლოდ კონტურები; კონტურული-კომბინირებული, სადაც სრულდება ადგილის ფოტოგრაფირება. საველე ფოტოგრაფიული სამუშაოები (ფოტოფირების გამოძღვლება, ნეგატივების მიღება და სურათების ბეჭდვა), ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური სამუშაოები (სურათებზე აღბეჭდილი ზოგიერთი წერტილების გეოდეზიურ დასაყრდენ წერტილებზე მიბჯა და მათი ნიშნულების დადგენა, სურათების დეშიფირება ანუ საგნების შინაარსის დადგენა, ნაწილობრივ რელიეფის ხაზვა და სხვა) და ფოტოგრაამეტრიული სამუშაოები (აეროსურათებზე განაზომთა საშუალებით წვლილადების ნამდვილი ოდენობათა და სივრცობრივი განლაგების დადგენა და რელიეფის გამოხაზვა, რაც მიიღება გეგმური საფუძვლის განზიზებით, აეროსურათების ტრანსფორმირებით, ფოტოგეგმის შედგენისა და საველე პირობებში ფოტოაგეგმვებზე რელიეფის გამოხაზვით და დეშიფრებით); სტერეოტოპოგრაფიული, სადაც გადაიღება სტერეოფოტოგრაფიული აეროსურათები და მათი სტერეოფოტოგრაამეტრიულად დაბეჭდვის შედეგად მიიღება ფოტოაგეგმები. შემდეგ ველზე აეროსურათების პოზიტიული და ვერტიკალური მიზმით და დეშიფირებით, კამერალურად საყრდენ წერტილთა შემდეგი გაზომვებითა და დეშიფირებით, ასევე კამერალურად რელიეფის გამოხაზვით მიიღება რუკის ორიგინალი. აეროგეოდეზიური მონაცემები ერთ-ერთ უაღრესად დად მნიშვნელოვან მასალას წარმოადგენს ტოპოგრაფიის, კარტოგრაფიის, საინჟინრო გეოდეზიის, სამხედრო და სამარკშეიდერო საქმისა და სახალხო მეურნეობის მრავალი სხვა დაზგი-სათვის.

D. სამარკშეიდერო სამუშაო

სამარკშეიდერო საქმე, ანუ სამარკშეიდერო ხელოვნება. ან კიდევ, მოკლედ, მარკშეიდერია ნასესხებია გერმანული ტერმინოლოგიიდან და ნიშნავს საზღვრების დადგენის ხელოვნებას. ამჟამად იგი წარმოადგენს სამთო ხელოვნების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს საინჟინრო დარგს, რომლის თანამედროვე შინაარსი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ზემოხსენებული განსაზღვრებისაგან.

თანამედროვე სამთო მრეწველობის ერთ-ერთი მთავარი შემადგენელია მარკშეიდერული მომსახურება (ბიურო, განყოფილება), რომელთა გარეშე შეუძლებელია სწორად და უსაფრთხოდ მიწაზე და მიწაში სამთო საქმის წარმოება. სამარკშეიდერო საქმის საეციალისტები სამთო-გეოლოგიური და გეომეტრიული ამოცანების გადაწყვეტის პროცესში ასრულებენ შემდეგი სახის სამუშაოებს:

1. აწარმოებენ გაზომვითსა და საორიენტაციო სამუშაოებს საბადოთა გამოკვლევის პროცესში;

2. უშუალო მონაწილეობას იღებენ სამთო, სამშენებლო და სასარგებლო წიაღისეულთა ექსპლოატაციის პროექტის შედგენის საქმეში (აქ მთავარია მხედველობაში იქნეს მიღებული ახალ საბადოსთან დაკავშირებული უკვე გამოქვეყნებული საბადოს საარქივო დოკუმენტაციის გამოყენება);

3. დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე უმაღლესი გეოდეზიის მეთოდებით შექმნილი მაღალი სიზუსტის დასაყრდენი ქსელის საფუძველზე ან დამოუკიდებლად კვნიან სამთო ობიექტების ასაგეგმად და დასაკვალავად საჭირო დასაყრდენ საფუძველს;

4. სათანადო მეთოდებით აწარმოებენ წიაღში აგეგმვებისათვის საჭირო დასაყრდენი წერტილების დაკავშირებას ხილული ზედაპირის დასაყრდენ წერტილებთან;

5. აწარმოებენ აგეგმვებს (გაზომვებს) როგორც ხილულ ზედაპირზე, ისე სამთო გამონამუშევრებში გეგმების შესადგენად და არსებული გეგმების დროულად კორექტირება-შეცვლისათვის;

6. ეწყევიან განაზოთა სათანადო მათემატიკური ხერხებით ღამუშაებას და გამონათვალოა გრაფიკულად გამოსახვას (გეგმა, პროფილი და სხვა);

7. აწარმოებენ სამთო ნაგებობათა პროექტების ადგილზე დაკვლევის და მშენებლობის პროცესში უშუალოდ ხელმძღვანელობენ ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიულად სწორად შენების საქმეს;

8. პროექტის შესაბამისად დედაშიწის ფიზიკურ ზედაპირზე ნიშნავენ ადგილს და იძლევიან მიმართულებებს, თუ საიდან უნდა იქნეს დაწყებული სამთო სამუშაოები და რა მიმართულებით უნდა წარემართოთ სამუშაო რომ პროექტის შესაბამისად სასარგებლო ნამარხის ექსპლოატაციას მოხერხებულად მიუღდეთ; აგრეთვე უჩვენებენ მიმართულებას და სისტემატურად მეთვალყურეობენ შემხედარი სანგრეეებისა და სასარგებლო წიაღისეულთა ფენების გამომუშაების წინსწრების ნორმალურად მსეულობას;

9. სამთო წარმოების ტექნიკურა საზღვრების ფარგლებში აწარმოებენ სასარგებლო წიაღისეულის ცვალებადობის აღრიცხვას. მაგალითად: ადგენენ გარკვეული პერიოდისათვის იქნება თუ არა წარმოება უზრუნველყოფილი სასარგებლო წიაღისეულით; სასარგებლო წიაღისეულის რაც შეიძლება მეტი ამოღების, ანუ მისი გამოსავლის კოეფიციენტის გაზრდისა და პროდუქციის ხარისხის ამაღლების მიზნით აწარმოებენ სისტემატურ დაკვირვებებს და საზღვრავენ სასარგებლო წიაღისეულთა ექსპლოატაციის დროს დანაკარგებს;

10. აწარმოებენ ოპერატიული აღრიცხვის კონტროლს, ე. ი. ახდენენ სასარგებლო წიაღისეულთა გამონამუშევრების გაზომვით მიღებულ პროდუქციისადმი სხვადასხვა მომხმარებლებზე გაგზავნილი პროდუქციისა და საწყობებში არსებული პროდუქციის შედარებას;

11. წიაღში და ფიზიკურ ზედაპირზე ადგენენ საბადოებიდან წიაღისეულის ექსპლოატაციით გამოწვეულ სამთო დაცურებებსა და დეფორმაციებს; ამ მოვლენებისაგან საბადოს დანადგარებისა და ნაგებობების დაცვის მიზნით ანგარიშობენ, გეგმებზე აღნიშნავენ და ადგილზე ტოვებენ დამცავ მთელანებს, რომლებიც არ გამოიღება და ნგრევა-დაზიანებისაგან იცავს როგორც წიაღში, ისე ფიზიკურ ზედაპირზე არსებულ დანადგარებსა და ნაგებობებს;

12. უშუალო მონაწილეობას იღებენ სამთო სამუშაოთა განვითარების პერსპექტიული და ოპერატიული გეგმის შედგენაში;

13. უშუალოდ მონაწილეობას იღებენ სამთო საექსპლოატაციო სიერცეთა გამოყოფის გაფორმების საქმეში, რაც გამოიხატება გეგმასა და ადგილზე საზღვრების გადატანაში და ა. შ.;

14. სამთო წარმოების ლიკვიდაციისთან დაკავშირებით აწარმოებენ განზომვებს, რათა გამონამუშევრებში არ დარჩეს დასაშვებზე მეტი სასარგებლო წიაღისეული; ასრულებენ საბადოს საბოლოო აგეგმვას და ამზადებენ საარქივო-სამარკშიდერო დოკუმენტაციას.

სამთო წარმოებისთან დაკავშირებით სამარკშიდერო საქმეში საჭირო ხდება გაცილებით მეტი ამოცანების გადაწყვეტა, ვიდრე ეს ზემოთ არის ჩა-

ბოთვლილი. მოკლედ, ზემოხსენებული ამოცანების შესაბამისად სამარკშეი-
დრო საქმის განსაზღვრება შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ:
სამარკშეიდრო საქმე არის მეცნიერების დარგი, რომე-
ლიც შეისწავლის სამთო-საექსპლოატაციო სივრცეებისა
და საზღვრების, ნაგებობათა, დანადგართა და სამთო გა-
მონამუშევართა აგეგმვებისა და მიღებული მასალის გრა-
ფიკულად გამოხაზვის, საბადოთა კვლევა-ძიების, სამთო
საწარმოთა დაპროექტების, მშენებლობის, ექსპლოატაცი-
ისა და ლიკვიდაციის დროს წამოჭრილი გეომეტრიული
ამოცანების გადაწყვეტისა და შესრულების მეთოდებს.
სამარკშეიდრო აგეგმვების საფუძვლის შექმნა და თვით აგეგმვების მეთოდები
ძლიერ ახლოა გეოდეზიური საფუძვლის შექმნისა და ტოპოგრაფიული აგეგმვე-
ბას მეთოდებთან. ამვე დროს, მარკშეიდროის დარგის მუშაკი ღრმად განსწავ-
ლული უნდა იყოს როგორც სამთო საქმის, ისე გეოლოგიის საკითხებში. მა-
რკშეიდროს ხშირად ავალებენ საბადოზე გეოლოგის ფუნქციების შესრულე-
ბასაც.

სამარკშეიდრო საქმეში სრულყოფილად შეისწავლება სამარკშეი-
დრო ხაზვა და კალიგრაფია. ამჟამად სამარკშეიდრო დარგიდან ცალკეა
გამოყოფილი ე. წ. წილის გეომეტრია, რომელიც შეისწავლის სა-
სარგებლო წიაღისეულის სახეობების, ზომების, მდებარე-
ობის (სიღრმისა და ფორმების), წიაღში მარაგების, ხარის-
ხების განაწილებისა და წიაღისეულის ექსპლოატაციის
დროს გამომუშავებული პროექციისა და დანაკარგების
რაოდენობის დადგენის საკითხებს. წილის გეომეტრიაში სრულდება ზე-
მთ მოყვანილი მეცხრე და მეთე მუხლის გარდა სასარგებლო წიაღისეულთა
ჩაწოლისა და მათი ხარისხის გეომეტრიის საკითხები (სამთო გეომეტრიული
გრაფიკების შედგენა), რომლებიც წარმოდგენას გვაძლევს წიაღისეულთა წო-
ლის პირობებზე, ხასიათსა და ხარისხზე, სხვადასხვა უბანში განაწილებაზე
და ა. შ.

აქვე დავსძენთ, რომ მეთერთმეტე მუხლის შესრულებისათვისაც შეიქმნა
ცალკე დარგი, როგორცაა „სამთო სამუშაოების დროს ქანების
მოძრაობები“. იგი სწავლობს ქანების გეოლოგიური სტრუქტურების,
სამთო მასებისა და სასარგებლო წიაღისეულის მექანიკურ თვისებებს.

E. ინსტრუმენტთა ცოდნეობა

აქ შეისწავლება გეოდეზიის ციკლში შემავალი სამეცნიერო დარგებისა-
თვის საჭირო ინსტრუმენტების თეორიის საფუძვლები, კონსტრუქციები, შე-
პოწმების ხერხები, გამოკვლევები და მათდამი მოპყრობის წესები.

F. განაჯომთა მათემატიკური დამუშავება

აქ იგულისხმება ხუთი ურთიერთდამოუკიდებელი, უაღრესად ახლობელი
დარგი, რომელთა გამოყენების გარეშე გეოდეზიის ციკლში შემავალი ვერც-
ერთი სამეცნიერო დარგი მიზანს ვერ მიაღწევს. ეს დარგებია: განაჯომთა შეც-
დომების თეორია, უმცირეს კვადრატთა მეთოდი, განაჯომთა აღბათობის
თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა და გამოთვლის ტექნიკა.

განაზომთა შეცდომების თეორია გეასწავლის განაზომთა უცილებელი შეცდომების თვისებებს, განმარტავს თუ როგორი კანონით ხდება ამ შეცდომების წარმოშობა, დაგროვება და შედეგებზე მოქმედება, აღგენს შეცდომათა დასაშვებ ზღვრებს და გვეძლევის ზოგად წესებს რაიმე სიდიდის განაზომთა გაწონასწორებისა და საბოლოო გამოთვლების საუკეთესო შედეგთა მიღებისა და შემოწმებისათვის [28].

უმცირეს კვადრატთა მეთოდის მიზანია: 1. გეოდეზიური პროექტის შედგენის დროს გამოთვლების წარმოება (შესასრულებელ სამუშაოთა ანგარიში და მეცნიერული ორგანიზაცია), 2. შესასრულებელ სამუშაოთა სიზუსტის წინასწარ (სავარაუდო, პირველადი) შეფასება, 3. განაზომთა (უალბათეს სიდიდეთა) გაწონასწორება და სიზუსტის შეფასება, რომელიც თავის მსოივ ვულისხმობს:

ა) მეორეული უალბათესი ანუ გაწონასწორებული სიდიდეების განსაზღვრას;

ბ) ამ გაწონასწორებული მნიშვნელობების ნებისმიერი (ზოგადი სახის) ფუნქციის საშუალო კვადრატული შეცდომის კვადრატის ანუ შებრუნებული წონის განსაზღვრას;

ც) თვით გაწონასწორებული სიდიდეების საშუალო კვადრატული შეცდომის განსაზღვრას;

დ) ყოველი ცალკეული განაზომის საშუალო კვადრატული შეცდომის (შეცდომათა საზომის) განსაზღვრას გაწონასწორებული სიდიდეების მონაცემებით [30].

განაზომთა ალბათობის თეორიის მიზანია დაადგინოს განაზომთა ერთობლიობიდან ყველაზე უფრო საიმედო სიდიდის გამოსათვლელი ფორმულა. გამოავლინოს მეორე სახის განაზომთა რიგის შეცდომების სტატისტიკური თვისებები, შეარჩიოს ამ რიგების სიზუსტის შეფასების კრიტერიუმები და მოგვეცეს ამ კრიტერიუმთა განსაზღვრის სიზუსტის შესაფასებელი ფორმულები, დაადგინოს სხვადასხვა კრიტერიუმთა დამაკავშირებელი ფორმულები და მოგვეცეს ზოგადი ფორმულა კრიტერიუმებთან დაკავშირებული სხვადასხვა სიდიდის შემთავებით შეცდომათა ობიექტური შესაძლებლობის (ალბათობის) შესახებ [29].

განაზომთა მათემატიკური სტატისტიკის მიზანია გარკვეული სახის პირობათა კომპლექსის განხორციელებისას განაზომთა ალბათობის თეორიისა და საკუთარი წესების გამოყენებით მოგვეცეს განაზომთა მეორეგვარი ერთობლიობების შესახებ საიმედო დასკვნები და პროგნოზები, რითაც სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგს საშუალება მიეცემა სრულყოფილად წარმართონ მათზე დაკისრებული საქმიანობა [29].

გამოთვლების ტექნიკის მიზანია: 1. დაადგინოს აუცილებელი და საკმარისი (არაზედმეტი) სიზუსტით განაზომთა და დანაკვირვებთა გამოთვლის წესები, 2. შეისწავლოს გამოთვლებისათვის საჭირო თანამედროვე საშუალებები, 3. შეისწავლოს გამოთვლების ძირითადი წესები და მათი რაციონალურად გამოყენების ზერხები [28], [29], [30].

გ. საინჟინრო გეოდეზია

მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე გრანდოზული მიღწევებისა და მოთხოვნების შესაბამისად, სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა ფართო

ინდუსტრიალიზაციისა და ავტომატიზაციის გზით შესაძლებელი ხდება დიდი ნივრცეების მომცველი საინჟინრო (როგორც ზოლური, ისე ფართობითი) ნაგებობებისა და დანადგარების მშენებლობა. ამ საქმეში არსებითი ადგილი უჭირავს გეოდეზიურ სამუშაოებს საინჟინრო ნაგებობათა კვლევა-ძიების, პროექტირების, მშენებლობისა და ექსპლოატაციის პერიოდში.

გეოდეზიის, როგორც საინჟინრო სამეცნიერო დარგის, წინაშე ისმის სულ ახალი და ახალი ამოცანები მჭიმე მრეწველობის, ელექტროენერჯის წარმოების, ლითონების დამზადების, სათბობის მიღების, ქიმიური მრეწველობის, სამშენებლო ინდუსტრიის, სამშენებლო მასალების წარმოების, სახალხო მოხმარების საგნების გამოშვებისა და ყველა დარგის ტრანსპორტის (კინიგზის, საავტომობილო, საჰაერო, სამდინარო, საზღვაო და მილგაყვანილობითი) განვითარების გამო. მაღალი სიზუსტის გეოდეზიური და სამონტაჟო სამუშაოთა გარეშე შეუძლებელია ქაზნული წესით დამზადებული თანამედროვე მსხვილი კონსტრუქციული ელემენტების აწყობა-მშენებლობა. უმაღლესი სიზუსტის გეოდეზიური გაზომვების მეთოდებით ხორციელდება სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგის საწარმოო პროცესების კომპლექსური ავტომატიზაცია და მექანიზაცია. განსაკუთრებული სახის მაღალი სიზუსტის გეოდეზიური გაზომვებია საჭირო ატომგულური და რეაქტიული დანადგარებისა და დიდგაბარიტანი მანქანების მშენებლობის დროს.

როგორც ვხედავთ, თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისად საჭიროა საგანგებოდ მომზადდეს ინჟინერ გეოდეზისტები, რომლებიც დაუფლებული იქნებიან ნებისმიერი საინჟინრო ნაგებობებისა და დანადგარების პროექტირებისა და მშენებლობის ყველა სტადიისათვის საჭირო გეოდეზიური მასალის გამოყენების საქმეს. მაშასადამე, აუცილებელია მსხვილ საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციებში შეიქმნას საგანგებო ბიუროები ან განყოფილებები საინჟინრო გეოდეზიური მომსახურებისათვის, რომელთაც დაევალებათ:

1. სხვადასხვა დარგის სპეციალისტებთან ერთად მონაწილეობა მიიღონ ნაგებობათა კვლევა-ძიება-ტრანსირებითი სამუშაოების შესრულებისას; აწარმოონ გეოდეზიური საფუძვლის—პუნქტების განშირება და ნებისმიერი (პორიზონტული, ტოპოგრაფიული) ავეგმვითი სამუშაოები და სხვა;

2. უშუალო მონაწილეობა მიიღონ ნაგებობათა დაპროექტების ყველა სტადიაში (საპროექტო მოცემულობა და სამუშაო პროექტი) და თუ საჭირო იქნება შეადგინონ გეოდეზიური საფუძვლის საგანგებო პროექტი;

3. საინჟინრო ნაგებობათა (აქ მეტროპოლიტენებიც იგულისხმება) და დანადგართა დაპროექტება-მშენებლობისათვის უმაღლესი გეოდეზიის მეთოდებით შექმნილი სათანადო სიზუსტის დასაყრდენ ქსელზე დაყრდნობით, საჭიროებისამებრ, აწარმოონ წვლილადების გაზომვები და ქალაქებში გამოხატვები გეგმებისა და რუკების სახით;

4. დაამუშაონ დაკვალვითი სამუშაოების მეთოდიკა ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტების თავისებურებების მხედველობაში მიღებით; მშენებლობის პროცესში აწარმოონ ზედამხედველობა და მიიღონ უშუალო მონაწილეობა ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიულად სწორად შენების მიზნით;

5. სხვადასხვა აგრეგატის მონტაჟისათვის შეადგინონ დაკვალვის პროექ-

ტი და უზუსტესი გაზომვებისა და გადაზომვების მეთოდითა (ამწე ქვესვეტები, შიგა საქარხნო ტრანსპორტი, სხვადასხვა საგანგებო დანადგარები და სხვა);

6. ქალაქის გეოდეზიური საფუძვლის მიხედვით შეასრულონ ხაზოვანი და ცალკეული ნაგებობის კავშირის კორექტირება;

7. უშუალოდ მონაწილეობა მიიღონ ქალაქების პირიზონტული და ვერტიკალური დაგეგმვის პროექტის შედგენის დროს;

8. შესწორებები შეიტანონ მიწაში გასაყვანი კომუნიკაციების პროექტში უკვე გაყვანილი კომუნიკაციების შედგენლობაში მიღებით;

9. ნაგებობათა შენების დამთავრების შემდეგ შეადგინონ მიწაზე და მიწაში შესრულებული სამუშაოების შესრულებითი პროექტი და ნახაზები, ანუ დაამზადონ საარქივო მასალა, რომელიც გამოიყენება მომავლისათვის;

10. საკურობებისამებრ შეადგინონ პროექტი და მეთოდითა აშენებული ნაგებობების დეფორმაციის დაკვირვებებზე, სასარგებლო ნამარხთა დამუშავებით ან მეტროპოლიტენების მშენებლობით ან სხვა სახის მიწისქვეშა გამონამუშევრებით გამოწვეული მიწისპირის და ნაგებობათა ძვრების შესწავლაზე, მეწყრების დაკვირვებაზე და სხვა;

11. ადგილზე განახორციელონ ზემოაღნიშნული პროექტი.

ზემოაღნიშნული და სხვა მრავალი საკითხების შესრულება ინჟინერ-გეოდეზისტებს მაშინ შეეძლებათ, თუ ისინი დაუფლებულნი იქნებიან საინჟინრო გეოლოგიისა, ჰიდროგეოლოგიისა და სამშენებლო საქმის სხვადასხვა საკითხს. ასე საკითხის დაყენება და გადაწყვეტა უზრუნველყოფს გეომეტრიულად უნაკლოდ ვაშენოთ ნაგებობები, თავიდან ავიცილოთ მიწისქვეშა გაყვანილობათა და ნაგებობათა გადაკვეთები და მიწის ზედმეტი სამუშაოები, გამოვალინოთ მზა ელემენტების შეუსაბამობანი და სხვა მრავალი, რომლებიც ხშირად გვხვდება დასახლებული უბნებისა და ნაგებობების არასწორად დაპროექტება-დაკვლევისა და მშენებლობის შედეგად.

მაშასადამე, 1. 1. 5 პარაგრაფში აღნიშნული და აქ მოყვანილი ცნობების საფუძველზე შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ ასეთი განსაზღვრება: საინჟინრო გეოდეზია არის მეცნიერების დარგი, სადაც შეისწავლება დიდი სიერცვების მომცველი საინჟინრო ნაგებობების და საერთოდ თანამედროვე რთული ნაგებობებისა და დანადგარების დაპროექტება-მშენებლობისათვის უმაღლესი გეოდეზიის მეთოდებით შექმნილი მაღალი კლასის გეოდეზიურ საფუძველზე დაყრდნობით ან დამოუკიდებლად საჭირო სიზუსტის საგანგებო დასაყრდენი ქსელის შექმნის ხერხებისა და სათანადო აგეგმვების წარმოება; უშუალო მონაწილეობა ნებისმიერი საინჟინრო ნაგებობისათვის საჭირო კვლევა-ძიებითი სამუშაოების შესრულებისას; ურთულესი ნაგებობებისა და დანადგარების გეომეტრიულად უნაკლოდ აგებისა და მისი შესრულებისათვის საჭირო უმაღლესი სიზუსტის გაზომვებისა და გადაზომვების თეორიისა და პრაქტიკული ხერხების შემუშავება; უშუალო მონაწილეობითა და ხელმძღვანელობით ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტებისა და დანადგართა გეომეტრიულად სწორად აგების საქმე; ნაგებობათა დამთავრების შესრულებითი გეგმის შედგენა როგორც მიწა-

ზე, ისე მიწისქვეშა კომუნიკაციებისა და მთელი გეოდე-
ზიური დოკუმენტაციის საარქივოდ გამზადება; ნაგებობა-
თა ექსპლოატაციის პროცესში გეგმების კორექტირება; ნა-
გებობების დეფორმაციებზე, ძვრებზე დაკვირვებების პრო-
ექტის შედგენა და მისი შესრულება.

თანამედროვე საინჟინრო-სამშენებლო ორგანიზაციები სრულიად არ
თავისუფლდება საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოთა წარმოების ცოდნისაგან
ზემოსხენებული ბიუროების, განყოფილებებისა და საერთოდ, საინჟინრო-გეო-
დეზიური სპეციალობის შემოღებით, ნებისმიერი დარგის თანამედროვე ინჟი-
ნერ-მშენებელი არა მარტო სამუშაოთა მწარმოებელია, არამედ ის არის მთე-
ლი სამშენებლო წარმოების ორგანიზატორი და ხელმძღვანელი.
მასსადავად, მან ძირფესვიანად უნდა იცოდეს საერთოდ სხვადასხვა სახის სა-
ინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების არსი, ხოლო იმის მიხედვით, თუ მას
სად უხდება მუშაობა, უნდა შეეძლოს არსებული რუკების, გეგმების, პროფი-
ლებისა და პროექტების გამოყენება; სხვადასხვა საინჟინრო საკითხების გადა-
წყვეტისათვის მცირე მასშტაბის გეოდეზიური საფუძვლის შექმნა, გეგმებისა
და პროფილის შედგენა; ჩვეულებრივი სახის ნაგებობების დაკვალვა და გეო-
მეტრიულად სწორად შენების ხელმძღვანელობა და სხვა. ასე რომ, ნებისმიე-
რი დარგის ინჟინერ-მშენებელი და არქიტექტორი მაშინ იქნება დაუფლებუ-
ლი თავის საქმეს, თუ ის ღრმად არის გათვითცნობიერებული საინჟინრო გეო-
დეზიის, განაზომთა მათემატიკური დამუშავების, ინსტრუმენტმკოდნობისა
და სხვა საკითხებით.

საინჟინრო გეოდეზიის სამეცნიერო-კვლევითი ამოცა-
ნები შეიძლება პირობითად ასე ჩამოყალიბდეს:

1. საინჟინრო-გეოდეზიური გამოკვლევების ავტომატიზაცია, როგორცაა:
აეროგადაღებების მასალების გამოყენებით გზების ტრასირება, ვერტიფორენ-
ების გამოყენებით მცირე სივრცეების მსხვილმასშტაბიანი ავგეგმების წარმოება,
ჰიდროტექნიკური ნიველობის გამოყენება საინჟინრო მიზნებისათვის და სხვა;

2. საინჟინრო-გეოდეზიური პროექტირების გაუმჯობესება, როგორცაა:
ვერტიკალური პროექტირების დროს რუკების ან გეგმების საფუძველზე რე-
ლიეფის გარდაქმნის პროცესების ავტომატიზაცია ელექტრონული საანგარი-
შო მანქანების გამოყენებით, გამოთვლის ტექნიკის გაუმჯობესება, საინჟინრო
გეომორფოლოგიური ანალიზის საკითხების დამუშავება და სხვა;

3. საინჟინრო ნაგებობათა და დანადგართა ეფექტურად დაკვალვის მე-
თოდებისა და საინჟინრო კონსტრუქციების ჩქაროსნულად და ზუსტად მონ-
ტაჟის საკითხების დამუშავება; რადიო, სინათლისა და ხმის ლოკაციის, ინ-
ფრაწითელი სხივების ტექნიკის გამოყენება; სრულასაწყობი და მსხვილპანე-
ლიანი ნაგებობების, მსხვილკაბარითიანი მანქანების, მძიმე დანადგარებისა
და სამრეწველო საწარმოების ავტომატური გაყვანილობების მონტაჟისათვის
საკვირო გეოდეზიური გაზომვებისა და გადაზომვების რაციონალური მეთოდი-
კის შემუშავება;

4. საინჟინრო-დინამიკური გეოდეზიის საკითხების ეფექტური მეთოდების
დამუშავება, როგორცაა: სხვადასხვა სახის მიწისქვეშა გამონამუშევრების
შედგად მათისპირელი დატურებათა და ნაგებობათა დეფორმაციებზე დაკ-
ვირვებისათვის სათანადო ინსტრუმენტების შექმნა და მეთოდიკის დამუშავე-

ბა, წყალსაცავების რეჟიმის შესასწავლად ინსტრუმენტარის შექმნა და მეთოდის დამუშავება და სხვა;

5. საინჟინრო გეოდეზიის თეორიული საფუძვლების შექმნა: სამშენებლო, დაკვალვითი და სამონტაჟო სამუშაოების დაშვებების დასაბუთება; განაზომა ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის თანამედროვე მიღწევათა საფუძველზე განაზომა მათემატიკური დამუშავების თეორიისა და პრაქტიკის საკითხებს დამუშავება; აგეგმვისათვის საჭირო მასშტაბების დადგენის საკითხები; აგეგმვათა ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლების გამოკვლევები და სხვა.

1. 1. 6. გეოდეზიის კავშირი მეცნიერების სხვადასხვა დარგთან

გეოდეზია სარგებლობს მათემატიკური ანალიზის, ანალიზური და დიფერენციალური გეომეტრიის, სფერული და სფეროიდული გეომეტრიისა და ტრიგონომეტრიის, მხაზვლობითი გეომეტრიის, ფიზიკისა და სამშენებლო საქმის მრავალი ცნებებით და ვითარდება მათ განვითარებასთან ერთად.

ამავე დროს გეოდეზია მკვიდრო კავშირშია მეცნიერების სხვადასხვა დარგთან; მაგალითად, როგორც აღინიშნა, ასტრონომია ციურ მნათობებზე დაკვირვებების საშუალებით იძლევა დედამიწის წერტილთა აბსოლუტური მდებარეობის, ანუ ჰორიზონტული კოორდინატებისა (განედებისა და გრძედების) და წერტილებზე მიმართებების აზიმუტების განსაზღვრის საშუალებას. თუ ამ წერტილებს გეოდეზიური გაზომვებით დავუკავშირებთ დედამიწის სხვა წერტილებს, შეგვეძლება მათი კოორდინატების, ანუ მდებარეობის, განსაზღვრა. მაშასადამე, ასტრონომიული დაკვირვებების გამოყენება გეოდეზიის ერთ-ერთი შემადგენელია. თავის მხრივ, ასტრონომია იყენებს გეოდეზიურ მონაცემებს. მაგალითად, დედამიწის დიამეტრი, რომელიც დგინდება გეოდეზიური გაზომვებით, ასტრონომიაში გამოიყენება, როგორც ზომის ერთეული მზის სისტემის ობიექტების მანძილების განსაზღვრის დროს და სხვა.

გეოდეზიური მეთოდებით რომ სრულყოფილად იქნეს რუკებსა და გეგმებზე დედამიწის ელემენტების სივრცობრივი განლაგებები მოცემული, საჭიროა შესწავლილ იქნეს ასაგვემავი ელემენტების ბუნება, განვითარება და წარმოშობის კანონზომიერება. რუკებსა და გეგმებზე გამოსახული რელიეფი უნდა შეესაბამებოდეს მათი წარმოშობის, შექმნისა და განვითარების კანონზომიერებას და გამოხატავდეს მათს დამახასიათებელ ნიშნებს. მაშასადამე, რუკებისა და გეგმების შედგენის დროს გეოდეზიის გათვითცნობიერებული უნდა იყოს და სარგებლობდეს გეოლოგიის, გეოფიზიკის, გეომორფოლოგიისა და დედამიწის შემსწავლელი სხვა დარგების მონაცემებით. რუკებსა და გეგმებზე დედამიწის ელემენტების გადატანა უაზრო იქნება, თუ არ იქნა გათვალისწინებული მათი ისტორია და განვითარება, რისთვისაც საჭიროა ეკონომიური გეოგრაფიისა და ისტორიის მონაცემთა გამოყენება.

ცნობილია, რომ დედამიწის შინაგანი აგებულების თავისებურებები გავლენას ახდენს დედამიწის ფიგურის დადგენისათვის საჭირო ზუსტ გეოდეზიურ განაზომებზე, რის გამო გეოდეზია უახლოეს კავშირშია გეოფიზიკასა და

გეოლოგიასთან. გეოლოგიური მონაცემებით სარგებლობენ გეოდეზიური პუნქტების ადგილზე დანიშნვის დროს. თავის მხრივ, გეოდეზია დიდ პრაქტიკულ დახმარებას უწევს გეოლოგიასა და დედამიწის შემსწავლელ სხვა სამეცნიერო დარგებს იმ მხრივ, რომ განმეორებითი გეოდეზიური გაზომვების შედეგები საშუალებას იძლევა დადგინდეს იქნეს ოკეანეთა და ზღვათა სანაპირო ხაზების გადაადგილებები, ლითოსფეროს ცალკეული უბნების ვერტიკალური მოძრაობები (აწევა და დაწევა), კორიზონტალური გადაადგილებები და სხვა.

ლ ა მ ხ მ ა რ ა ს ნ ო ზ ე ბ ი

1. 2. 1. მ ე ტ რ უ ლ ი ა თ ო მ ბ ი თ ი ს ი ს ტ ე მ ა . ა თ ი ს ხ ა რ ი ს ხ მ ბ ი

1. მ ე ტ რ უ ლ ი ა თ ო მ ბ ი თ ი ს ი ს ტ ე მ ა

მეტრული ათობითი სისტემის გეომეტრიული და მასის ძირითადი ერთეულებია: მეტრი (მ), გრამი (გ) და ლიტრი (ლ).

მეტრი სიგრძის საზომი ძირითადი ერთეულია და ეწოდება საერთაშორისო პროტოტიპის (პირველი სახის) კვერთხის ორ კვესურს (შტრიხს) შორის მანძილს.

გრამი წონის (მასის) ძირითადი ერთეულია და უდრის ერთი კუბიკური სანტიმეტრი წმინდა (დასტილირებული) წყლის წონას ცელსიუსის 4°-ზე, 45° განედზე.

ლიტრი სითხეებისა და ფაქტეული საგნების ძირითადი საზომი ერთეულია და წარმადგენს ერთ კუბიკურ დეციმეტრ საწყაოს.

როგორც ვხედავთ, ყველა ძირითად ერთეულს საფუძვლად უდევს მეტრი და ამიტომ შემოხსენებული ძირითადი საზომი ერთეულების სიმრავლეს ეწოდება მეტრული სისტემა (კანონზომიერება).

მეტრულ სისტემას ათობითი ეწოდება, რადგანაც ყოველი წარმოებულ ერთეულს ოდენობა თანამიმდევრობით ურთიერთგანსხვავდება ათათჯერ. ძირითადი ერთეულების წარმოებული ერთეულების გამომსახველად მიღებულია ბერძნული და ლათინური წინსართები, რომლებიც შეიწერება წინ ძირითად ერთეულებს:

ბერძნული

მირია (მრ)	10000,
კილო (კ)	1000,
ჰექტო (ჰ)	100,
დეკა (დეკ)	10,

მეტრი (მ), გოპი (გ), ლიტრი (ლ).

ლათინური

დეცი (დეც)	$\frac{1}{10}$,
სანტი (ს)	$\frac{1}{100}$,
მილი (მ)	$\frac{1}{1000}$.

ვთქვათ. ხაზის გაზომვის შედეგად მივიღეთ 5 კმ, 2 კმ, 3 დკმ, 8 დცმ, 2 მმ და საჭიროა ამ ხაზის მეტრებში გამოსახვა. შემოხსენებული ათობითობის გამოყენებით ამ ხაზის სიგრძე (მეტრებში) იქნება 5230,802 მ. ახლა ვთქვათ მეტრებად გადასაქცევა განაზომი ხაზი 5 კმ, 12 კმ, 13 დკმ, 18 დცმ

12 მმ. იგივე ათობითობის შესაბამისად ერთბაშად დაწეროთ, რომ ხაზის სიგრძე იქნება 6331,812 მ. მძიმის გადაადგილებით შეგვიძლია ნებისმიერ განზომილებაში გამოვსახოთ აღნიშნული ხაზი, მაგალითად, 633,1812 დკმ, 63318,12 დცმ და ა. შ.

კუთხეების საზომი ძირითადი ერთეულებია გ რ ა დ უ ს ი (0), გ რ ა დ ი (g) და რ ა დ ი ა ნ ი $\rho = 57^{\circ},3 = 3438' = 206265'' = \frac{1}{\sin 1''}$.

გრადუსი სრული კუთხის მესამასამოცედს უდრის. გრადუსის წარმოებული ერთეულებია მინუტი (') და სექუნდი ("); $1^{\circ} = 60'$; $1' = 60''$.

გრადი სრული კუთხის მეოთხასედიანია. გრადის წარმოებული ერთეულებია გრადული მინუტი (') ან (c) და გრადული სექუნდი (") ან (cc); $1^{\circ} = 100'$; $1' = 100''$. გრადული სისტემა დეციმალურია (მეტრულია) და ამიტომ ამ სისტემით მოქმედებების შესრულება ადვილია. მაგალითად, $22^{\circ} 24' 23''$ შეგვიძლია დაწეროთ გრადებში, გრადულ მინუტებში ან გრადულ სექუნდებში, ან მართ კუთხეებში, შესაბამისად: 22° , 2423 , $2224^{\circ},23$, $222423^{\circ},0$, $222423 d$ (d მართ კუთხეს აღნიშნავს).

რადიანებში კი კუთხე გამოისახება კუთხის გრადუსული ოდენობის გაყოფით რადიანის კუთხურ მნიშვნელობაზე ($57^{\circ},3$). მაგალითად, $\alpha^{\circ} = 12^{\circ} 30'$ კუთხე რადიანებში გამოისახება $\alpha = 0,2181$ რადიანს ანუ $\alpha = 0,2181$ [28].

მეტრული ათობითი სისტემის შემოღების მოკლე ისტორია ასეთია: ზრდადი სასაქონლო კაპიტალისტური მეურნეობის განვითარებასთან დაკავშირებით და ამავე დროს სახელმწიფოებში სხვადასხვა საზომების გამოყენებით ხალხთა მასების უკმაყოფილების გამო მეტად საჭირო შეიქნა საერთაშორისო საზომი ძირითადი ერთეულების შემოღება. საფრანგეთის ნაციონალური კრების მიერ 1791 წლის 30 მარტს სიგრძის ძირითად ერთეულად «ყველა დროისა და ყველა ხალხისათვის» მიღებულ იქნა პარიზის ობსერვატორიაზე გამავალი მერიდიანის მეოთხედის მეთათმლიონედი ნაწილი, რომელსაც უწოდეს მეტრი. ამ სიგრძის ხანგრძლივი დროით შენახვის მიზნით 1799 წელს ლაპლასის ხელმძღვანელობით გაკეთებულ იქნა პლატინის კვერთხი, რომლის სიგანე იყო 25 მმ და სისქე 2,5 მმ. სიგრძე ამ კვერთხისა დერძის მართობულ ორ (თავსა და ბოლო) სიბრტყეს შორის უნდა ყოფილიყო ერთი მეტრი. ეს ისტორიული საზომი, რომელსაც არა აქვს კვესურები და წარწერები, წოდებულია საფრანგეთის არქივის მეტრად“ და მუდამ ინახება საფრანგეთის სახელმწიფო არქივში.

დალაპლასის მიერ 1800 წელს შესრულებული გაზომვების შედეგები თითქმის ადასტურებდა მეტრის ზემოთ მოყვანილი სიგრძის სისწორეს, მაგრამ შემდეგი გაზომვებით დადგინდა, რომ მეტრის სიგრძე განსხვავდება პარიზზე გამავალი მერიდიანის მეოთხედის მეთათმლიონედი ნაწილის სიგრძისაგან. მაგალითად, ბესელიის გამოთვლებით პარიზზე გამავალი მერიდიანის მეოთხედი გამოვიდა 10 000 858 მეტრი.

საზომთა და საწონთა საერთაშორისო კომიტეტის ჩამოყალიბებისას, 1875 წელს, მტკიცე შესაძარობის მიზნით დაადგინეს, რომ გაკეთებულიყო ყველა სახელმწიფოსათვის ძირითადი სანიმუშო (შესაღარი) საზომები, თანასწორი საფრანგეთის არქივის მეტრისა.

გადაწყვეტილების შესაბამისად 1889 წელს დამთავრდა 90% პლატინისა

და 10% იზრდიუმის შენადნობისაგან 34 ცალი კვერთხის დამზადება, რომელთა სიგრძე 1,02 მეტრს უდრიდა. აღნიშნული კვერთხებიდან №6 ზუსტად დაემთხვა სიგრძით საფრანგეთის არქივის მეტრს 0°-სი (ცელსიუსით) ტემპერატურის დროს. ეს კვერთხი წოდებულ იქნა მეტრის საერთაშორისო პირველად სახედ (პროტოტიპად) და მომავლისათვის სხვა კვერთხების შესადარებლად შენახულ იქნა პარიზის ახლოს სევრაში, სადაც მოთავსებულია საერთაშორისო საზომთა და საწონთა პალატა. დანარჩენი კვერთხები დაურეგდა სხვადასხვა სახელმწიფოს ძირითადი სანიმუშო კვერთხების სახით და ეწოდა ეტალონები.

საბჭოთა კავშირში სასკოლსაბჭოს 1918 წლის 14 სექტემბრის დეკრეტის საფუძველზე საბოლოოდ 1924 წლის იანვრიდან მიღებულ იქნა მეტრული ათობითი სისტემა, როგორც ერთადერთი ძირითადი სისტემა ყველა რესპუბლიკისათვის. ზემოხსენებული კვერთხებიდან საბჭოთა კავშირს გადაეცა №28 და №11 კვერთხი. პირველი ინახება მეტროლოგიისა და სტანდარტიზაციის საერთო საკავშირო კვლევით ინსტიტუტში, მეორე კი საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიაში. ეს კვერთხები არის საბჭოთა კავშირის ძირითადი სანიმუშო კვერთხება ანუ ეტალონები, რომელთა მიხედვით მზადდება სხვა დანარჩენი ძირითადი საზომები.

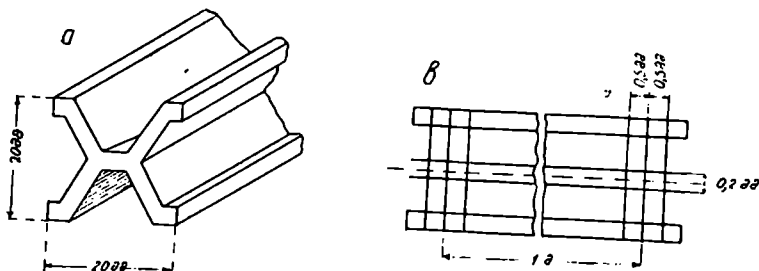
მრავალი შემოწმებებისა და შედარების შემდეგ შემუშავებულ იქნა ამ ეტალონების სიგრძეების გამოსათვლელი განტოლებები:

$$\left. \begin{aligned} N\#11 &= 1\text{მ} - 0,5\mu + (8,650\mu)t + (0,001\mu)t^2 \\ N\#28 &= 1\text{მ} + 0,5\mu + (8,650\mu)t + (0,001\mu)t^2 \end{aligned} \right\} (1. 2. 1. 1)$$

სადაც $\mu = 0,001$ მმ არის მიკრონი;

t — ტემპერატურა გრადუსებში ცელსიუსით.

ზემოხსენებული კვერთხების კვეთილობა (ნახ. 1^ა) უზრუნველყოფს კვერთხში ღია ნეიტრალური ზედაპირის არსებობას, რომლის სიგრძე



ნახ 1. 2. 1. 1.

არ იცვლება სათანადოდ შერჩეულ წერტილებზე კვერთხის დაყრდნობის დროს საკუთარი წონით გამოწვეული ჩაღუნვის შემთხვევაში. კვერთხების საარკისებო მოპირკეთებულ ნეიტრალურ ზოლზე ბოლოებიდან თითო სანტიმეტრის დაშორებით, კვერთხის ღერძის მართობულად დაკვესილია (დაშტრიბულია) სამსამი ბეწვისებური კვესტრი ურთიერთ 0,5 მმ დაშორებით (ნახ. 1^ბ). ამავე ზოლზე კვერთხის სიგრძეც ურთიერთ 0,2 მმ დაშორებით დაკვესილია ორი

ბეწვისებური ხაზი, რომელთა შორის წარმოდგენიოს სიმეტრიის ხაზს უწოდებენ საზომის ღერძს.

ეტალონის ბოლოებში სამ-სამ კვესურს ის აზრი აქვს, რომ ეტალონის სიგრძე აუცილებლად შეიცავდეს მეტრსა და მილიმეტრებს მიკრომეტრების ერთი დანაყოფის საფასურის გამოსათვლელად და სხვა გამოკვლევებისათვის.

გარდა ზემოთ აღწერილი № 28 და № 11 ეტალონებისა, საბჭოთა კავშირში იყენებენ იმავე პროფილის მქონე პლატინ-ირიდიუმისაგან 1894 წელს დამზადებულ კვერთხს, რომელიც აღინიშნება ასე:

$$1894 \frac{Pt Ir}{\text{полусажень}}$$

ამ კვერთხს მეტროლოგიისა და სტანდარტიზაციის საერთო საკავშირო კვლევითი ინსტიტუტის მიერ მოკლედ ეწოდება 11₄. ეს კვერთხი, ერთის მხრივ, საშუალებას გვაძლევს კავშირი დავამყაროთ მეტრსა და არშინს შორის და, მეორე მხრივ, მეტრსა და იარდს (ინგლისელების ძირითადი საზომი) შორის. ამ კვერთხის საერთო სიგრძე უდრის 1089,70 მმ. იგი წარმოადგენს კიბურებიან საზომს. მის ნეიტრალურ შრეზე დაკვესილია კიბურთა ორი სისტემა, რომელთა შემწეობით ისაზღვრება ზუსტი სიგრძე მეტრის, არშინისა და იარდისა.

რუსეთში 1899 წლის 4 ივლისის კანონით მიღებულ იქნა, რომ ერთი ინგლისური გოჯი (დუიმი) დამრგვალებულად უდრიდეს 25,4 მმ. ამ დღიდან მეტრის საყენზე და, პირიქით, გადაყვანი კოეფიციენტები არის ასეთი:

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ საენი} &= 2,133600000 \text{ მეტრს } (0,3291130027) \\ 1 \text{ მეტრი} &= 0,4686914136 \text{ საენს } (9,6708869973) \end{aligned} \right\}, (1. 2. 1. 2)$$

სადაც ფრჩხილებში მოცემულია შესაბამისი ლოგარითმები.

ჩვენში აგრეთვე იყენებენ ინვარულ (64% ფოლადისა და 36% ნიკელის შენადნობს) ოთხ მეტრიან (M_1), ერთ მეტრიან (M_{318}), სამმეტრიან (G_{11}) და პლატინიტიდან (58% ფოლადი, 42% ნიკელის შენადნობი, რომელსაც აქვს დაახლოებით პლატინის გაფართოების კოეფიციენტი) დამზადებულ სამმეტრიან კვერთხს (H_{16}). უკანასკნელი ორი კვერთხი ეკუთვნის სამხედრო ტოპოგრაფიულ სამმართველოს, ხოლო პირველი ორი — თავად გეოდეზიურ სამმართველოს.

ოთხივე კვერთხი ინახება მეტროლოგიისა და სტანდარტიზაციის საერთო საკავშირო კვლევით ინსტიტუტში მუდმივი მეტროლოგიური ზედამხედველობის ქვეშ და უწოდებენ სანიმუშო საზომებს.

აღნიშნული სანიმუშო (შუშა) საზომების სიგრძეების შედარება ხდება პერიოდულად № 28 და № 11 ეტალონებთან ზემოხსენებულ კვლევით ინსტიტუტში არსებულ უზუსტეს 4 მეტრიან კომპარატორზე (საგანგებო დანადგარი, რომლითაც დგინდება საზომების ზუსტი სიგრძეები) 1 : 10 000 000 სიზუსტით. თვით № 28 № 11 ეტალონების სიგრძეების შედარება კი ხდება იმავე კომპარატორზე 1 : 50000000 სიზუსტით.

დადგენილია, რომ დროთა ვითარებაში ზემოხსენებული საზომების სიგრძეება იცვლება. მაგალითად, G_{11} სამუშაო სიგრძე 1909—1932 წლებში გაიზარდა 22 მიკრონით (0,022 მმ). ამიტომაც საჭირო კვერთხის უკანასკნელი დროის განტოლებას ცოდნა.

უკანასკნელ ხანებში მეტრის სიგრძის აღდგენისათვის მიზანშეწონილად სცნეს ამერიკელი მეცნიერის მაიკელ სონის მიერ მოწოდებული და ამჟამად ტექნიკაში სიგრძეების გასაზომად გამოყენებული სინათლის ტალღები. მაიკელსონის გამოთვლით 1 მ = 1553163,5 ელემენტ კადმიუმის წითელი სპექტრალური ხაზის ტალღის სიგრძეს 15° ცელსიუსით ტემპერატურისა და 760 მმ წნევის დროს.

ამჟამად მარკშიდერიის სამეცნიერო-კვლევით საკავშირო ინსტიტუტში შექმნილია საგანგებო დანადგარი, რომლის საშუალებითაც მეტრის ეტალონებს აღარებენ კადმიუმის წითელი სპექტრალური ტალღების სიგრძეს, რითაც აღწევენ $1:100\ 000\ 000$ სიზუსტეს. როგორც ვხედავთ, ზემოხსენებული ძირითადი საზომი ერთეულები შეიძლება შევადაროთ ბუნების ისეთ მოვლენებს, რომლებიც უადრესად დიდი დროის განმავლობაში უცვლელნი არიან. ამით კი კმაყოფილდება როგორც თეორიული კვლევის ინტერესი, ისე პრაქტიკის მოთხოვნილება.

8. ათის ხარისხები

$1 = 10^0$	$1 = 10^0$	ნულოვანი თანრიგის არის			
$10 = 10^1$	$0,1 = 10^{-1}$	პირველი თანრიგის ერთი ერთეული			
$100 = 10^2$	$0,01 = 10^{-2}$	მეორე	"	"	"
$1000 = 10^3$	$0,001 = 10^{-3}$	მესამე	"	"	"
$10000 = 10^4$	$0,0001 = 10^{-4}$	მეოთხე	"	"	"
$100000 = 10^5$	$0,00001 = 10^{-5}$	მეხუთე	"	"	"

ათის ხარისხის მაჩვენებელი გვიჩვენებს ნულების რაოდენობას, რომელიც უნდა დაეწეროს ერთის შემდეგ ან მის წინ. პირველ შემთხვევაში ხარისხის მაჩვენებელი დადებითია და გვიჩვენებს, რომ მოცემული რიცხვი ერთზე მეტია, ხოლო მეორე შემთხვევაში ხარისხის მაჩვენებელი უარყოფითია და გვიჩვენებს თანრიგს.

აღნიშნულის საფუძველზე ზემოხსენებული მეტრული სისტემის ერთეულები შეიძლება თავდაპირველად გამოისახოს შემდეგნაირად:

$$1 \text{ მრმ} = 10^1 \text{ კმ} = 10^2 \text{ ჰმ} = 10^3 \text{ დკმ} = 10^4 \text{ მ} = 10^5 \text{ დცმ} = 10^6 \text{ სმ} = 10^7 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ კმ} = 10^1 \text{ ჰმ} = 10^2 \text{ დკმ} = 10^3 \text{ მ} = 10^4 \text{ დცმ} = 10^5 \text{ სმ} = 10^6 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ ჰმ} = 10^1 \text{ დკმ} = 10^2 \text{ მ} = 10^3 \text{ დცმ} = 10^4 \text{ სმ} = 10^5 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ დკმ} = 10^1 \text{ მ} = 10^2 \text{ დცმ} = 10^3 \text{ სმ} = 10^4 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ მ} = 10^1 \text{ დცმ} = 10^2 \text{ სმ} = 10^3 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ დცმ} = 10^1 \text{ სმ} = 10^2 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ სმ} = 10^1 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ მმ} = 10^{-1} \text{ სმ} = 10^{-2} \text{ დცმ} = 10^{-3} \text{ მ} = 10^{-4} \text{ დკმ} = 10^{-5} \text{ ჰმ} = 10^{-6} \text{ კმ};$$

$$1 \text{ კმ} = 10^1 \text{ ჰმ} = 10^2 \text{ დკმ} = 10^3 \text{ მ} = 10^4 \text{ დცმ} = 10^5 \text{ სმ} = 10^6 \text{ მმ};$$

$$1 \text{ მმ} = 10^{-1} \text{ სმ} = 10^{-2} \text{ დცმ} = 10^{-3} \text{ მ} = 10^{-4} \text{ დკმ} = 10^{-5} \text{ ჰმ} = 10^{-6} \text{ კმ}.$$

როგორც ვიცი, ორი ტოლფუძიანი რიცხვების გამრავლებისა და გაყოფის დროს ხარისხის მაჩვენებლები, შესაბამისად, იკრიბება და ურთიერთს აკლდება.

$$10^4 \cdot 10^3 = 10^{4+3} = 10^7;$$

$$10^4 : 10^1 \cdot 10^6 = 10^{4-1+6} = 10^9;$$

$$4 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 10^{6-3} = 12 \cdot 10^3;$$

$$\frac{10^6}{10^4} = 10^{6-4} = 10^2;$$

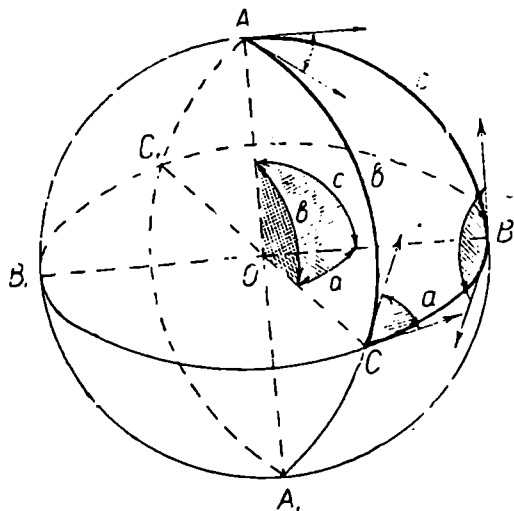
$$\frac{6 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^2} = \frac{18 \cdot 10^{6-2}}{6 \cdot 10^{3+2}} = 3 \cdot 10^{4-5} = 3 \cdot 10^{-1} = 0,3;$$

ახ ასე

$$\frac{6 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^3} = 3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-1} = 0,3.$$

1.2.2. სფერო

სფერულ ზედაპირს უწოდებენ სივრცეში ამ ზედაპირისათვის ცენტრალ წოდებული რომელიმე უცვლელი (მყარი, მკვიდრი) O წერტილიდან ტოლ მანძილებზე (R რადიუსით) დაშორებულ წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს. ეს ზედაპირი მიიღება, თუ წრეხაზს ვაბრუნებთ მისი ერთ-ერთი დიამეტრის გარშემო. სივრცეს, რომელსაც მოიცავს სფერული ზედაპირი, ეწოდება სფერო. წრფეს, რომელიც აერთებს სფერული ზედაპირის ორ ნებისმიერ წერტილს და გაივლის მის O ცენტრში, ეწოდება სფეროს დიამეტრი და იგი ტოლია ორი რადიუსისა. სფერულ გეომეტრიაში შეისწავლება სფეროს ზედაპირზე განლაგებული ფიგურების თვისებები.



ნახ. 1. 2. 2. 1.

რალელური მიმართების მიერ სფეროს ზედაპირის განკვეთამდე. ცხადია, სივრცეში ურთიერთსწვრივი წრფეები სფეროს ზედაპირზე მოკვეცემს ერთსა და იმავე ნორმალ კვალებს ორი წერტილის სახით.

ნებისმიერი სიბრტყის ნორმალ კვალი სფეროს ზედაპირზე არის დიდი წრეხაზი, რომელსაც მივიღებთ სფეროს O ცენტრზე მოცემული სიბრტყის სწვრივი სიბრტყის ვატარებით სფეროს ზედაპირის განკვეთამდე.

დიდი წრეხაზის შესაბამის სიბრტყეს, რომელიც სფეროს ორ ტოლ ნაწილად წყოფს, დიდი წრე ეწოდება (ნახ. 1: ACA_1C_1 , ABA_1B_1 , BCB_1C_1 , დიდი წრეები).

დიდი წრეების გადაკვეთის ხაზი სფეროს დიამეტრს წარმოადგენს და თვით ამ წრეებს ჰყოფს ორ ტოლ ნაწილად (AA_1 დიამეტრი შუაზე ჰყოფს ABA_1B_1 და ACA_1C_1 დიდ წრეებს, BB_1 დიამეტრი შუაზე ჰყოფს ABA_1B_1 და BCB_1C_1 დიდ წრეებს, CC_1 დიამეტრი შუაზე ჰყოფს ACA_1C_1 და BCB_1C_1 დიდ წრეებს).

სივრცეში არასწორი (ორ სხვადასხვა სიბრტყეში მდებარე) წრეების, ანუ სფეროს ცენტრიდან გამოსული სხივების, სფეროზე კვადრებს შორის სფერული ხაზი იქნება დიდი წრეხაზის რკალი, რომელიც წარმოადგენს სფეროს ცენტრზე დაყრდნობილი ბრტყელი კუთხის საზომს; ცხადია, როცა წრეებს შორის კუთხე მართია, შესაბამისი რკალი დიდი წრეხაზის მეოთხედის იქნება (AB , A_1B , AC , A_1C რკალები).

ელიფერის (1707—1783) წინადადებით, რასაც „ელიფერის შეზღუდვა“ უწოდებენ, სფეროზე ორ წერტილს შორის მანძილად მიღებულია დიდი წრეხაზის ის რკალი, რომელიც ნაკლებია 180° -ზე. ეს რკალი უმოკლესი მანძილია ამ წერტილებს შორის (AB , AC , BC).

ელიფერის შეზღუდვის შესაბამისად ორი დიდი წრეხაზის რკალები (ნახ. 1) გადაიკვეთება მხოლოდ ერთ წერტილში (A , B , C წერტილები აღნიშნული შეზღუდვის მიხედვით მიღებულია, შესაბამისად, 180° -ზე ნაკლები BA და CA , AB და CB , AC და BC რკალების გადაკვეთით).

სფეროს ნებისმიერად (როგორც ცენტრზე, ისე ცენტრის გარეთ) გაკვეთით მიღებული წრისადმი მართობი დიამეტრი სფეროსი იწოდება ამ წრის ღერძად (ნახ. 2: PP_1 არის როგორც $TNMS$ მცირე წრის, ისე $DBAC$ დიდი წრის ღერძი). ეს ღერძი გაკვეთს სფერულ ზედაპირს ორ დიამეტრალურად მოწინააღმდეგე წერტილებში, რომელთაც ეწოდებათ სფეროს პოლუსები (P , P_1).

ნებისმიერი წრეხაზის ყველა წერტილი პოლუსებიდან ტოლი მანძილებით არის დაშორებული, ამიტომ პოლუსებს უწოდებენ შესაბამისი წრეხაზების სფერულ ცენტრებს, ხოლო სათანადო დიდი წრეხაზის რკალებს სფერული რადიუსები ეწოდება. მაშასადამე, ნებისმიერი წრეხაზის სფერული რადიუსი მუდმივია.

ის წრეხაზი, რომლის სფერული რადიუსი 90° -ის ტოლია, დიდი წრეხაზია და იწოდება პოლუსების გეომეტრიულ ეკვატორად ანუ პოლარად (ნახ. 2: $DBAC$ დიდი წრეხაზი წარმოადგენს P და P_1 წერტილების გეომეტრიულ ეკვატორს ანუ პოლარს).

სფეროს ზედაპირზე სივრცის ნებისმიერი წერტილის ორთოგონალური გეგმილი იქნება მოცემული წერტილიდან სფეროს ზედაპირისადმი დაშვებული ნორმალის (მართობის) ფუძე.

სფეროს ზედაპირზე სივრცის ნებისმიერი ხაზის ორთოგონალურად დაგეგმილებისათვის წრფის თავსა და ბოლოს შევუერთებთ სფეროს O ცენტრს ანუ O ცენტრიდან გავატარებთ სხივებს ხაზის თავსა და ბოლოში გავლით, რომელთა ნორმალი კვადრების სფეროს ზედაპირზე გეგმილების შემავრთვბელი დიდი წრეხაზის რკალი სფეროს ზედაპირზე იქნება მოცემული წრფის

ორთოგონალური გეგმილი. ცხადია, ეს რკალი მისი შესაბამისი ბრტყელი ცენტრალური კუთხის საზომი იქნება.

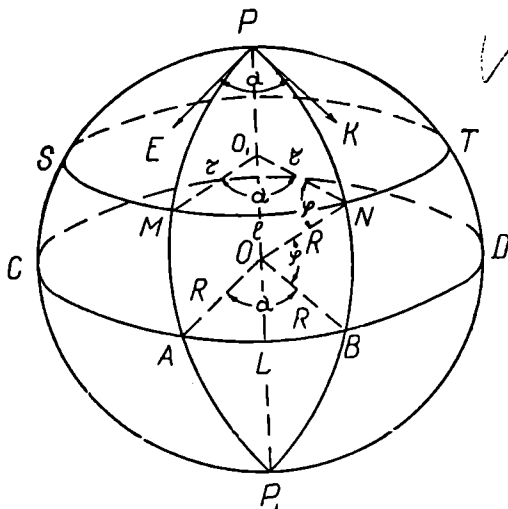
აღნიშნულს შესაბამისად, ორწახნაგოვანი, სამწახნაგოვანი, მრავალწახნაგოვანი და საერთოდ სივრცითი კუთხის სფეროს ზედაპირზე ნორმალური კვანძები იქნება მის O ცენტრში გატარებული წახნაგების მიერ სფეროს ზედაპირის განკვეთით მიღებული დიდი წრის რკალები (ნახ. 1). ეს რკალები სფეროს ზედაპირზე შესაბამისად ქმნიან AA_1BC ; $AA_1B_1C_1$; AA_1BC_1 ; AA_1B_1C ; BB_1AC ; $BB_1A_1C_1$; BB_1A_1C ; BB_1AC_1 ; CC_1AB ; CC_1AB_1 ; GC_1A_1B ; $CC_1A_1B_1$ სფერულ ორგვერდოვან ედს ანუ ორკუთხედს, სფერულ სამკუთხედს (ABC , A_1BC , AB_1C და სხვა), სფერულ მრავალკუთხედს და სფერულ წრეს, რაც ტოლქალოვანია ადგილის ორგვერდოვანედის, სამკუთხედის, მრავალკუთხედისა და წრის სფეროს ზედაპირზე ორთოგონალურად ანუ ნორმალებით დაგეგმილებსა. ყოველი ორწახნაგოვანი კუთხე სფეროზე წარმოადგენს სფერულ კუთხეს და ის იზომება შესაბამისი $KPE = \alpha$ ხაზოვანი კუთხით, რომელიც მოქცეულია სფერული კუთხის წვეროში გატარებული დიდი წრის რკალების მხებ ხაზებს შორის (ნახ. 1 და 2). სფერული კუთხეების ოდენობების ურთიერთშედარებისათვის ეს კუთხეები გამოიასახება მათი წვეროდან დიდი წრეხაზის მეოთხედით დაშორებული ხაზოვანი კუთხის შესაბამისი დიდი წრეხაზის ანუ პოლარების რკალებით (ნახ. 1, $A = \angle BOC = \alpha = \alpha$, ნახ. 2, $P = \alpha = \angle AOB = L$). მასშადამე, სფერული A, B, C კუთხეების საზომი იქნება შესაბამისი პოლარების რკალები (ნახ. 1); წიბოებს შორის მოქცეული ბრტყელი a, b, c კუთხეების საზომი იქნება შესაბამისი დიდი წრის a, b, c რკალები, ხოლო ამ კონტურების პირეულებით გაიზომება შესაბამისი სივრცითი კუთხე¹. წიბოების სიგრძეებისა და შესაბამისი საბრტყეების განსაზღვრა შეუძლებელია სფეროს ზედაპირზე მათი გეგმილების გამოუსახველობის გამო.

სფერული ტრიგონომეტრია საშუალებას გვაძლევს სამწახნაგოვანი კუთხის სიბრტყეებს (წახნაგებს) შორის კუთხეებსა და ხაზებს (წიბოებს) შორის მოქცეულ კუთხეთა ანუ სფერული სამკუთხედის კუთხეებსა და გვერდებს შორის მათემატიკური კავშირი დაემაყაროთ, რაც მეტად საჭიროა მრავალი სამეცნიერო დარგების დიდმნიშვნელოვანი ამოცანების ამოხსნისათვის.

როგორც ზემოთ იყო თქმული, სფეროს ზედაპირზე კვანძები და მათი გეგმილები შეიძლება მივიღოთ სფეროს ცენტრზე არაგამავალი მიმართულუბით, მაგრამ ეს კვანძები და გეგმილები ნორმალური, ორთოგონალური არ იქნება. მაგალითად, სფერო შეიძლება გაიკვეთოს ნებისმიერი მის ცენტრზე არაგამავალი სიბრტყით, რის შედეგად სფეროს ზედაპირზე მიიღება მცირე წრეხაზი (წრე), მაგრამ ეს კვალი ნორმალური (ორთოგონალური) არ იქნება. მასშადამე, სფეროს ზედაპირზე მცირე წრეხაზი (ან წრე) ორგვერდი გზით მიიღება: ერთი—როგორც ნებისმიერი (ცენტრზე არაგამავალი) სიბრტყით სფეროს გადაკვეთით და მეორე—სივრცითი კუთხის ანუ სფეროს O ცენტრში ამართული კონუსის მიერ სფეროს ზედაპირის გადაკვეთით ანუ დიდი წრის რკალების ერთობლიობით, რომლებიც გადაგვარდებიან მცირე

¹ ნახაზზე $BC = \alpha$ რკალი წარმოადგენს როგორც სფერული A კუთხის, ისე ბრტყელი BOC კუთხის საზომს, რადგანაც BC რკალი A წერტილის პოლარია და ამავე დროს BO და CO წიბოებს შორის ხაზოვანი (ბრტყელი) კუთხეა.

წრეხაზად. ორივე შემთხვევაში მცირე წრეხაზის სიმრუდეს რადიუსი მისი ცენტრის შესაბამისია (ნახ. 2, $TNMS$ მცირე წრის რადიუსია r , ხოლო სფერული რადიუსია $PN = PM = PS = PT$).



ნახ. 1. 2. 2. 2.

დავამყაროთ კავშირი $AB=L$ დიდი წრეხაზის (პოლარ) რკალსა და $MN=l$ მცირე წრეხაზის რკალს შორის. (2) ნახაზის მიხედვით დავწერთ:

$$\frac{L}{R} = \frac{\alpha^\circ}{\rho^\circ} = \frac{\alpha'}{\rho'} = \frac{\alpha''}{\rho''},$$

აქედან

$$L = \frac{\alpha''}{\rho''} \cdot R = \alpha R, \quad (1.2.2.1)$$

სადაც L არის დიდი წრეხაზის (პოლარის) რკალის ოდენობა ხაზოვან განზომილებაში;

α'' — იგივე, კუთხურ განზომილებაში [გრადუსი ($^\circ$), მინუტი ($'$), სეკუნდი ($''$) ან გრადი (g), გრადული მინუტი ($'$ ან g'), გრადული სეკუნდი ($''$ ან g'')];

α — იგივე, რადიანებში ანუ განყენებულ განზომილებაში;

R — სფეროს რადიუსი;

$$\rho = \text{რადიანი} = 57^\circ, 3 = 3438' = 206265'' = \frac{1}{\sin 1''}.$$

მცირე $TNMS$ წრის რადიუსი

$$r = R \cos \varphi, \quad (1.2.2.2)$$

სადაც φ არის სფეროს R რადიუსის მიერ მცირე წრესთან ან, რაც იგივეა, დიდ წრესთან შედგენილი კუთხე (მცირე წრის რკალური დაშორება დიდი წრისაგან).

მცირე წრის რკალი, რომელიც შეესაბამება α ცენტრალურ კუთხეს, (1) და (2) გამოსახულებების გამოყენებით გამოითვლება ფორმულით:

$$l = \alpha r = \alpha R \cos \varphi = L \cos \varphi. \quad (1.2.2.3)$$

დიდი წრეხაზის რკალებს შორის უმარტივეს ფიგურას წარმოადგენს სფერული ორგვერდოვანედი (ნახ. 2, PAP_1B ანუ PP_1AB). მათი გვერდები ყოველთვის ტოლია 180° , რადგანაც ეს გვერდები ეყრდნობა სფეროს დიამეტრს. აღნიშნულის გამო სფერული ორგვერდოვანედები სრულიად განსაზღვრულია, თუ ცნობილია მათი სფერული კუთხე.

სფეროს ზედაპირის ფართობი ($P_{სფ}$) უდრის მისი დიდი წრეხაზის გაოთხკეცებულ ფართობს

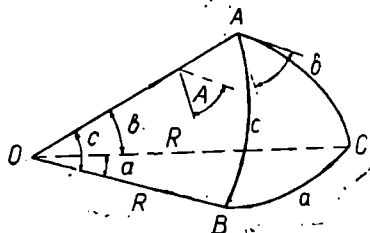
$$P_{სფ} = 4\pi R^2. \quad (1.2.2.4)$$

სფეროს მოცულობა ($V_{სფ}$) უდრის მისი ზედაპირის ფართობისა და რადიუსის მესამედის ნამრავლს

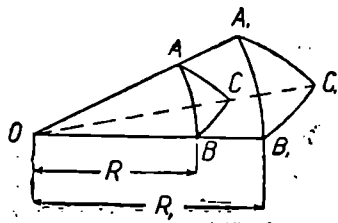
$$V_{სფ} = P_{სფ} \frac{R}{3} = \frac{4}{3} \pi R^3. \quad (1.2.2.5)$$

1.2.3. სფერული სამკუთხედი და მისი ელემენტები

წინა პარაგრაფში ვნახეთ, რომ სფერულ სამკუთხედს აქვს ექვსი ელემენტი: სფერული A, B, C კუთხეები და შესაბამისი a, b, c გვერდები. მაშასადამე, სამკუთხედის სფერული კუთხეები აღინიშნება მისი წვეროების შესა-



ნახ. 1.2.3.1.



ნახ. 1.2.3.2.

ბამისი ლათინური მთავრული ასოებით, ხოლო მათი მოპირდაპირე გვერდები, შესაბამისად, მცირე ასოებით (ნახ. 1).

სფერული სამკუთხედის a, b, c გვერდები კუთხურ განზომილებაში გამოისახება და ამიტომ სფეროს R რადიუსს, რომელსაც განხილადი სამკუთხედები შეესაბამება, მნიშვნელობა არა აქვს. მაგალითად, (2) ნახაზზე გამოსახულია ორი ABC და $A_1B_1C_1$ სფერული სამკუთხედი, რომლებიც შეესაბამებიან R და R_1 რადიუსის სფეროს, მაგრამ მიღებული არიან ერთი და იმავე სამწახნაგა კუთხის გადაკვეთით. ეს სამკუთხედები მსგავსია, რომელთა ხაზოვანი ელემენტები სხვადასხვა ოდენობის არის, ხოლო კუთხურ განზომილებაში გამოსახულნი კი ურთიერთტოლები არიან.

ფორმის მიხედვით სფერული სამკუთხედები მართკუთხაა, როცა მათი ერთ-ერთი წვეროს შესაბამისი სფერული კუთხე 90° -ია, მართგვერ-

დაა, როცა მათი ერთ-ერთი გვერდი 90° -ია, და ირიბკუთხა. აგრეთვე არსებობს თანადროულად მართკუთხეებიანი და მართგვერდებიანი სფერული სამკუთხედები, მაგალითად, (ნახ. 1.2.2.2) APB , რომლის A და B წვეროსთან კუთხეები და AP და BP გვერდები ცალ-ცალკე არის 90° -ი. ასეთ სამკუთხედს ტოლფერდასაც უწოდებენ. სფერულ სამკუთხედს თანადროულად შეიძლება ჰქონდეს ყველა კუთხე და ყველა გვერდი ცალ-ცალკე 90° -ი, როპელსაც მივიღებთ, თუ სფეროს გადავკვეთავთ ურთიერთმართობი სამი დიდი წრით. ასეთი ტოლგვერდა სამკუთხედის ფართობი სფეროს ზედაპირის მერვედი იქნება.

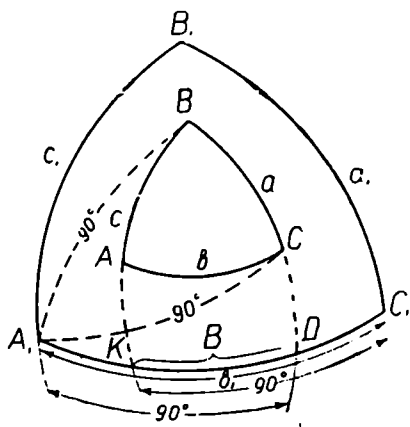
აქ განვიხილავთ მხოლოდ ეილერის სფერულ სამკუთხედებს (სფეროზე სამ წერტილს მხოლოდ ერთი სამკუთხედი შეესაბამება), რომელთა კუთხეებსა და გვერდებს შეიძლება ჰქონდეთ 0° — 180° -მდე ოდენობები.

მათემატიკაში დამუშავებულია ისეთი სფერული სამკუთხედების ამოხსნის თეორია, რომელთა ელემენტების ოდენობები 0° — 360° შეიძლება იყოს. მაგალითად, მიობიუსის სამკუთხედები (სფეროზე სამ წერტილს 16 სამკუთხედი შეესაბამება), აგრეთვე ისეთი სამკუთხედები, რომელთა ელემენტები შეუზღუდავი ზომის იყოს, მაგალითად, გაუს-სტიუდის სამკუთხედები (სფეროზე სამ წერტილს უამრავი სამკუთხედები შეესაბამება). ასეთი სამკუთხედების ამოხსნას თეორიული მნიშვნელობა აქვს, ხოლო საინჟინრო საქმეში გამოყენება ვერ კპოვა.

1.2.4. ურთიერთპოლარული სფერული სამკუთხედები

მოცემული სფერული სამკუთხედის A, B, C წვეროები მივიღოთ პოლუსებად (ნახ. 1). ამ პოლუსებიდან 90° -ანი სფერული რადიუსებით შემოხაზული პოლარების გადაკვეთის შესაბამისი A_1B_1, B_1C_1, C_1A_1 რკალებით მივიღებთ $A_1B_1C_1$ სფერულ სამკუთხედს, რომელსაც ეწოდება მოცემული ABC სფერული სამკუთხედის პოლარული სფერული სამკუთხედი.

მიღებული სამკუთხედები ურთიერთპოლარული სამკუთხედებია; მაშასადამე, $A_1B_1C_1$ სფერული სამკუთხედის წვეროებიც პოლუსებს წარმოადგენს ABC სამკუთხედისათვის. მართლაც, აგების თანახმად (ნახ. 1), ABC სფერული სამკუთხედის B და C წვეროები წარმოადგენს $A_1B_1C_1$ სამკუთხედის b_1 და c_1 გვერდის პოლუსებს, ე. ი. თითოეული BA_1 და CA_1 სფერული რადიუსი 90° -ის ტოლი იქნება. როგორც ვხედავთ, ABC სფერული სამკუთხედის a გვერდის B და C წერტილები $A_1B_1C_1$ სამკუთხედის A_1 წვეროდან დაშორებულია 90° -ის ტოლი დიდი წრის რკალით.



ნახ. 1.2.4. 1.

ცხადია, a გვერდის ყველა წერტილი იმავე მანძილით იქნება დაშორებული A_1 წერტილიდან, ე. ი. იგი a გვერდისათვის პოლუსს წარმოადგენს და თვით a გვერდი A_1 წერტილის პოლარის რკალი იქნება. ანალოგიური მსჯელობით დავრწმუნდებით, რომ a და b გვერდებიც წარმოადგენს $A_1B_1C_1$ სფერული სამკუთხედის B_1 და C_1 წვეროების პოლარების რკალებს.

ურთიერთპოლარული სამკუთხედების ელემენტებს შორის ღირსშესანიშნავი დამოკიდებულება ის არის, რომ ერთ-ერთი სამკუთხედის ნებისმიერი კუთხე (ან გვერდი) შეიძლება შეეცვალოს 180° -ისა და მეორე სამკუთხედის შესაბამისი გვერდის (ან კუთხის) სხვაობით:

$$\left. \begin{aligned} A &= 180^\circ - a_1, & A_1 &= 180^\circ - a \\ B &= 180^\circ - b_1, & B_1 &= 180^\circ - b \\ C &= 180^\circ - c_1, & C_1 &= 180^\circ - c \\ a &= 180^\circ - A_1, & a_1 &= 180^\circ - A \\ b &= 180^\circ - B_1, & b_1 &= 180^\circ - B \\ c &= 180^\circ - C_1, & c_1 &= 180^\circ - C \end{aligned} \right\} \quad (1.2.4.1)$$

(1) დამოკიდებულებების მართებულობაში დავრწმუნდებით შემდეგნაირად: a და c გვერდების განგრძობით $A_1C_1 = b_1$ გვერდზე, შესაბამისად, მივიღებთ D და K წერტილებს, რომელთა შორის დიდი წრის (პოლარის) DK რკალი იქნება B სფერული კუთხის საზომი. მაშასადამე, $DK = B$ კუთხეს (ნახ. 1). ამავე დროს როგორც A_1 , ისე C_1 წვეროები არის a და c გვერდის პოლუსები. მაშასადამე, $A_1D = C_1K = 90^\circ$ აღნიშვნის საფუძველზე დავწერთ:

$$b_1 = 90^\circ - B + 90^\circ = 180^\circ - B,$$

ანუ

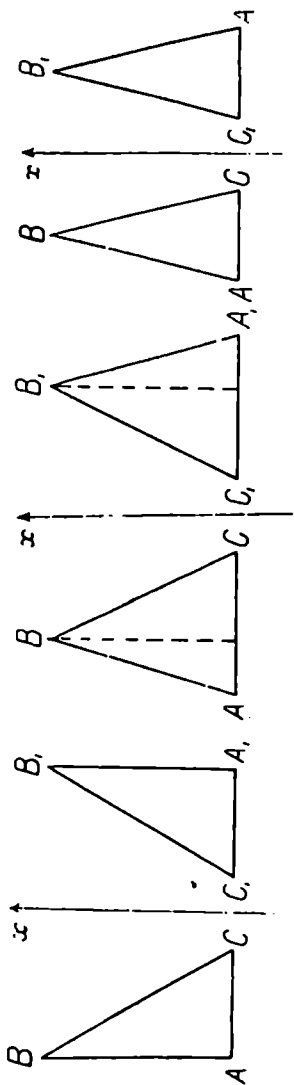
$$B = 180^\circ - b_1.$$

ანალოგიური მსჯელობითა და სამკუთხედების ურთიერთპოლარობის თვისების გამოყენებით მივიღებთ (1) დამოკიდებულებებში მიღებულ ყველა ტოლობას.

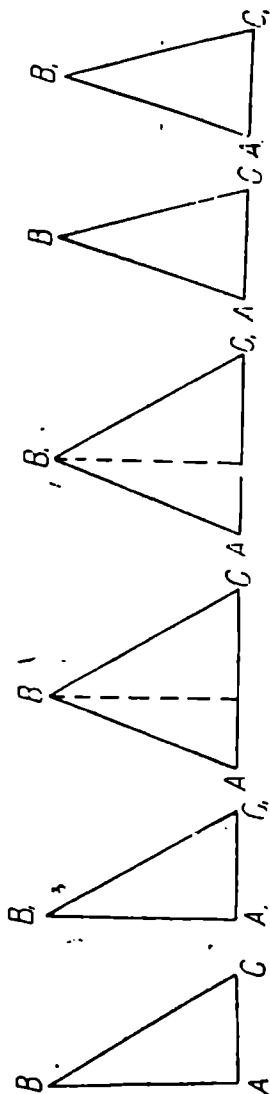
(1) ნახაზი შეესაბამება იმ შემთხვევას, როცა ABC სამკუთხედის გვერდები ნაკლებია 90° -ზე, რის გამო იგი მოთავსებულია მისი პოლარული $A_1B_1C_1$ სამკუთხედის შიგნით. ABC სამკუთხედის ერთი ან ორი გვერდი რომ 90° -ზე მეტი იყოს, პოლარული სამკუთხედების გვერდები ურთიერთგადაიკვეთებოდა.

1.2.5. სფერული სამკუთხედების ტოლობა და ტოლდღობა. სიმეტრიული და შეზღუდული სფერული სამკუთხედები

საერთოდ, ყოველი ცნების განსაზღვრება უნდა დასტურდებოდეს აუცილებლობისა და საკმარისობის პირობის დაცვით. მაგალითად, ABC და $A_1B_1C_1$ სამკუთხედები (ნახ. 1) არის ტოლდღობი, რადგანაც $A_1B_1C_1$ სამკუთხედის მხოლოდ გადაბრუნებით, ანუ ნახაზის სიმეტრიიდან გამოტანით, და ABC სამკუთხედზე დადებით მისი არაშესაბამისი ელემენტები დაფარავს ABC სამკუთხედის ელემენტებს. ეს სამკუთხედები სიმეტრიულებია x ღერძის მიმართ. სიმეტრიეზე მათი შესაბამისი ელემენტები ერთნაირად განლაგებული და ტოლი არ არის, მაგრამ ტოლებია არაშესაბამისი ელემენტები.



ნახ. 1.2.5.1.



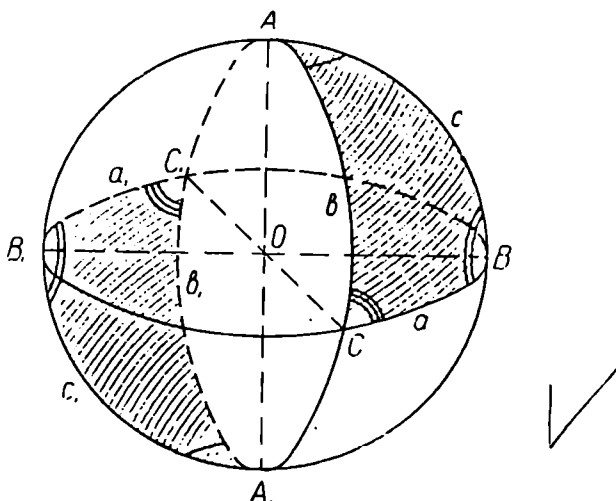
ნახ. 1.2.5.2.

ABC და $A_1B_1C_1$ სამკუთხედები (ნახ. 2) არის ტოლები, რადგანაც სიმეტრეზე $A_1B_1C_1$ სამკუთხედის მოძრაობით მისი ყველა ელემენტი დაფარავს ABC სამკუთხედის შესაბამის ელემენტებს, ანუ მათი შესაბამისი ელემენტები სიმეტრეზე ერთნაირად განლაგებული და ტოლებია.

ზემოსხენებულის ანალოგიურად სფეროზე ორი სფერული სამკუთხედი ტოლია, თუ მათი შესაბამისი ელემენტები ერთნაირად განლაგებული და ტოლია: 1. ორი გვერდი და მათ შორის კუთხე; 2. ერთი გვერდი და მათი მიმდებარე ორი კუთხე; 3. სამი გვერდი; 4. სამი კუთხე.

პირველი სამი თვისება ისევე, როგორც ბრტყელი სამკუთხედების შემთხვევაში, სფეროზე მობრუნებისა და ურთიერთდაფარების ხერხით მტკიცდება.

მეოთხე თვისების განხილვისას ორნაირი შემთხვევა შეიძლება გვექნეს: პირველი შემთხვევა გვაქვს, როცა სფეროზე ორი სამკუთხედი შესაბამისი



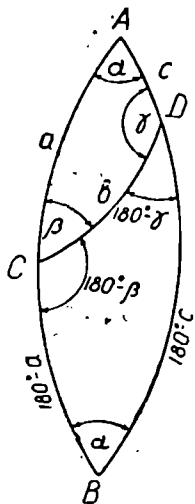
ნახ. 1. 2. 5. 3.

ელემენტებით ერთნაირად განლაგებული და ტოლებია, ე. ი. მათი სივრცითი კუთხეები ტოლია. მაშასადამე, ასეთი სამკუთხედები ტოლი იქნება. მეორე შემთხვევას მივიღებთ, როცა ორი სამკუთხედის შესაბამისი ელემენტები ერთნაირად განლაგებული არ არის, ხოლო სივრცითი კუთხეები ტოლია, ე. ი. ეს სამკუთხედები ტოლი დღეებია. ასეთს მივიღებთ, თუ ერთი და იმავე სივრცით კუთხეს (წვეროთი სფეროს ცენტრზე) განვაგრძობთ სფეროს დიამეტრის გასწვრივ მის გადაკვეთამდე. ABC და $A_1B_1C_1$ (ნახ. 3) სფერული სამკუთხედები სიმეტრიულია, რადგანაც ერთი სამკუთხედი მიღებულია მეორე სამკუთხედის გვერდების განგრძობით. ასე რომ, შესაბამისი წვეროები ამ სამკუთხედებისა ეყრდნობა სფეროს ერთსა და იმავე დიამეტრს. ამ სამკუთხედების ტოლიობა მტკიცდება მათი კუთხეების შესაბამისი სფერული ორკუთხედების ურთიერთშედარებით. მაგალითად, (ნახ. 3) $A = A_1$; $B = B_1$; $C = C_1$, რადგანაც, შესაბამისად, სფერული ორკუთხედი $AA_1BC = AA_1B_1C_1$; $BB_1AC = BB_1A_1C_1$; $CC_1AB = CC_1A_1B_1$. როგორც ხედავთ, კუთხეები ტოლია,

მ. ი. გვერდებიც ტოლია და სიმეტრიული სფერული ABC და $A_1B_1C_1$ სამკუთხედები ტოლდიდებია. მაშასადამე, ორივე სამკუთხედი იჭერს სიერცის ერთნაირ ოდენობას.

შეუღლებული ანუ შემავსებელი ეწოდება იმ სფერულ სამკუთხედს, რომელიც მიიღება სფერული ორგვერდოვანედის რაიმე მიმართულებით დიდი წრის რკალით გადაკვეთით. α კუთხის მქონე (ნახ. 4) სფერული ორგვერდოვანედის $CD = b$ დიდი წრის რკალით გადაკვეთით მივიღეთ ACD და BCD სამკუთხედები, რომელთაც აქვთ ერთი საერთო b გვერდი და მისი მოპირდაპირე კუთხეები (α) ურთიერთტოლი. დანარჩენი წვეროების C და D კუთხეები და მათზე მიმხრობილი გვერდები ერთმანეთს ავსებენ 180° -მდე.

ზნირად საინჟინრო საქმეში კმაყოფილდებიან ცნებათა განსაზღვრებების შესახებ აუცილებლობის პირობის დაკვირვებით. მაშასადამე, სამკუთხედების ტოლობას და ტოლდიდობას აიგივეებენ.



ნახ. 1. 2. 5. 4.

1.2.6. სფერული სამკუთხედების არსებობის შესაძლებლობისათვის მის ელემენტებს შორის ზოგიერთი აუცილებელი დამოკიდებულება

1. სფერული სამკუთხედის გვერდების ჯამი მეტია 0° -ზე და ნაკლებია 360° -ზე

$$0^\circ < a + b + c < 360^\circ. \quad (1.2.6.1)$$

2. სფერული სამკუთხედის ორი გვერდის ჯამი მეტია მესამე გვერდზე

$$a + b > c; \quad a + c > b; \quad b + c > a. \quad (1.2.6.2)$$

(1) და (2) დამოკიდებულებები გამოსახავს სამწახნაგა კუთხის ბრტყელ კუთხეთა შორის ცნობილ დამოკიდებულებას.

(2) დამოკიდებულებიდან გამომდინარეობს:

a) სფერული სამკუთხედის ყოველი გვერდი მეტია დანარჩენთა სხვაობაზე

$$a > c - b; \quad c > b - a; \quad b > a - c. \quad (1.2.6.3)$$

b) სფერული სამკუთხედის ნახევარპერიმეტრი

$$p = \frac{a + b + c}{2}$$

მეტია მისი ყოველი გვერდის ოდენობაზე

$$p > c; \quad p > b; \quad p > a. \quad (1.2.6.4)$$

3. სფერული სამკუთხედის კუთხეების ჯამი მეტია 180° -ზე და ნაკლებია 540° -ზე.

$$180^{\circ} < A+B+C < 540^{\circ}. \quad (1.2.6.5)$$

(5) დამოკიდებულების მართებულობა ურთიერთპოლარული ABC და $A_1B_1C_1$ სამკუთხედის (ნახ. 1. 2. 4. 1) განხილვით დასტურდება. $A_1B_1C_1$ სამკუთხედისათვის (1) დამოკიდებულების შესაბამისად დავწერთ:

$$0^{\circ} < a_1 + b_1 + c_1 < 360^{\circ}, \quad (1.2.6.6)$$

რომელსაც (1.2.4.1) დამოკიდებულებების გამოყენებით ვადავწერთ:

$$0^{\circ} < (180^{\circ} - A) + (180^{\circ} - B) + (180^{\circ} - C) < 360^{\circ}$$

ანუ

$$0^{\circ} < 540^{\circ} - (A+B+C) < 360^{\circ}.$$

მიღებული უტოლობის სამივე ნაწილიდან 540° -ის გამოკლებით და მინუს 1-ზე გამრავლებით მივიღებთ (5) დამოკიდებულებას.

4. სფერული სამკუთხედის ყოველი ორი კუთხის ჯამს მინუს მესამე კუთხე ნაკლებია 180° -ზე:

$$A+B-C < 180^{\circ}; \quad A+C-B < 180^{\circ}; \quad B+C-A < 180^{\circ}. \quad (1.2.6.7)$$

(7) გამოსახულების დასამტკიცებლად $A_1B_1C_1$ პოლარული სამკუთხედი-სათვის (2) დამოკიდებულების მიხედვით დავწერთ

$$a_1 + b_1 > c_1,$$

ანუ (1.2.4.1) დამოკიდებუ-
ლების გამოყენებით

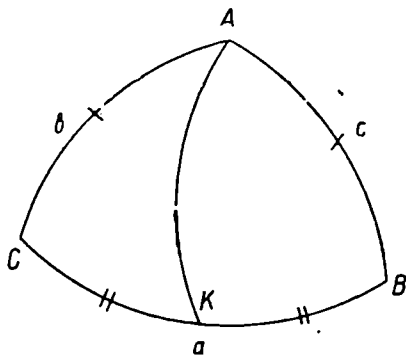
$$(180^{\circ} - A) + (180^{\circ} - B) > 180^{\circ} - C,$$

საიდანაც

$$A+B-C < 180^{\circ}.$$

ანალოგიურად მტკიცდება
(7) დამოკიდებულების და-
ნარჩენი უტოლობანი.

5. სფერული სამკუთხე-
დის ტოლი გვერდების პირ-
დაპირ ტოლი კუთხეებია.
მაშასადამე, ABC სამკუ-

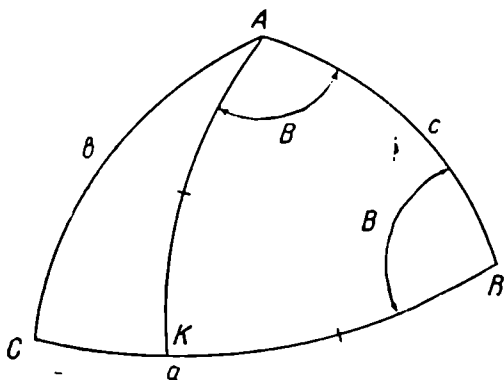


ნახ. 1. 2. 6. 1.

თხედში, თუ $b=c$, მაშინ $B=C$ (ნახ. 1). ამისათვის გავყოთ $CB=a$ გვერდი შუაზე; A და K წერტილზე გავატაროთ AK დიდი წრის რკალი, რომელიც ABC სამკუთხედს გაპყოფს ორ AKC და AKB სამკუთხედებად, რომლებსაც გვერდები ურთიერთტოლი ექნებათ, ხოლო ერთნაირად განლაგებულნი არ იქნებიან. მაშასადამე, ეს სამკუთხედები იქნება სიმეტრიული და სფეროზე მათი მოძრაობით ისინი ერთმანეთს არ შეუთავსდებიან, რაც მათ ტოლდი-
ლობას ნიშნავს. როგორც ვიცით, სიმეტრიულ სამკუთხედებში არაშესაბა-
მისი კუთხეები ტოლებია, ე. ი. $B=C$.

6. დიდი კუთხის პირდაპირ დიდი გვერდი ძვეს. მაშასადამე, სამკუთხედ-
ში თუ $A > B$, მაშინ $a > b$.

ავაგოთ A წვეროსთან B კუთხე. რის შედეგადაც A წერტილში გატარებული დიდი წრის რკალი გაივლის $BC=a$ გვერდის K წერტილში, ე. ი. წინა თეორემის თანახმად, AKB სამკუთხედის $AK=BK$, აგრეთვე (2) დამოკი-



ნახ. 1. 2. 6. 2.

ლებულების თანახმად, $AK+KC=BK+KC=a > b$. მართებულია უკუშეკვლობაც — სფერულ სამკუთხედში დიდი გვერდის პირდაპირ დიდი კუთხე იქნება.

7. სიდიდეს, რომელიც გამოსახება ტოლობით

$$A^\circ + B^\circ + C^\circ - 180^\circ = \varepsilon^\circ, \quad (1.2.6.8)$$

ეწოდება სფერული სიკვარბე, გამოსახული კუთხურ (გრადუსულ) განზომილებაში, რომლის ოდენობა იცვლება $0^\circ - 360^\circ$ -მდე (ნულიდან სრულ კუთხემდე); ხოლო იგივე სიდიდის

$$A + B + C - \pi = \varepsilon \quad (1.2.6.9)$$

ტოლობით გამოსახვით იგულისხმება, რომ მისი ყველა ელემენტი გამოსახულია განწყენებულ ერთეულებში (რადიანებში), რომლის ოდენობა იცვლება $0 - 2\pi$ -მდე (ნულიდან დიდ წრეხაზამდე). როცა $\varepsilon = 0$, მაშინ სფერული სამკუთხედი ბრტყელ სამკუთხედს წარმოადგენს.

ზემოთ განხილული მუზლების საფუძველზე სფერულ სამკუთხედის არსებობის შესაძლებლობის პირობები კიდევ ორი მუხლით შეიძლება გამოასახოს.

8. როდესაც ორი გვერდის სხვაობა მეტია, უღრის ან ნაკლებია 0° -ზე, მაშინ შესაბამისი კუთხეების სხვაობაც მეტია, უღრის ან ნაკლებია 0° -ზე, ე. ი. როცა

$$\left. \begin{array}{ll} a-b \cong 0^\circ, & \text{მაშინ } A-B \cong 0^\circ \\ a-c \cong 0^\circ, & \text{" } A-C \cong 0^\circ \\ b-a \cong 0^\circ, & \text{" } B-A \cong 0^\circ \\ b-c \cong 0^\circ, & \text{" } B-C \cong 0^\circ \\ c-a \cong 0^\circ, & \text{" } C-A \cong 0^\circ \\ c-b \cong 0^\circ, & \text{" } C-B \cong 0^\circ \end{array} \right\} \quad (1.2.6.10)$$

9. როდესაც ორი კუთხის ჯამი მეტია, ტოლია ან ნაკლებია 180° -ზე, მაშინ შესაბამისი გვერდების ჯამიც მეტია, ტოლია ან ნაკლებია 180° -ზე, ე. ი. როცა

$$\left. \begin{aligned} A+B &\cong 180^\circ, & \text{მაშინ} & a+b \cong 180^\circ \\ A+C &\cong 180^\circ, & & a+c \cong 180^\circ \\ B+C &\cong 180^\circ, & & b+c \cong 180^\circ \end{aligned} \right\} \quad (1.2.6.11)$$

1.2.7. სფერული ორგვერდოვანედისა და სფერული სამკუთხედის ფართობი

სფეროს ზედაპირი, რომ დავყოთ 360 ტოლ ნაწილად, მივიღებთ სფერულ ორგვერდოვანედებს, რომელთა კუთხეები იქნება 1° . სფეროს ზედაპირის გამომსახველი (1.2.2.4.) ფორმულის შესაბამისად თითოეული ორგვერდოვანედის ფართობი გამოითვლება ფორმულით:

$$P_{1^\circ} = \frac{4\pi R^2 \cdot 1^\circ}{360^\circ} = \frac{2R^2 \cdot 1^\circ}{\rho^\circ}, \quad (1.2.7.1)$$

სადაც

$$\rho^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} = 57,2957795.$$

α° კუთხის მქონე სფერული ორგვერდოვანედის ფართობი კი იქნება

$$P_{\alpha^\circ} = \frac{2R^2 \alpha^\circ}{\rho^\circ}, \quad (1.2.7.2)$$

ხოლო α რადიანებში გამოსახული იგივე ფართობი გამოითვლება

$$P_\alpha = 2R^2 \alpha \quad (1.2.7.3)$$

ტოლობით.

სფერული ABC სამკუთხედის ΔABC ფართობი (1.2.5.3) ნახაზის მიხედვით შეიძლება გამოსახოს სამნაირად:

$$\left. \begin{aligned} P_{ABC} &= P_A - P_{A_1BC} \\ P_{ABC} &= P_B - P_{AB_1C} \\ P_{ABC} &= P_C - P_{ABC_1} \end{aligned} \right\}, \quad (1.2.7.4)$$

სადაც P_A, P_B, P_C — შესაბამისად, სფერული AA_1BC, BB_1AC, CC_1AB ორგვერდოვანედების ფართობებია;

$P_{A_1BC}, P_{AB_1C}, P_{ABC_1}$ — სფერული A_1BC, AB_1C, ABC_1 სამკუთხედების ფართობები.

(4) ტოლობების შეკრებით და სფერული ორკუთხედებისადმი, შესაბამისად, (3) დამოკიდებულებების გამოყენებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} 3P_{ABC} &= (P_A + P_B + P_C) - (P_{A_1BC} + P_{AB_1C} + P_{ABC_1}) = \\ &= 2R^2(A + B + C) - (P_{A_1BC} + P_{AB_1C} + P_{ABC_1}). \end{aligned}$$

ABC_1 და A_1B_1C სამკუთხედები არის სიმეტრიული ანუ ტოლდობი, მაშასადამე, უკანასკნელი ტოლობა შეიძლება ასე გადაიწეროს:

$$3P_{ABC} = 2R^2(A+B+C) - (P_{A_1BC} + P_{AB_1C} + P_{A_1B_1C}). \quad (1.2.7.5)$$

როგორც (1.2.5.3) ნახაზიდან ჩანს, (5) ტოლობის მარჯვენა ნაწილის მაკლები არის ნახევარსფეროს ზედაპირი ABC სამკუთხედის გამოკლებით. მაშასადამე, დაეწერთ

$$3P_{ABC} = 2R^2(A+B+C) - (2\pi R^2 - P_{ABC})$$

ანუ

$$2P_{ABC} = 2R^2(A+B+C - \pi),$$

ხოლო (1.2.6.9) დამოკიდებულების გამოყენებით სამკუთხედის ფართობი, გამოსახული სფერულ სივარბეებში, იქნება:

$$P_{ABC} = R^2 e. \quad (1.2.7.6)$$

როდესაც სფერული სივარბე სახელდებულ განზომილებაში გვექნება, მაშინ

$$P_{ABC} = R^2 \frac{e^\circ}{\rho}. \quad (1.2.7.7)$$

თვით სფერული სივარბის ოდენობა, როცა ცნობილია სფერული სამკუთხედის ფართობი, (6) და (7) ტოლობის შესაბამისად გამოითვლება ფორმულებით:

$$e = \frac{P_{ABC}}{R^2}, \quad (1.2.7.8)$$

$$e^\circ = \frac{P_{ABC}}{R^2} \rho^2. \quad (1.2.7.9)$$

1.2.8. სფერული სამკუთხედების ამოხსნის ძირითადი ფორმულები

ძირითადი ფორმულები, რომლებიც სფერული სამკუთხედების ელემენტებს შორის დამოკიდებულებას გამოსახავს, მეტად საჭიროა მრავალ სამეცნიერო დარგში, როგორცაა: ასტრონომია, გეოდეზია, კარტოგრაფია, გეოდეზიური და სამარკშეიდერო ინსტრუმენტომეოლნეობა, აეროგეოდეზია, კრისტალოგრაფია და სხვა.

ა. გვერდების კოსინუსების ფორმულები

სფერული სამკუთხედის ნებისმიერი გვერდის კოსინუსი უდრის დანარჩენი გვერდების კოსინუსების ნამრავლს პლუს ნამრავლი იმავე გვერდების სინუსებისა მათ შორის კუთხის კოსინუსზე (ნახ. 1).

$$\left. \begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \\ \cos b &= \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B \\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C \end{aligned} \right\}. \quad (1.2.8.1)$$

(1) ნახაზის მიხედვით

$$\left. \begin{aligned} \overline{DE}^2 &= \overline{OD}^2 + \overline{OE}^2 - 2\overline{OD} \overline{OE} \cos a \\ \overline{DE}^2 &= \overline{AD}^2 + \overline{AE}^2 - 2\overline{AD} \overline{AE} \cos A \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

ა) ტოლობათა სხვაობა იქნება

$$0 = (\overline{OD}^2 - \overline{AD}^2) + (\overline{OE}^2 - \overline{AE}^2) - 2\overline{OD} \overline{OE} \cos a + 2\overline{AD} \overline{AE} \cos A. \quad (b)$$

ნახაზიდან, სადაც $R=1$, დაიწერება

$$(\overline{OD}^2 - \overline{AD}^2) + (\overline{OE}^2 - \overline{AE}^2) = 2;$$

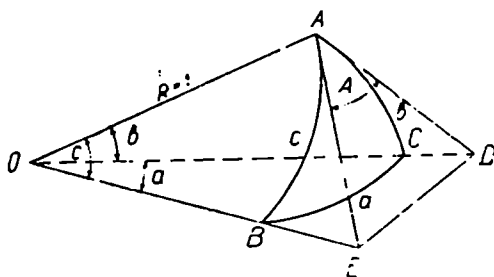
$$\overline{OD} = \sec b; \quad \overline{OE} = \sec c; \quad \overline{AD} = \operatorname{tg} b; \quad \overline{AE} = \operatorname{tg} c.$$

მაშასადამე, (b) ტოლობა მიიღებს სახეს

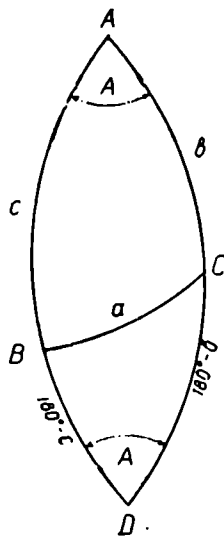
$$0 = 1 - \sec b \sec c \cos a + \operatorname{tg} b \operatorname{tg} c \cos A. \quad (c)$$

(c) ტოლობა გადავმრავლოთ $\cos b \cos c$ ნამრავლებზე და საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A. \quad (d)$$



ნახ. 1.2.8.1.



ნახ. 1.2.8.2.

ანალოგიურად მიიღება (1) დამოკიდებულებების დანარჩენი ტოლობები.

(d) ტოლობა მიღებულია იმ შემთხვევისათვის, როცა b და c გვერდები ნაკლებია 90° -ზე. ახლა მისი მართებულობა დავამტკიცოთ, როცა b და c მეტია 90° -ზე. განვიხილოთ (2) ნახაზი, რომელიც წარმოადგენს შეუღლებულ სამკუთხედებს. აქ BCD სამკუთხედის მიმართ, რომელსაც გვერდები ნაკლებია 90° -ზე, (d) ტოლობა გადაიწერება ასე:

$$\cos a = \cos(180^\circ - b) \cos(180^\circ - c) + \sin(180^\circ - b) \sin(180^\circ - c) \sin A,$$

ანუ

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A.$$

მაშასადამე, (1) ფორმულები გამოსადეგია იმ სფერული სამკუთხედების მიმართაც, რომელთაც გვერდები მეტი აქვთ 90° -ზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც a, b, c გვერდები შედარებით მცირეებია, სფერული სამკუთხედი შეიძლება მივიღოთ ბრტყელ ირიბკუთხა სამკუთხედად

და (1) ფორმულები გადაიქცევა მათი გვერდების კვადრატების გამოსათვლელ შემდეგი სახის ცნობილ ფორმულებად:

$$\left. \begin{aligned} a^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cos A \\ b^2 &= a^2 + c^2 - 2ac \cos B \\ c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos C \end{aligned} \right\}. \quad (1.2.8.1')$$

ძართლაც, დავშალოთ მწკრივებად (1) ტოლობების განყენებულარგუმენტიანი წევრები: $\sin a \approx a$; $\sin b \approx b$; $\sin c \approx c$; $\cos a \approx 1 - \frac{a^2}{2}$; $\cos b \approx 1 - \frac{b^2}{2}$; $\cos c \approx 1 - \frac{c^2}{2}$. ეს მნიშვნელობები შევიტანოთ (1) ტოლობაში:

$$1 - \frac{a^2}{2} = \left(1 - \frac{b^2}{2}\right) \left(1 - \frac{c^2}{2}\right) + bc \cos A,$$

ანუ

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A - \frac{b^2 c^2}{2}.$$

ბოლო წევრს, როგორც მეოთხე რივის მცირეს, უგულებელვყოფთ. ანალოგიურად მიიღება (1') ყველა ტოლობა.

8. კუთხეების კოსინუსების ფორმულები

სფერული სამკუთხედის ნებისმიერი კუთხის კოსინუსი უდრის დანარჩენი კუთხეების კოსინუსების ნამრავლს შებრუნებული ნიშნით პლუს ნამრავლი იმავე კუთხეების სინუსებისა მათ შორის გვერდის კოსინუსზე.

$$\left. \begin{aligned} \cos A &= -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a \\ \cos B &= -\cos A \cos C + \sin A \sin C \cos b \\ \cos C &= -\cos A \cos B + \sin A \sin B \cos c \end{aligned} \right\}. \quad (1.2.8.2)$$

ავიღოთ ორი ურთიერთპოლარული ABC და $A_1B_1C_1$ სფერული სამკუთხედები (ნახ. 1.2.4.1) და მეორე სამკუთხედის მიმართ დაწვრიოთ (1) დამოკიდებულების მიხედვით გვერდის კოსინუსის ფორმულა

$$\cos a_1 = \cos b_1 \cos c_1 + \sin b_1 \sin c_1 \cos A_1. \quad (a)$$

(a) ტოლობის არგუმენტები (1.2.4.1) დამოკიდებულების მიხედვით შეეცვალოთ მათი ეკვივალენტური სიდიდეებით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \cos (180^\circ - A) &= \cos (180^\circ - B) \cos (180^\circ - C) - \\ &- \sin (180^\circ - B) \sin (180^\circ - C) \cos (180^\circ - a), \end{aligned}$$

ანუ

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a. \quad (b)$$

ანალოგიური მსჯელობით მიიღება (2) დამოკიდებულების დანარჩენი ტოლობები.

C. სინუსების თეორემა

სფერულ სამკუთხედში კუთხეების სინუსები პირდაპირპროპორციულია მათი შესაბამისი გვერდების სინუსებისა

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}. \quad (1.2.8.3)$$

(1) დამოკიდებულებებიდან ამოვიღოთ ერთ-ერთი ტოლობა, ვთქვათ, a გვერდის ფორმულა, საიდანაც

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c}. \quad (a)$$

(a) ტოლობა ავხარისხოთ კვადრატში და ერთს გამოვკლოთ

$$1 - \cos^2 A = \sin^2 A = 1 - \frac{(\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c},$$

ანუ

$$\sin^2 A = \frac{\sin^2 b \sin^2 c - \cos^2 a + 2 \cos a \cos b \cos c - \cos^2 b \cos^2 c}{\sin^2 b \sin^2 c}. \quad (b)$$

(b) ტოლობის მარჯვენა მხარის მრიცხველის პირველი და უკანასკნელი წევრები შეიძლება გარდაიქმნას

$$\begin{aligned} \sin^2 b \sin^2 c - \cos^2 b \cos^2 c &= (1 - \cos^2 b)(1 - \cos^2 c) - \cos^2 b \cos^2 c = \\ &= 1 - \cos^2 b - \cos^2 c, \end{aligned}$$

რომელიც შევითანოთ (b) ტოლობაში, აგრეთვე მისი ორივე მხარე გავყოთ $\sin^2 a$ -ზე

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 a \sin^2 b \sin^2 c} = K^2. \quad (c)$$

(c) ტოლობის მარჯვენა მხარეში, რომელიც K^2 -ით აღვნიშნეთ, ტოლქალღვანად შედის სამკუთხედის ყველა გვერდები. მაშასადამე, (1) დამოკიდებულებაში შემავალი გვერდების დანარჩენი ტოლობებიდანაც იმავე სახის მარჯვენა მხარეს მივიღებთ, რაც უფლებას გვაძლევს დავწეროთ:

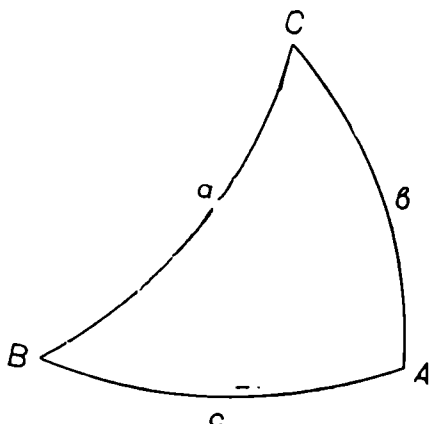
$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c} = K.$$

D. ხუთი ელემენტის ფორმულა

სფერული სამკუთხედის ნებისმიერი გვერდის სინუსისა და მისი ერთ-ერთი მიმდებარე კუთხის კოსინუსის ნამრავლი უდრის ამ კუთხის მეორე გვერდის სინუსისა და სამკუთხედის მესამე გვერდის კოსინუსის ნამრავლს მინუს ნამრავლი, შესაბამისად, იმავე გვერდებს კოსინუსის სინუსს-ზე და მათ შორის კუთხის კოსინუსს-ზე.

$$\left. \begin{aligned} \sin a \cos B &= \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A \\ \sin a \cos C &= \sin b \cos c - \cos b \sin c \cos A \\ \sin b \cos A &= \sin c \cos a - \cos c \sin a \cos B \\ \sin b \cos C &= \sin a \cos c - \cos a \sin c \cos B \\ \sin c \cos A &= \sin b \cos a - \cos b \sin a \cos C \\ \sin c \cos B &= \sin a \cos b - \cos a \sin b \cos C \end{aligned} \right\} (1.2.8.4)$$

(4) დამოკიდებულებების ნებისმიერი ტოლობა მიიღება კოსინუსების (1) დამოკიდებულებებიდან წვეილ-წვეილად თანადროულად შეთავსებით. მაგალითად, იმისათვის, რომ მივიღოთ (4) დამოკიდებულებების მეექვსე ტოლობა, უნდა გამოვიყენოთ (1) დამოკიდებულებებიდან b და c გვერდის კოსინუსის ფორმულები



ნახ. 1. 2. 8. 3.

$$\left. \begin{aligned} \cos b &= \cos a \cos c + \\ &+ \sin a \sin c \cos B \\ \cos c &= \cos a \cos b + \\ &+ \sin a \sin b \cos C \end{aligned} \right\} (a)$$

(a) დამოკიდებულებების მეორე ტოლობიდან $\cos c$ მნიშვნელობა ჩავსვათ პირველ ტოლობაში

$$\begin{aligned} \cos b &= \cos^2 a \cos b + \cos a \sin a \sin b \cos C + \sin a \sin c \cos B = \\ &= (1 - \sin^2 a) \cos b + \cos a \sin a \sin b \cos C + \sin a \sin c \cos B = \\ &= \cos b - \sin^2 a \cos b + \cos a \sin a \sin b \cos C + \sin a \sin c \cos B. \end{aligned}$$

მიღებული ტოლობის ორივე მხარეს გამოვაკლოთ $\cos b$ და შევკვეცოთ $\sin a$ -ზე, მივიღებთ (4) დამოკიდებულების მეექვსე ტოლობას. (a) ტოლობებიდან მეორეში რომ ჩავვსვათ მისი პირველი ტოლობიდან $\cos b$ -ს მნიშვნელობა, მივიღებდით (4) დამოკიდებულებების მეოთხე ტოლობას.

ხუთი ელემენტის ფორმულების მეორე სახეს მივიღებთ, თუ (4) ტოლობებს დაეწერთ პოლარული სამკუთხედისათვის. მაგალითად, a_1 გვერდისა და B_1 კუთხისათვის (ნახ. 1.2.4.1)

$$\sin a_1 \cos B_1 = \sin c_1 \cos b_1 - \cos c_1 \sin b_1 \cos A_1. \quad (b)$$

(b) დამოკიდებულების მიმართ გამოვიყენოთ (1.2.4.1) ტოლობები

$$\begin{aligned} \sin(180^\circ - A) \cos(180^\circ - b) &= \sin(180^\circ - C) \cos(180^\circ - B) - \\ &- \cos(180^\circ - C) \sin(180^\circ - B) \cos(180^\circ - a), \end{aligned}$$

მაშასადამე,

$$\sin A \cos b = \sin C \cos B + \cos C \sin B \cos a.$$

ანალოგიურად დაიწერება (4) დამოკიდებულებების სახეშეცვლილი ტოლობები:

$$\left. \begin{aligned} \sin A \cos b &= \sin C \cos B + \cos C \sin B \cos a \\ \sin A \cos c &= \sin B \cos C + \cos B \sin C \cos a \\ \sin B \cos a &= \sin C \cos A + \cos C \sin A \cos b \\ \sin B \cos c &= \sin A \cos C + \cos A \sin C \cos b \\ \sin C \cos a &= \sin B \cos A + \cos B \sin A \cos c \\ \sin C \cos b &= \sin A \cos B + \cos A \sin B \cos c \end{aligned} \right\} (1.2.8.5)$$

E. ოთხი ელემენტის ანუ კოტანგენტების ურთიერთობები

სფერული სამკუთხედის ყოველი ოთხი ელემენტიდან ორი ელემენტი იქნება შუა და ორი განაპირა. მაგალითად, $bAcB$ ოთხი ელემენტიდან A და c არის შუა და b და B განაპირა ელემენტები (ნახ. 3).

სფერულ სამკუთხედში შუა ელემენტების კოსინუსების ნამრავლი უდრის განაპირა გვერდის კოტანგენტებისა და შუა გვერდის სინუსის ნამრავლს მინუს განაპირა კუთხის კოტანგენტებისა და შუა კუთხის სინუსის ნამრავლი. ყოველი ტოლობის გასწვრივ მიწერილია სათანადო ოთხ-ოთხი ელემენტი, რომლითაც ვისარგებლოთ და დავწეროთ:

ელემენტები

$$\left. \begin{aligned} cBaC & \cos a \cos B = \operatorname{ctg} c \sin a - \operatorname{ctg} C \sin B \\ BaCb & \cos a \cos C = \operatorname{ctg} b \sin a - \operatorname{ctg} B \sin C \\ aCbA & \cos b \cos C = \operatorname{ctg} a \sin b - \operatorname{ctg} A \sin C \\ CbAc & \cos b \cos A = \operatorname{ctg} c \sin b - \operatorname{ctg} C \sin A \\ bAcB & \cos c \cos A = \operatorname{ctg} b \sin c - \operatorname{ctg} B \sin A \\ AcBa & \cos c \cos B = \operatorname{ctg} a \sin c - \operatorname{ctg} A \sin B \end{aligned} \right\} (1.2.8.6)$$

იძისათვის, რომ მივიღოთ (6) დამოკიდებულებების რომელიმე ფორმულა, უნდა გამოვიყენოთ ხუთი ელემენტის (4) დამოკიდებულებები და სინუსების (3) თეორემა. დავწეროთ (4) დამოკიდებულებებიდან პირველი ტოლობა

$$\sin a \cos B = \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A. \quad (a)$$

სინუსების თეორემიდან განვსაზღვრავთ

$$\sin a = \frac{\sin b}{\sin B} \sin A$$

და შევიტანთ (a) ტოლობაში, მივიღებთ:

$$\sin b \operatorname{ctg} B \sin A = \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A.$$

ხოლო $\sin b$ -ზე შეკვეციით და წევრთა გადალაგებით მივიღებთ (6) დამოკიდებულების მეხუთე ტოლობას

$$\cos c \cos A = \operatorname{ctg} b \sin c - \operatorname{ctg} B \sin A.$$

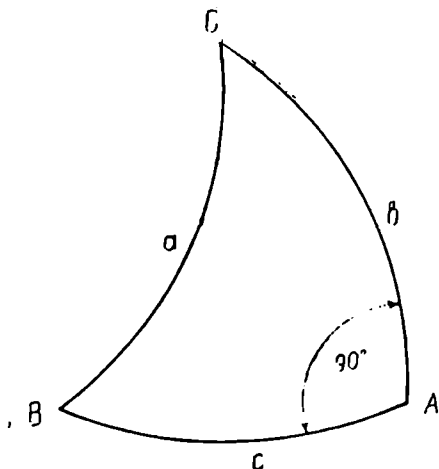
ანალოგიური გზით მიიღება (6) დამოკიდებულებების დანარჩენი ტოლობები.

სფერული სამკუთხედის მართ კუთხედ მივიღოთ A , მაშინ a იქნება პიპოტენუზა, b და c — მისი კათეტები (ნახ. 4).

სფერული სამკუთხედი ამოიხსნება ნებისმიერი მისი ორი ელემენტით (გარდა A კუთხისა). სამკუთხედის ამოხსნა ნიშნავს დანარჩენი სამი ელემენტის ოდენობების განსაზღვრას.

ცხადია, ყველაზე მოხერხებული ფორმულა სფერული სამკუთხედის ამოსახსნელად იქნება ისეთი, რომელიც გამოსახავს ერთი უცნობი ელემენტის კავშირს ცნობილ ორ ელემენტთან. ასეთი ფორმულების რაოდენობა იქნება ჯუფთება (კომბინეზონი) სამკუთხედის ხუთი ელემენტი-საგან სამელემენტიანი

$$C_5^2 = \frac{5 \cdot 4 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 10.$$



ნახ. 1. 2. 3. 4.

ისინი მიიღება ამ პარაგრაფში შემაჯავლი წინა მუხლების იმ ფორმულებიდან, რომლებშიც შედის მხოლოდ

ოთხი ელემენტი სფერული სამკუთხედისა და რომლებშიც აუცილებლად უნდა შედიოდეს A ელემენტი. ასეთები იქნება გვერდების კოსინუსების (1) დამოკიდებულებებიდან ერთი, კუთხეების კოსინუსების (2) დამოკიდებულებებიდან სამივე, სინუსების (3) დამოკიდებულებებიდან ორი და ოთხი ელემენტის (6) დამოკიდებულებებიდან ოთხი ტოლობა, რომლებიც მოყვანილია ქვემოთ:

1. $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$
2. $\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$
3. $\cos B = -\cos A \cos C + \sin A \sin C \cos b$
4. $\cos C = -\cos A \cos B + \sin A \sin B \cos c$
5. $\sin A \sin b = \sin a \sin B$
6. $\sin A \sin c = \sin a \sin C$
7. $\cos b \cos A = \operatorname{ctg} c \sin b - \operatorname{ctg} C \sin A$
8. $\cos b \cos C = \operatorname{ctg} a \sin b - \operatorname{ctg} A \sin C$
9. $\cos c \cos A = \operatorname{ctg} b \sin c - \operatorname{ctg} B \sin A$
10. $\cos c \cos B = \operatorname{ctg} a \sin c - \operatorname{ctg} A \sin B$

(ა)

(ა) ტოლობებში $\sin A=1$, $\cos A=\operatorname{ctg} A=0$ ოდენობების შეტანით მივიღებთ. სამ-სამი ელემენტისაგან შემდგარ შემდეგი სახის ათ ტოლობას:

$$\left. \begin{aligned} 1. \cos a &= \cos b \cos c \\ 2. \cos a &= \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C \\ 3. \cos B &= \sin C \cos b \\ 4. \cos C &= \sin B \cos c \\ 5. \sin b &= \sin a \sin B \\ 6. \sin c &= \sin a \sin C \\ 7. \sin b &= \operatorname{ctg} C \operatorname{tg} c \\ 8. \cos C &= \operatorname{ctg} a \operatorname{tg} b \\ 9. \sin c &= \operatorname{ctg} B \operatorname{tg} b \\ 10. \cos B &= \operatorname{ctg} a \operatorname{tg} c \end{aligned} \right\} \quad (1.2.8.7)$$

(7) ფორმულების ადგილად დასამახსოვრებლად ნეპერმა შეიმუშავა წესი, რაც მის სახელს ატარებს. ამ წესის დასადგენად (7) დამოკიდებულებების b და c კათეტის ფუნქციები შევცვალოთ მათი ეკვივალენტური ($90^\circ - b$) და ($90^\circ - c$) კუთხის ფუნქციებით და გავყოთ ორ ჯგუფად:

პირველი ჯგუფი

$$\left. \begin{aligned} \cos a &= \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C \\ \cos B &= \operatorname{ctg} (90^\circ - c) \operatorname{ctg} a \\ \cos (90^\circ - c) &= \operatorname{ctg} (90^\circ - b) \operatorname{ctg} B \\ \cos (90^\circ - b) &= \operatorname{ctg} C \operatorname{ctg} (90^\circ - c) \\ \cos C &= \operatorname{ctg} a \operatorname{ctg} (90^\circ - b) \end{aligned} \right\} \quad (1.2.8.8)$$

მეორე ჯგუფი

$$\left. \begin{aligned} \cos a &= \sin (90^\circ - c) \sin (90^\circ - b) \\ \cos B &= \sin (90^\circ - b) \sin C \\ \cos (90^\circ - c) &= \sin C \sin a \\ \cos (90^\circ - b) &= \sin a \sin B \\ \cos C &= \sin B \sin (90^\circ - c) \end{aligned} \right\} \quad (1.2.8.9)$$

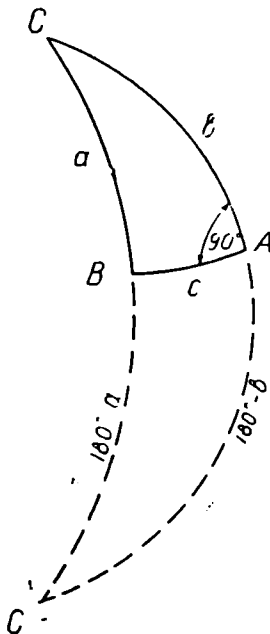
(8) და (9) ტოლობების შესაბამისი წესის დასადგენად ნუ მივიღებთ მხედველობაში b და c კათეტებს შორის A მართ კუთხეს და ვიგულისხმობთ b და c კათეტები, როგორც ურთიერთმომდებარე ელემენტები. აგრეთვე, როგორც ვთქვით, b და c კათეტები შევცვალოთ 90° -მდე მათი დამატებით, მაშინ ნეპერის წესი ასე გამოითქმება: მართ კუთხის სფერული სამკუთხედის ნებისმიერი ელემენტის კოსინუსი უდრის მისი

მიმდებარე ელემენტების კოტანგენტების ნამრავლს ან არა-
მიმდებარე ელემენტების სინუსების ნამრავლს. ამ წესის გა-
მოყენებით ადვილად შედგება (8) და (9) ჯგუფი, რაც (7) ჯგუფის დაწერის
საშუალებას გვაძლევს.

გ. მართკუთხა სფერული სამკუთხედის ამოხსნის სხვადასხვა შემთხვევა

მართკუთხა სფერულ სამკუთხედში შეიძლება ადგილი ექნეს მისი უცნო-
ბი სამი ელემენტის ამოხსნის ექვს სხვადასხვა შემთხვევას ცნობილი შემდეგ-
ორი ელემენტით: 1. ჰიპოტენუზითა და კა-
თეტით; 2. ორი კათეტით; 3. ჰიპოტენუზითა
და მისი მიმდებარე კუთხით; 4. კათეტით-
თა და მისი მიმდებარე კუთხით; 5. ორი კუ-
თხით; 6. კათეტითა და მის პირდაპირ მდებ-
არე კუთხით.

პირველ ხუთ შემთხვევაში სამკუთხედე-
ბი ამოიხსნება ცალსახად, ხოლო მეექვსე-
ში — ორი მნიშვნელობით. ეს უკანასკნელი
დასტურდება შეუღლებული (შემავსებელი)
სფერული სამკუთხედების თანადროულად
განხილვით, რომელშიც მოცემულია c კათე-
ტი და მის პირდაპირ მდებარე C კუთხე
(ნახ. 5). ამ მონაცემებით უცნობი ელემენ-
ტების ორ-ორი რიცხვითი ოდენობები შეიძ-
ლება მივიღოთ, როგორცაა: b , a , B და
 $(180^\circ - b)$, $(180^\circ - a)$ და $(180^\circ - B)$. ზე-
მოაღნიშნული იმითაც დასტურდება, რომ
კათეტითა და მის პირდაპირ მდებარე კუ-
თხით უცნობი ელემენტების ამოსახსნელად
უნდა მივმართოთ სინუსებით გამოსახულ
უცნობების ამოხსნას, რომელთა მნიშვნელო-
ბა პირველ და ნეორე კვადრანტში დადები-
თია. მართლაც, ვთქვათ, ABC სამკუთხედში
მოცემულია c და C ელემენტები და ამო-
სახსნელია b , a , B ელემენტები. ამისათვის
(7) გამოსახულებიდან ამოვიღოთ 7, 6, 4 ტოლობები, ანუ ის ტოლობები, სა-
დაც შედის მხოლოდ უცნობი და ცნობილი ელემენტები, ხოლო საკონტრო-
ლოდ ვიღებთ 5 ტოლობას ანუ იმ ტოლობას, რომელშიც შედის მხოლოდ გა-
მოთვლილი ელემენტები:



ნახ. 1.2.8.5.

$$\left. \begin{aligned} \sin b &= \operatorname{ctg} C \operatorname{tg} c \\ \sin a &= \sin c \operatorname{cosec} C \\ \sin B &= \cos C \operatorname{sec} c \end{aligned} \right\} \quad (1.2.8.10)$$

საკონტროლო იქნება $\sin b = \sin a \sin B$.

(10) ტოლობების ამონახსნები იქნება ორ-ორი მნიშვნელობის. აქვე შევნიშნავთ, რომ მართკუთხა სამკუთხედის ამოხსნა შეიძლება მხოლოდ მაშინ, როცა მოცემული ელემენტები იქნება ერთგვაროვანი, ანუ, როცა a და C იმყოფება ერთი და იგივე კვადრანტში (პირველ ან მეორეში), ამავე დროს, პირველ კვადრანტში დაცული უნდა იყოს უტოლობა $c < C$, ხოლო მეორე კვადრანტში $c > C$.

სამკუთხედების ამოხსნის პირველი ხუთი შემთხვევის დროსაც შეიძლება უცნობი ელემენტის განსაზღვრისათვის დაგვეჭირდეს მისი სინუსის ამოხსნა. ამ შემთხვევაში პასუხი მაინც იქნება ცალსახა, რადგანაც შეიძლება განისაზღვროს ის კვადრანტი, რომელშიც იმყოფება უცნობი, მეორე პასუხი კი არ იქნება მისაღები. აღნიშნულის გარკვევისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ (1.2.6) პარაგრაფში მოცემული განსაზღვრებები ან კიდევ გავაკეთოთ (7) დამოკიდებულებებიდან 1, 2, 3, 4 ტოლობების ანალიზი და დავეყრდნოთ დასკვნებს:

$$\left. \begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c \\ \cos a &= \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C \\ \cos B &= \sin C \cos b \\ \cos C &= \sin B \cos c \end{aligned} \right\} \quad (1.2.8.11)$$

1. როდესაც b და c კათეტები ერთგვაროვნები არიან, ანუ მათი ოდენობები იმყოფება ერთ კვადრანტში (პირველში ან მეორეში), მაშინ პიპოტენუზა $a < 90^\circ$ -ზე, ხოლო, როცა b და c არაერთგვაროვნები არიან, ანუ მათი ოდენობები იმყოფება სხვადასხვა მეოთხედში, $a > 90^\circ$ -ზე, რადგანაც პირველ შემთხვევაში $\cos a$ დადებითია და მეორე შემთხვევაში კი — უარყოფითი.

2. როდესაც B და C კუთხეების ოდენობები ერთგვაროვნები არიან, მაშინ $a < 90^\circ$ -ზე, ხოლო, როცა ისინი არაერთგვაროვნებია, მაშინ $a > 90^\circ$ -ზე.

3. ნებისმიერი კათეტისა და მისი შესაბამისი კუთხეების ოდენობები ყოველთვის ერთგვაროვნები ა.

პრაქტიკული მითითება იმის შესახებ, თუ (7) დამოკიდებულებებიდან რომელ ფორმულებს უნდა მივმართოთ სხვადასხვა შემთხვევების დროს, არის შემდეგი:

პირველი შემთხვევა, როცა მოცემულია a პიპოტენუზა და b კათეტი, უცნობია c , B , C , მაშინ:

გამოვიყენოთ 1 ტოლობა, საიდანაც განისაზღვრება c ,
 " მე-5 " " " B .
 " მე-8 " " " C .

საკონტროლოდ ვიყენებთ მე-4 ტოლობას, რომელშიც შედის გამოთვლილი ყველა ელემენტი;

მეორე შემთხვევა, როცა მოცემულია b და c კათეტი, უცნობია a , B , C ,

გამოვიყენოთ 1 ტოლობა, საიდანაც განისაზღვრება a ,
 " მე-9 " " " B ,
 " მე-7 " " " C .

საკონტროლოდ ვიყენებთ მე-2 ტოლობას;

მესამე შემთხვევა, როცა მოცემულია a ჰიპოტენუზა და მისი მიმდებარე B კუთხე, უცნობია b, c, C ,

გამოვიყენოთ მე-5 ტოლობა, საიდანაც განისაზღვრება b ,
 " 10 " " " c ,
 " 2 " " " C .

საკონტროლოდ ვიყენებთ მე-7 ტოლობას;

მეოთხე შემთხვევა, როცა მოცემულია b კათეტი და მიმდებარე C კუთხე, უცნობებია a, c, B ,

გამოვიყენოთ მე-8 ტოლობა, საიდანაც განისაზღვრება a ,
 " 7 " " " c ,
 " 3 " " " B .

საკონტროლოდ ვიყენებთ მე-10 ტოლობას;

მეხუთე შემთხვევა, როცა მოცემულია B და C კუთხეები, უცნობებია a, b, c ,

გამოვიყენოთ მე-2 ტოლობა, საიდანაც განისაზღვრება a ,
 " 3 " " " b ,
 " 4 " " " c .

საკონტროლოდ ვიყენებთ 1-ლ ტოლობას;

მეექვსე შემთხვევა, როცა მოცემულია b კათეტი და შესაბამისი B კუთხე, უცნობია a, c, C ,

გამოვიყენოთ მე-5 ტოლობა, საიდანაც განისაზღვრება a .
 " 9 " " " c ,
 " 3 " " " C .

საკონტროლოდ ვიყენებთ მე-6 ტოლობას. როგორც ცნობილია, აქ ყველა განსაზღვრული ელემენტის ორ-ორ მნიშვნელობას მივიღებთ.

საერთოდ, ნებისმიერ შემთხვევაში სჯობს ნებერის წესის მიხედვით ჩამოეწეროთ ტოლობების ორი ჯგუფი და შემდეგ მათი საშუალებით შევადგინოთ (7) ჯგუფის ყველა ტოლობა, რომელთაც საჭირო დროს გამოვიყენებთ.

II. მართკუთხედიანი სამკუთხედის ამოხსნა

დავუშვათ, რომ ABC სფერული სამკუთხედის კათეტი $a=90^\circ$ და საჭიროა მისი ნებისმიერი ორი ელემენტით (გარდა a კათეტისა) განისაზღვროს დანარჩენი სამი ელემენტი. ამ მიზნით გამოვიყენებთ მოცემული სამკუთხედის შესაბამის $A_1B_1C_1$ პოლარულ სამკუთხედს, რომლის ელემენტები (1.2.4.1) დამოკიდებულებებით გამოისახება:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 180^\circ - a = 90^\circ & a_1 &= 180^\circ - A \\ B_1 &= 180^\circ - b & b_1 &= 180^\circ - B \\ C_1 &= 180^\circ - c & c_1 &= 180^\circ - C \end{aligned} \right\} \quad (1.2.8.12)$$

მაშასადამე, $A_1B_1C_1$ პოლარული სამკუთხედი არის მართკუთხედი ($A_1=90^\circ$). გამოთვლები უნდა ვაწარმოოთ შემდეგი თანამიმდევრობით:

1. ABC მართკუთხედიანი სამკუთხედის ცნობილ ორ ელემენტს შევიტანთ (12) დამოკიდებულების სათანადო ტოლობებში, რითაც განვსაზღვრავთ $A_1B_1C_1$

მართკუთხა პოლარული სამკუთხედის ორ ელემენტს და დაკადგენთ, მისი რომელი სამი ელემენტია უცნობი.

2. $A_1 B_1 C_1$ მართკუთხა სამკუთხედის უცნობებს ამოვხსნით (1.2.8) პარაგრაფში მოყვანილი (1.2.8.7) ფორმულებითა და წესებით.

3. ისევე (12) დამოკიდებულების გამოყენებით განვსაზღვრავთ ABC მართკუთხა სამკუთხედის უცნობ ელემენტებს მისი პოლარული $A_1 B_1 C_1$ მართკუთხა სამკუთხედის უკვე ცნობილი ელემენტებით.

1.2.9. სფერული ირიბკუთხა სამკუთხედების ამოსახსნელი საშუალო ფორმულები

სფერული სამკუთხედების ამოსახსნელ ფორმულებს, რომლებიც (1.2.8) პარაგრაფში არის მოცემული, გარდა (1.2.8.3) სინუსების ფორმულებისა, ლოგარითმული სახე არა აქვს და ამიტომ მათ მხოლოდ თეორიული კვლევების დროს იყენებენ. სამკუთხედების ყველა ელემენტის განსაზღვრისათვის გამოიყენება ლოგარითმული სახის ფორმულები, რომლებიც მიიღება (1.2.8) პარაგრაფში მოყვანილი ფორმულების სათანადო გარდაქმნებით.

ა. ნახევარკუთხის სინუსის, კოსინუსისა და ტანგენსის ფორმულები

გვერდების კოსინუსების (1.2.8.1)

$$\cos a = \cos b \cos c - \sin b \sin c \cos A$$

ფორმულიდან მივიღებთ

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c} \quad (a)$$

(ა) ფუნქციის მნიშვნელობა შევითანოთ სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიის ნახევარკუთხის სინუსისა და კოსინუსის ფორმულებში:

$$\begin{aligned} \sin \frac{A}{2} &= \sqrt{\frac{1 - \cos A}{2}} = \sqrt{\frac{\sin b \sin c - \cos a + \cos b \cos c}{2 \sin b \sin c}} = \\ &= \sqrt{\frac{\cos(b-c) - \cos a}{2 \sin b \sin c}} = \sqrt{\frac{\sin \frac{b-c+a}{2} \sin \frac{a-b+c}{2}}{\sin b \sin c}}, \end{aligned}$$

ანუ

$$\sin \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin \left(\frac{a+b+c}{2} - c \right) \sin \left(\frac{a+b+c}{2} - b \right)}{\sin b \sin c}} \quad (b)$$

და

$$\begin{aligned} \cos \frac{A}{2} &= \sqrt{\frac{1 + \cos A}{2}} = \sqrt{\frac{\sin b \sin c + \cos a - \cos b \cos c}{2 \sin b \sin c}} = \\ &= \sqrt{\frac{\cos a - \cos(b+c)}{2 \sin b \sin c}} = \sqrt{\frac{\sin \frac{a+b+c}{2} \sin \frac{b+c-a}{2}}{\sin b \sin c}}, \end{aligned}$$

$$\cos \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{a+b+c}{2} \sin \left(\frac{a+b+c}{2} - a \right)}{\sin b \sin c}} \quad (c)$$

ანალოგიური გზით მივიღებთ B და C ნახევარკუთხეების გამოსახულებებს (1.2.8.1) დამოკიდებულებების დანარჩენი ორი ტოლობიდან. თუ ყველგან შევითანო ნახევარპერიმეტრის

$$\frac{a+b+c}{2} = p$$

ფორმულას, მაშინ მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \sin \frac{A}{2} &= \sqrt{\frac{\sin(p-b) \sin(p-c)}{\sin b \sin c}} \\ \sin \frac{B}{2} &= \sqrt{\frac{\sin(p-a) \sin(p-c)}{\sin a \sin c}} \\ \sin \frac{C}{2} &= \sqrt{\frac{\sin(p-a) \sin(p-b)}{\sin a \sin b}} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \frac{A}{2} &= \sqrt{\frac{\sin p \sin(p-a)}{\sin b \sin c}} \\ \cos \frac{B}{2} &= \sqrt{\frac{\sin p \sin(p-b)}{\sin a \sin c}} \\ \cos \frac{C}{2} &= \sqrt{\frac{\sin p \sin(p-c)}{\sin a \sin b}} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9.2)$$

შესაბამისად, გავყოთ (1) დამოკიდებულებები (2)-ზე, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{A}{2} &= \sqrt{\frac{\sin(p-b) \sin(p-c)}{\sin p \sin(p-a)}} \\ \operatorname{tg} \frac{B}{2} &= \sqrt{\frac{\sin(p-a) \sin(p-c)}{\sin p \sin(p-b)}} \\ \operatorname{tg} \frac{C}{2} &= \sqrt{\frac{\sin(p-a) \sin(p-b)}{\sin p \sin(p-c)}} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9.3)$$

ამ ფორმულებით გამოითვლება სამკუთხედის ცალკეული კუთხეები. როცა საჭიროა ყველა კუთხის გამოთვლა, მაშინ სჯობს შევასრულოთ შემდეგნაირი გარდაქმნა:

შემოვიტანოთ აღნიშვნა

$$M = \sqrt{\frac{\sin(p-a) \sin(p-b) \sin(p-c)}{\sin p}}, \quad (1.2.9.4)$$

მაშინ (3) დამოკიდებულებები დაიწერება ასე:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{A}{2} &= \frac{M}{\sin(p-a)} \\ \operatorname{tg} \frac{B}{2} &= \frac{M}{\sin(p-b)} \\ \operatorname{tg} \frac{C}{2} &= \frac{M}{\sin(p-c)} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9.5)$$

სადაც M წარმოადგენს მოცემული ABC სფერულ სამკუთხედში ჩახაზული მცირე წრეხაზის სფერული რადიუსის ტანგენსს.

კონტროლისათვის (5) და (4) ტოლობების გამოყენებით მიიღება ფორმულა:

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} \operatorname{tg} \frac{B}{2} \operatorname{tg} \frac{C}{2} = \frac{M}{\sin p}. \quad (1.2.9.6)$$

ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში ფესვების წინ მიიღება პლუს ნიშანი, რადგანაც სფერულ ტრიგონომეტრიაში იხილავენ ეილერის სფერულ სამკუთხედებს, სადაც როგორც გვერდები, ისე კუთხეები არ აღემატება 180° -ს.

B. ნახევარკვადრის სინუსის, კოსინუსისა და ტანგენსის ფორმულების სფერული სიჭარბით გამოხატვა

აიღოთ ურთიერთპოლარული ABC და $A_1B_1C_1$ სფერული სამკუთხედები და A_1 კუთხისათვის დაეწეროთ (1) და (2) ფორმულების შესაბამისად:

$$\left. \begin{aligned} \sin \frac{A_1}{2} &= \sqrt{\frac{\sin(p_1-b_1) \sin(p_1-c_1)}{\sin b_1 \sin c_1}} \\ \cos \frac{A_1}{2} &= \sqrt{\frac{\sin p_1 \sin(p_1-a_1)}{\sin b_1 \sin c_1}} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9.7)$$

სადაც

$$\frac{a_1 + b_1 + c_1}{2} = p_1.$$

ურთიერთპოლარული სამკუთხედების (1.2.4.1) ფორმულებიდან დაეწეროთ:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= 180^\circ - A & b_1 &= 180^\circ - B \\ c_1 &= 180^\circ - C & A_1 &= 180^\circ - a \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9.8)$$

აგრეთვე სფერული სიჭარბის გამოსათვლელი (1.2.6.8) ფორმულის მიხედვით

$$-\frac{\varepsilon^\circ}{2} = \frac{180^\circ - (A + B + C)}{2}. \quad (1.2.9.9)$$

(8) და (9) დამოკიდებულებებით (7) ტოლობის ელემენტები გამოისახება:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{2} (360^\circ + 180^\circ - (A + B + C)) = 180^\circ - \frac{\varepsilon^\circ}{2} \\ p_1 - a_1 &= A - \frac{\varepsilon^\circ}{2} & p_1 - b_1 &= B - \frac{\varepsilon^\circ}{2} \\ p_1 - c_1 &= C - \frac{\varepsilon^\circ}{2} & \frac{A_1}{2} &= 90^\circ - \frac{a}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9.10)$$

შევიტანოთ (10) და (8) დამოკიდებულებები (7)-ში, მივიღებთ:

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2} \right) \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin B \sin C}}$$

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2} \sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin B \sin C}}$$
(a)

ანალოგიური გზით მიიღება b და c გვერდების გამოსათვლელი ფორმულები. მ.შ.სადაც, (a) დამოკიდებულებების შესაბამისად დაწვერთ:

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2} \sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin B \sin C}}$$

$$\sin \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2} \sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin A \sin C}}$$

$$\sin \frac{c}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2} \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin A \sin B}}$$
(1.2.9.11)

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2} \right) \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin B \sin C}}$$

$$\cos \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{\sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2} \right) \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin A \sin C}}$$

$$\cos \frac{c}{2} = \sqrt{\frac{\sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2} \right) \sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin A \sin B}}$$
(1.2.9.12)

შესაბამისად, გავყოთ (11) დამოკიდებულებები (12)-ზე:

$$\operatorname{tg} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2} \sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2} \right) \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{b}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2} \sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2} \right) \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{c}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2} \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}{\sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2} \right) \sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2} \right)}}$$
(1.2.9.13)

ამ ფორმულებით გამოითვლება ერთ-ერთი გვერდი. როცა საჭიროა სამკუთხედების ყველა გვერდების გამოთვლა, მაშინ სჯობს შევასრულოთ შემდეგნაირი გარდაქმნა:

მივიღოთ აღნიშვნა:

$$N = \sqrt{\frac{\sin \frac{\epsilon^0}{2}}{\sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2}\right) \sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2}\right) \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2}\right)}}. \quad (1.2.9.14)$$

მაშინ (13) დამოკიდებულებები ასე გადაიწერება:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{a}{2} &= N \sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2}\right) \\ \operatorname{tg} \frac{b}{2} &= N \sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2}\right) \\ \operatorname{tg} \frac{c}{2} &= N \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2}\right) \end{aligned} \right\}. \quad (1.2.9.15)$$

სადაც N წარმოადგენს მოცემული ABC სფერული სამკუთხედის გარშემო შემოხაზული მცირე წრეხაზის სფერული რადიუსის ტანგენსს.

(15) ტოლობების გადაშრავლებით და (14) აღნიშვნის გამოყენებით მივიღებთ საკონტროლო ფორმულას:

$$\operatorname{tg} \frac{a}{2} \operatorname{tg} \frac{b}{2} \operatorname{tg} \frac{c}{2} = N \sin \frac{\epsilon^0}{2}. \quad (1.2.9.16)$$

სფერული კუთხეების ნახევარჯამისათვის თუ მივიღებთ აღნიშვნას

$$P = \frac{A+B+C}{2}$$

და (1.2.6.8) ტოლობას მივიღებთ მხედველობაში, (11), (12), (13), (14), (15), (16) ფორმულებში სფერული სიჭარბით გამოსახული ელემენტები შეიძლება შევცვალოთ, შესაბამისად:

$$\left. \begin{aligned} \sin \frac{\epsilon^0}{2} &= -\cos P \\ \sin \left(A - \frac{\epsilon^0}{2}\right) &= \cos (P-A) \\ \sin \left(B - \frac{\epsilon^0}{2}\right) &= \cos (P-B) \\ \sin \left(C - \frac{\epsilon^0}{2}\right) &= \cos (P-C) \end{aligned} \right\}. \quad (1.2.9.17)$$

ამის გამო (11), ..., (16) ტოლობებს დაერქმევათ სფერული სამკუთხედის კუთხეთა ჯამის ნახევრით გამოსახული ნახევარგვერდის სინუსის, კოსინუსისა და ტანგენსის ფორმულები.

C. დალაგება-გაუსის ფორმულები და ნიჰერის ანალოგია

კუთხეთა ნახევარჯამისა და ნახევარსხვაობის სინუსებისა და კოსინუსების ფორმულები ეკუთვნის და ლამბერს და გაუსს. ამ ფორმულების მისაღებად გამოსავლად მივიღოთ შემდეგი ტოლობები:

$$\left. \begin{aligned} \sin \frac{A+B}{2} &= \sin \frac{A}{2} \cos \frac{B}{2} \pm \cos \frac{A}{2} \sin \frac{B}{2} \\ \cos \frac{A+B}{2} &= \cos \frac{A}{2} \cos \frac{B}{2} \mp \sin \frac{A}{2} \sin \frac{B}{2} \end{aligned} \right\} (a)$$

(1) და (2) ტოლობების მიხედვით:

$$\left. \begin{aligned} \sin \frac{A}{2} \cos \frac{B}{2} &= \frac{\sin(p-b) \cos \frac{C}{2}}{\sin c} \\ \cos \frac{A}{2} \sin \frac{B}{2} &= \frac{\sin(p-a) \cos \frac{C}{2}}{\sin c} \\ \cos \frac{A}{2} \cos \frac{B}{2} &= \frac{\sin p \cdot \sin \frac{C}{2}}{\sin c} \\ \sin \frac{A}{2} \sin \frac{B}{2} &= \frac{\sin(p-c) \sin \frac{C}{2}}{\sin c} \end{aligned} \right\} (b)$$

(b) სიდიდეების (a) სიდიდეებში ჩასმით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \sin \frac{A+B}{2} &= (\sin(p-b) \pm \sin(p-a)) \frac{\cos \frac{C}{2}}{\sin c} \\ \cos \frac{A+B}{2} &= (\sin p \mp \sin(p-c)) \frac{\sin \frac{C}{2}}{\sin c} \end{aligned} \right\} (c)$$

სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიიდან სინუსების ჯამისა და სხვაობის ფორმულების საფუძველზე დავწერთ:

$$\left. \begin{aligned} \sin(p-b) + \sin(p-a) &= 2 \sin \frac{2p-a-b}{2} \cos \frac{a-b}{2} = 2 \sin \frac{c}{2} \cos \frac{a-b}{2} \\ \sin(p-b) - \sin(p-a) &= 2 \cos \frac{2p-a-b}{2} \sin \frac{a-b}{2} = 2 \cos \frac{c}{2} \sin \frac{a-b}{2} \\ \sin p - \sin(p-c) &= 2 \cos \frac{2p-c}{2} \sin \frac{c}{2} = 2 \cos \frac{a+b}{2} \sin \frac{c}{2} \\ \sin p + \sin(p-c) &= 2 \sin \frac{2p-c}{2} \cos \frac{c}{2} = 2 \sin \frac{a+b}{2} \cos \frac{c}{2} \end{aligned} \right\} (d)$$

(c) ტოლობებში (d) ტოლობების მნიშვნელობების ჩასმითა და სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიის გარკვევებული კუთხის ფუნქციების ფორმულების

ვაყოფენებით მივიღებთ შემდეგი სახის დალაშქერ-გაუსის ოთხ ფორ-
მულას:

$$\left. \begin{aligned} \sin \frac{A+B}{2} &= \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{c}{2}} \cos \frac{C}{2} \\ \sin \frac{A-B}{2} &= \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\sin \frac{c}{2}} \cos \frac{C}{2} \\ \cos \frac{A+B}{2} &= \frac{\cos \frac{a+b}{2}}{\cos \frac{c}{2}} \sin \frac{C}{2} \\ \cos \frac{A-B}{2} &= \frac{\sin \frac{a+b}{2}}{\sin \frac{c}{2}} \sin \frac{C}{2} \end{aligned} \right\} (1.2.9.18)$$

ნეპერის პირველ და მეორე ანალოგიას წარმოადგენს სფერული სამკუთხედის კუთხეების ნახევარჯამისა და ნახევარსხვაობის ტანგენსების ფორმულები, ხოლო მესამე და მეოთხე ანალოგია არის გვერდების ნახევარჯამისა და ნახევარსხვაობის ტანგენსების ფორმულები.

პირველი ორი ანალოგიის მისაღებად დალაშქერ-გაუსის (18) ტოლობებიდან, შესაბამისად, პირველი უნდა გავყოთ მესამეზე და მეორე — მეოთხეზე, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{A+B}{2} &= \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{a+b}{2}} \operatorname{ctg} \frac{C}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{A-B}{2} &= \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\sin \frac{a+b}{2}} \operatorname{ctg} \frac{C}{2} \end{aligned} \right\} (1.2.9.19)$$

მესამე და მეოთხე ანალოგიის მისაღებად იგივე (18) დამოკიდებუ-
ლებებიდან, შესაბამისად, მეოთხე ტოლობა უნდა გავყოთ მესამეზე და
მეორე — პირველზე:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{a+b}{2} &= \frac{\cos \frac{A-B}{2}}{\cos \frac{A+B}{2}} \operatorname{tg} \frac{c}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{a-b}{2} &= \frac{\sin \frac{A-B}{2}}{\sin \frac{A+B}{2}} \operatorname{tg} \frac{c}{2} \end{aligned} \right\} (1.2.9.20)$$

ანალოგია ბერძნულად პროპორციულობას ნიშნავს და, მართლაც, უკუ-
ლა ფორმულა წარმოადგენს პროპორციებს.

თუ გავყოფთ ნიპერის პირველ ანალოგიას მეორეზე ან მესამეს--
მეოთხეზე, მივიღებთ გაუსის საკონტროლო ფორმულას

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{A+B}{2}}{\operatorname{tg} \frac{A-B}{2}} = \frac{\operatorname{tg} \frac{a+b}{2}}{\operatorname{tg} \frac{a-b}{2}}. \quad (1.2.9.21)$$

1.2.10. სფერული სამკუთხედის სფერული სიზარბის გამოსათვლელი ფორმულები

სფერული სიკარბის განსაზღვრების შესაბამისი (1.2.6.8) ფორმულის მი-
ხედვით ისაზღვრება მისი ოდენობა, როცა ცნობილია სფერული სამკუთხე-
დის სამივე კუთხე. ახლა სამკუთხედის ცნობილი სხვადასხვა ელემენტების მი-
ხედვით სფერული სიკარბის გამოსათვლელი ფორმულებიდან მოვიყვანოთ ზო-
გიერთს, რომელთაც უფრო იყენებენ (განსაკუთრებით გამოთვლების სისწო-
რის საკონტროლოდ).

ა. ლიულის ფორმულა

გამოსავლად მივიღოთ დალამბერ-გაუსის (1.2.9.18) ტოლობებიდან პირ-
ველი და მესამე, ასეთი სახით გადაწერილი:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin \frac{A+B}{2}}{\cos \frac{C}{2}} &= \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{c}{2}} \\ \frac{\cos \frac{A+B}{2}}{\sin \frac{C}{2}} &= \frac{\cos \frac{a+b}{2}}{\cos \frac{c}{2}} \end{aligned} \right\} (a)$$

სფერული სიკარბის (1.2.6.8) ფორმულიდან დაეწერთ

$$\begin{aligned} A+B &= 180^\circ + \varepsilon^\circ - C, \\ \frac{A+B}{2} &= 90^\circ - \frac{C-\varepsilon^\circ}{2}. \end{aligned}$$

მაშასადამე, (a) გამოსახულებები ასე გადაიწერება:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\cos \frac{C-\varepsilon^\circ}{2}}{\cos \frac{C}{2}} &= \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{c}{2}} \\ \frac{\sin \frac{C-\varepsilon^\circ}{2}}{\sin \frac{C}{2}} &= \frac{\cos \frac{a+b}{2}}{\cos \frac{c}{2}} \end{aligned} \right\} (b)$$

(b) დამოკიდებულებებიდან შევადგინოთ წარმოებული პროპორციები

$$\left. \begin{aligned} \frac{\cos \frac{C-\varepsilon^0}{2} - \cos \frac{C}{2}}{\cos \frac{C-\varepsilon^0}{2} + \cos \frac{C}{2}} &= \frac{\cos \frac{a-b}{2} - \cos \frac{c}{2}}{\cos \frac{a-b}{2} + \cos \frac{c}{2}} \\ \frac{\sin \frac{C-\varepsilon^0}{2} - \sin \frac{C}{2}}{\sin \frac{C-\varepsilon^0}{2} + \sin \frac{C}{2}} &= \frac{\cos \frac{a+b}{2} - \cos \frac{c}{2}}{\cos \frac{a+b}{2} + \cos \frac{c}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (c)$$

სწორხზოვანი ტრიგონომეტრიის ფუნქციათა ჯამისა და სხვაობის ფორმულების გამოყენებით (c) დამოკიდებულებებს მიეცემა გალოგარიტმებისათვის მოხერხებული სახე:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\cos \frac{\varepsilon^0}{4} \sin \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon^0}{4} \right)}{\cos \frac{\varepsilon^0}{4} \cos \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon^0}{4} \right)} &= \frac{\sin \frac{p-b}{2} \sin \frac{p-a}{2}}{\cos \frac{p-b}{2} \cos \frac{p-a}{2}} \\ \frac{\cos \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon^0}{4} \right) \sin \frac{\varepsilon^0}{4}}{\sin \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon^0}{4} \right) \cos \frac{\varepsilon^0}{4}} &= \frac{\sin \frac{p}{2} \sin \frac{p-c}{2}}{\cos \frac{p}{2} \cos \frac{p-c}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (d)$$

ანუ

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\varepsilon^0}{4} \operatorname{tg} \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon^0}{4} \right) &= \operatorname{tg} \frac{p-b}{2} \operatorname{tg} \frac{p-a}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{\varepsilon^0}{4} \operatorname{ctg} \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon^0}{4} \right) &= \operatorname{tg} \frac{p}{2} \operatorname{tg} \frac{p-c}{2} \end{aligned} \right\} \quad (e)$$

(e) ტოლობის მარჯვენა და მარცხენა ნაწილების გადამრავლებით მივიღებთ ლიუ ლიეს ფორმულას

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon^0}{4} = \sqrt{\operatorname{tg} \frac{p}{2} \operatorname{tg} \frac{p-a}{2} \operatorname{tg} \frac{p-b}{2} \operatorname{tg} \frac{p-c}{2}}. \quad (1.2.10.1)$$

B. მცირეგვერდებიანი ხზოვანი სამკუთხედების სფერული სიჭარბის ფორმულა

ხშირად საჭიროა მცირე მოზრილობის, ანუ მცირე გვერდების მქონე, სამკუთხედების როგორც ამოხსნა, ისე მათი სფერული სიჭარბის განსაზღვრა. ამ შემთხვევაში, თუ სფერულ ABC კუთხეებს შევცვლით ბრტყელი $A_0B_0C_0$ კუთხეებით, სფერული სიჭარბის განსაზღვრის სიზუსტეზე უმნიშვნელო გავლენას მოახდენს.

ვისარგებლოთ სფერული სიჭარბის გამოსათვლელი (1.2.7.9) ფორმულით და მასში შევიტანოთ $P_{A_0B_0C_0}$ სამკუთხედის ფართობის გამოსათვლელი ფორ-

მულა იმ გაგებით, რომ მისი გვერდები გამოსახულია ხაზოვან განზომილებებში (1.2.2.1) ფორმულით:

$$a_0 = \frac{a''}{\rho''} \cdot R; \quad b_0 = \frac{b''}{\rho''} \cdot R; \quad c_0 = \frac{c''}{\rho''} \cdot R.$$

სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიიდან ცნობილია, რომ ირიბკუთხა სამკუთხედის ფართობი გამოითვლება ფორმულით:

$$P_{A_0 B_0 C_0} = \frac{b_0 c_0}{2} \cdot \sin A_0 = \frac{b_0^2 \cdot \sin A_0 \cdot \sin C_0}{2 \sin B_0},$$

ხოლო მართკუთხა სამკუთხედისათვის ($A_0 = 90^\circ$)

$$P_{A_0 B_0 C_0} = \frac{a_0^2 \sin 2C_0}{4}.$$

მაშასადამე, (1.2.7.9) ფორმულის მიხედვით, შესაბამისად, დაწეროთ:

$$\varepsilon^0 = \frac{b_0 c_0}{2R^2} \rho^0 \sin A_0, \quad (1.2.10.2)$$

$$\varepsilon^0 = \frac{b_0^2 \sin A_0 \sin C_0}{2R^2 \sin B_0} \rho^0, \quad (1.2.10.3)$$

$$\varepsilon^0 = \frac{a_0^2 \sin 2C_0}{4R^2} \rho^0. \quad (1.2.10.4)$$

მიღებულ (2), (3), (4) დამოკიდებულებებს, შესაბამისად, უწოდებენ სფერული სიჭარბის გამოსათვლელ ფორმულებს: ორი გვერდით და მათ შორის მდებარე კუთხით; ერთი გვერდით და სამი კუთხით და მცირე გვერდებიანი მართკუთხა სფერული სამკუთხედის პიპოტენუზით და ერთ-ერთი მიმდებარე კუთხით.

1.2.11. ირიბკუთხა სფერული სამკუთხედების ამოხსნის სხვადასხვა შემთხვევა

ირიბკუთხა სფერული სამკუთხედის უცნობი სამი ელემენტი შეიძლება ამოხსნას სხვადასხვა ექვს შემთხვევაში ცნობილი შემდეგი სამი ელემენტით: 1. სამი კუთხით, 2. სამი გვერდით, 3. ორი გვერდით და მათ შორის კუთხით, 4. გვერდით და მისი მიმდებარე ორი კუთხით, 5. ორი გვერდით და ერთ-ერთის შესაბამისი კუთხით, 6. ორი კუთხით და ერთ-ერთის შესაბამისი გვერდით.

სამკუთხედის ამოხსნა პირველ და მეორე შემთხვევაში მიზანშეწონილია, შესაბამისად, (1.2.9.5), (1.2.9.6) და (1.2.9.15), (1.2.9.16) ფორმულებით; მესამე და მეოთხე შემთხვევაში, შესაბამისად, უნდა გამოვიყენოთ ნეპერის (1.2.9.19) და (1.2.9.20) ანალოგიები და გაუსის (1.2.9.21) საკონტროლო ფორმულები, ხოლო მეხუთე და მეექვსე შემთხვევის დროს უნდა გამოვიყენოთ (1.2.8.3) სინუსების ფორმულები და ნეპერის ზემოხსენებული ანალოგიები.

თუ სამკუთხედის ამოხსნა შესაძლებელია, ანუ როცა დაკმაყოფილებულია (1.2.6.) პარაგრაფის შესაბამისად სფერული სამკუთხედის არსებობის შესაძლებლობის პირობები, პირველ ოთხ შემთხვევაში სამკუთხედის ამოხსნა სრულდება ცალსახად, ხოლო მეხუთე და მეექვსე შემთხვევაში ორმნიშვნელოვნად, რადგანაც აქ ამოცანის ამოხსნა იწყება, პირველ რიგში, სინუსების თეორემით. რომელიც გვაძლევს სამკუთხედის დანარჩენი ელემენტების გამოსათვლელად საჭირო უცნობი ელემენტის ორ მნიშვნელობას, რომელთა ჯამი 180° -ის ტოლია. ამათგან შეიძლება ერთ-ერთი არ გამოდგეს სამკუთხედის საბოლოოდ ამოსახსნელად. მაგალითად, საჭიროა $a-b$ და $A-B$ ან $a-c$ და $A-C$ ერთნაირი ნიშნის იქნეს გვერდების ორთავე მნიშვნელობისათვის, წინააღმდეგ შემთხვევაში სამკუთხედი არ ამოიხსნება.

სამკუთხედების ამოხსნის კონტროლი სჯობს ორჯერ შესრულდეს: პირველი ისე, როგორც ზემოთ იყო მოხსენებული, და მეორე—სფერული სიჭარბის როგორც ძირითადი (1.2.6.7), ისე ლიულიეს (1.2.10.1) ან შედარებით მცირე სამკუთხედების შემთხვევაში შესაძლებლობისამებრ (1.2.10.2), (1.2.10.3) და (1.2.10.4) ფორმულებით.

სამყაროს გეომეტრიული ელემენტები

სამყაროს გეომეტრიული ელემენტების ცოდნა საჭიროა ადგილის ნებისმიერი წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის, კოსმოსური სხეულების მდებარეობის დადგენისა და მზისადმი დედამიწის სივრცობრივი ქცევის შესწავლისათვის. ყველა შემთხვევაში ძირითად, გამოსავალ კოსმოსურ სხეულს დედამიწა წარმოადგენს. ამიტომ პირველ რიგში მოვიყვანთ სამყაროს გაცნობისათვის საჭირო დედამიწის ზოგიერთი გეომეტრიული ელემენტების განსაზღვრებებს, ხოლო შემდეგ განვიხილავთ მატერიალური სამყაროს მათთან დაკავშირებულ ანალოგიურ ელემენტებს. ჯერჯერობით, როგორც პირველი მიზნობა, დედამიწა განვიხილავთ იქნება სფეროს სახის ერთ-ერთ გამოსავალ კოსმოსურ სხეულად მისი ნამდვილი სახისა და ოდენობის დეტალური დახასიათების გარეშე. (მსოფლიო მიზიდულობის კანონის შესაბამისად ბუნებრივ მთავარ მიმართულებას სიმძიმის ძალის (შვეული, ვერტიკალური) და მისი მართობული (ჰორიზონტული) მიმართულება წარმოადგენს. ამიტომ გამოსავალ მიმართულებად როგორც დედამიწაზე, ისე მის შესაბამისად სამყაროში იყენებენ ზემოხსენებულ მიმართულებებთან დაკავშირებულ წარმოსახვითს ზოგიერთ დიდ წრეებსა და მათ შესაბამის წრეხაზებს. უბერხულობა იმაშია, რომ საქმე გვაქვს სამყაროს უაღრესად დიდ, განუზომელ ელემენტებთან, რომლებიც განუწყვეტლივ მოძრაობასა და ცვალებადობაში არიან.

სამყაროსთან შედარებით მისი ნებისმიერი ობიექტი იმდენად მცირე ოდენობისაა, რომ სამყაროს შესწავლის დროს მათ წარმოიდგენენ როგორც მატერიალურ წერტილებს და თვით დედამიწას ხშირად თვლიან სამყაროს ცენტრში მოთავსებულ წერტილად, ზოგჯერ დიდი ზომის სფეროს სახითაც გამოსახავენ. მაშასადამე, შემცირების ხარისხს ერთნაირად ვერ იტყვენ. საჭიროებისამებრ მოგვიხდება დედამიწაზე, მის ცენტრში ან მის გარეთ წარმოადგენით დგომით სამყაროს სხეულების ხილვა.

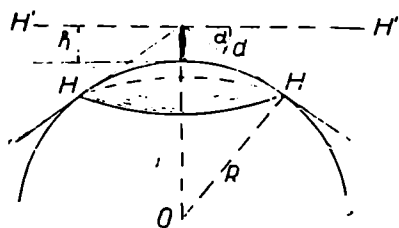
როგორც ვხედავთ, წარმოდგენის (ფანტაზიის) ცნების სრულყოფილად გამოყენების გარეშე სამყაროს გაცნობა და შესწავლა შეუძლებელია. აქვე დაესძინთ, რომ ცნება წარმოდგენის შესახებ, ისე როგორც საერთოდ ცნება, მატერიალურ არსს მოკლებული არაა, რადგანაც იგი „მატერიის უმაღლესი პროდუქტის — ტვინის უმაღლეს პროდუქტს“ წარმოადგენს და აუცილებელია მეცნიერული კვლევა-ძიებისათვის.

1.3.1. ცა. ცის გუმბათი. ხილული ჰორიზონტი. ჯეომეტრიკი ჰორიზონტი. ცის სფერო

ჩვეულებრივ, ადამიანები გეომეტრიული წარმოდგენით ცას უწოდებენ დედამიწის ატმოსფეროს შემცველ, ნახევრად გამჭვირვალე ფარდას, რომელიც დედამიწას გარს აკრავს და რომლის მიღმა სამყაროს უპაერო, უსაზღვრო სივრცეში მოძრაობენ მნათობები. დღისით ის ფერი, რომლითაც ცა ხასიათდება, შედეგია დედამიწის ატმოსფეროში არსებული გაზების მოლეკულების. წყლის ორთქლის წვეთებისა და მტვრის ნაწილაკების მიერ მზის სხივების

დამლა-განზნევისა; ხოლო მნათობების უხილველობა კი გამოწვეულია ამ მოვლენის გამო ატმოსფეროს ძლიერი განათებით.

დედამიწის ხილული ზედაპირის ნებისმიერი წერტილიდან გარემოს დამზერის დროს ადამიანს ცა წარმოუდგება ვადმოხურული ნახევარი სფეროს სახით, რასაც ცის გუმბათი ეწოდება. ამასთანავე ადამიანს, თუ ის გაშლილი ადგილის (ღია ზღვის) ზედაპირზე დგას, ეჩვენება, რომ ის იმყოფება ამ



ნახ. 1.3.1.1.

გუმბათის სიმრუდის ცენტრში, რომელიც დგომის h სიმაღლის შესაბამისი d რადიუსის მცირე წრეხაზზე ეყრდნობა დედამიწას. ამ მოჩვენებით HH' წრეხაზს (ნახ. 1), რომლის იქით დედამიწის სიმრუდის გამო საგნები არ ჩანს, ვუწოდებთ ნორმალურ ხილულ (მოჩვენებით) ჰორიზონტს.

ადამიანის თვალზე წარმოდგენით გატარებულ ჰორიზონტულ სიბრტყეს კეშმარიტი (მათემატიკური) ჰორიზონტის სიბრტყე ეწოდება. კეშმარიტი ჰორიზონტის სიბრტყისა და ნახაზის სიბრტყის გადაკვეთის $H'H'$ წყვეტილ ხაზს ადგილის კეშმარიტი ჰორიზონტი ჰქვია. კნორმალური ხილული ჰორიზონტის შესაბამისი სივრცე ადგილის კეშმარიტი ჰორიზონტის დაბლა იმყოფება. ამ დაბალებების ოდენობას გამოხატავენ α კუთხის რიცხვითი მნიშვნელობით და უწოდებენ დაბალებების კუთხეს. გარემოს დამზერის დროს ადამიანი რომ მთებზე და დიდ ნაგებობებს შორის დადგას, შესაბამისი ხილული ჰორიზონტი ნორმალური არ იქნება, რადგანაც იგი წრეხაზის სახით არ მოგვეჩვენება და ამავე დროს მისი ზოგი ნაწილი მოექცევა ადგილის $H'H'$ კეშმარიტი ჰორიზონტის ზემოთ და ზოგი კი ქვემოთ.

ნორემელს-სწავლულის აბურახმან ბერუნის (972—1048) მიერ გამოგონილი, ხოლო ექვსი საუკუნის შემდეგ ინგლისელი რაიტის (1560—1615) მიერ გამოყენებული ხერხით დედამიწაზე დგომის წერტილის h სიმაღლისა და α დაბალების კუთხის საშუალებით, (1) ნახაზის შესაბამისად, შეგვიძლია გამოვთვალოთ დედამიწის, როგორც სფეროს, R რადიუსის მიახლოებითი ოდენობა ფორმულით:

$$R = \frac{h \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} \quad (1.3.1.1)$$

(1) ფორმულის გამოყენებით გამოთვლილია, რომ დედამიწის რადიუსი $R \approx 6400$ კმ.

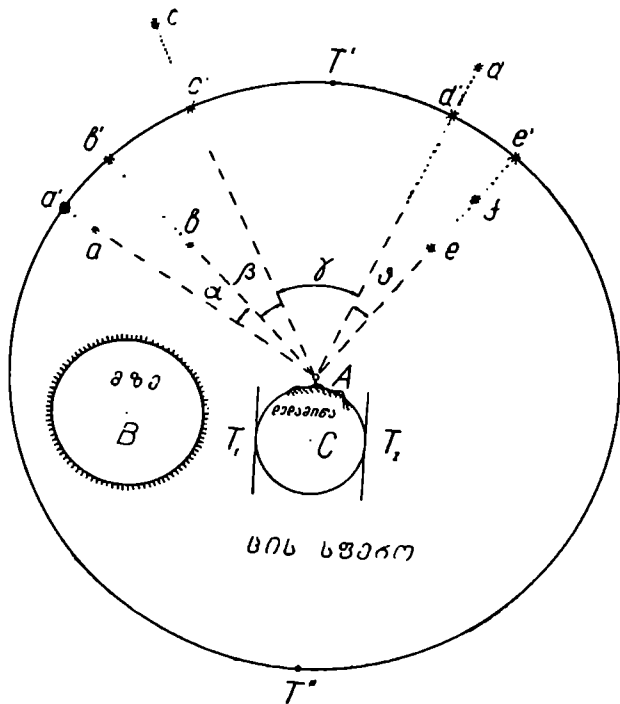
ნორმალური ხილული ჰორიზონტის d რადიუსი კი გამოითვლება ფორმულით:

$$d = \sqrt{2Rh + h^2} \approx \sqrt{2Rh} \approx 113\sqrt{h} \quad (1.3.1.2)$$

(2) ფორმულაში h სიმაღლე კილომეტრებში უნდა გამოისახოს. დედამიწის პირველი ფოტოსურათი გადაღებული იყო დაახლოებით 240 კმ სიმაღლეზე აშვებულ რაკეტაზე დაყენებული ფოტოკამერით. ამ ფოტოსურათზე ჩანს

დედამიწის სიმრულე და მისი ატმოსფეროს განფენილობა, რომლის რადიუსი $d \approx 1750$ კმ, რაც (2) ფორმულით გამოთვლილ ოდენობას უახლოვდება. აქვე შევნიშნავთ, რომ ფოტოსურათები ვერ გვაძლევს ცნობებს დედამიწის ფორმის, ზომებისა და მოძრაობების შესახებ.

დედამიწას, რომ შემოვუაროთ, ჩვენი თავი მუდამ ცის გუმბათის ცენტრში წარმოგვიდგება და, ვინაიდან ადამიანის თვალი ვერ არჩევს, თუ რომელი ციური სხეულია მისგან ახლოს ან შორს, მოგვეჩვენება, რომ ხილული მნათობები ჩვენგან ტოლ მანძილზეა დაშორებული, რის გამო წარმოდგენაში დაგვრჩება, თითქოს დედამიწას გარს ერტყმის მნათობებით მოქედილი ცა. ამ წარმოსახვით სურათს ცის სფერო ეწოდება (ნახ. 2). მაშასადამე.



ნახ. 1.3.1. 2.

სინამდვილეში არავითარი მატერიალური ცის სფერო არ არსებობს, და წარმოდგენით უნდა ვიგულისხმოთ, რომ დედამიწის A წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან, სხვადასხვა ოდენობის უადრესად დიდ და არატოლ მანძილებზე დაცილებული a, b, c, d, e, f მნათობები განლაგებულია რაგინდ დიდი რადიუსის მქონე ცის სფეროს შიგა ზედაპირზე a', b', c', d', e' წერტილების სახით.

ცის სფერო გამოიყენება, როგორც დამხმარე, მნათობებს შორის ან მნათობებსა და რაიმე საწყის სიბრტყეებს შორის ხილული დაშორების ანუ ამ

სფეროზე მნათობთა მოჩვენებითი მდებარეობის განსაზღვრისათვის (1.3.5 პარაგრაფი). ცაზე მნათობებს შორის ხილული დაშორებები არ განისაზღვრება რაიმე ხაზოვან ერთეულებში. მაგალითად, *a, b, c, d, e, f* მნათობებს შორის ხილული კუთხური მანძილები იქნება ცის სფეროს დიდი წრეხაზების ის რკალები, რომლებიც შეესაბამებიან დედამიწაზე მდგომი დამკვირვებლის თვლიდან მათზე გატარებულ სხივებს შორის $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ კუთხეებს. ცა-დია, ეს ხილული კუთხური მანძილები არ გამოხატავს მნათობებს შორის ნამდვილ დაშორებას. ცის სფერო ხასიათდება სფეროს იმ თვისებებით, რომელიც ცნობილია სფერული გეომეტრიიდან.

ასხვავებენ ტოპოცენტრულ, გეოცენტრულ და ჰელიოცენტრულ ცის სფეროს (ნახ. 2). პირველ შემთხვევაში ცის სფეროს ცენტრად იგულისხმება დედამიწაზე დგომის *A* (საყრდენი) წერტილი, მეორე შემთხვევაში — დედამიწის *C* ცენტრში დამკვირვებლის დგომის წერტილი, ხოლო მესამე შემთხვევაში კი — მზის *B* ცენტრში დამკვირვებლის დგომის წერტილი.

გეოცენტრული ცის სფეროს წარმოდგენით გამოყენება დამკვირვებელს ათავისუფლებს მნათობების ხილული მდებარეობით გამოწვეულ დედამიწაზე გადაადგილებებისაგან; ჰელიოცენტრული ცის სფეროს გამოყენება კი დამკვირვებელს ათავისუფლებს მნათობების ხილული მდებარეობით გამოწვეული მზის გაწმენა წლიური გადაადგილებებისაგან.

1.3.2. გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული სისტემები

საგანგებო დამკვირვების გარეშე დედამიწის მოძრაობებს აღამიანი ვერ შეიგრძნობს, რის გამო საუკუნეთა განმავლობაში ეგონათ, რომ უძრავ მდგომარეობაში მყოფი დედამიწის (ბერძნულად — გეო), როგორც ცენტრის, გარშემო ირიცხევა რაღაც მყარი სფეროს ზედაპირზე მიჭედლილი პლანეტები, კომეტები, მთვარე. მზე და სხვა ვარსკვლავები. ასეთი სახით სამყაროს (იგულისხმება მზის ოჯახი) აგებულების თეორია ჩამოყალიბებული იყო მე-2 საუკუნეში ალექსანდრიელი (ეგვიპტე) სწავლულის პტოლომეს (87—165) მიერ, რასაც სამყაროს გეოცენტრული სისტემა ეწოდება.

მე-16 საუკუნეში პოლონელმა დიდმა მეცნიერმა კოპერნიკმა (1473—1543 წწ.) დაასაბუთა, რომ მზის ოჯახის აგებულების შესახებ პტოლომეს გეოცენტრული სისტემა მცდარია, რადგანაც სამყაროს (მზის ოჯახის) მნათობთა ბრუნვის ცენტრია არა დედამიწა, არამედ მზე (ბერძნულად — ჰელიო), ანუ მზის ოჯახის აგებულება ჰელიოცენტრულ სისტემას წარმოადგენს. კოპერნიკმა განმარტა, რომ ცაზე მნათობთა ხილული მოძრაობა აღმოსავლეთიდან სამარეთზე გაეკით დასავლეთისაკენ (საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით) მოჩვენებითია და იგი შედეგია იმისა, რომ თვით დედამიწა ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ (საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით). აგრეთვე დედამიწა და სხვა პლანეტები მზის ირგვლივ გარემოქცევა დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ (საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით).

იტალიის პროგრესულ მეცნიერთა სასტიკი დევნა (ჯორდანო ბრუნოს კოცონზე დაწვა და ვალილეო გალილეის ძრავალჯერ წამება) ნათელყოფს იმას, თუ როგორ ძნელი იყო სამყაროს აგებულების შესახებ საუკუნეების მანძილზე კაცობრიობის ძვალ-რბილში გამჟღავნარი მცდარი სისტემის ახალი

მეცნიერული სისტემით შეცვლა. საყოფაღმადგომლო ერთი ფაქტი იმის შესახებ, რომ ჰელიოცენტრული სისტემის რეალობა ცნობილი იყო პითაგორას ფილოსოფიური სკოლისათვის, რაც 22 საუკუნის შემდეგ კოპერნიკმა დაასაბუთა.

ჰელიოცენტრული სისტემის მეცნიერული საფუძვლები, განსაკუთრებით დედამიწა-მზის მოძრაობის შესახებ, საგანგებოდ განიხილება მე-3, მე-4 თავებში. მანამდე კი საჭირო საკითხთა უფრო მოხერხებულად ათვისების მიზნით შევთანხმდეთ შემდეგში:

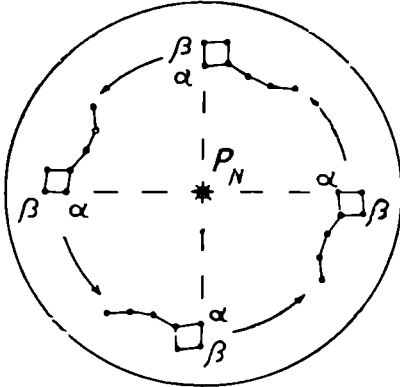
1. სიმოკლისათვის ვიზმართ გამოთქმას, თავისი ღერძის გარშემო დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ დედამიწის ბრუნვის ნაცვლად — დედამიწის ბრუნვა. მზის ირგვლივ აღმოსავლეთის მიმართულებით დედამიწის გარემოქცევის ნაცვლად — დედამიწის გარემოქცევა.

2. მზე და პლანეტები ყოველთვის იმყოფება დედამიწისა და ვარსკვლავებს შორის. ამიტომ მზის ირგვლივ გარემოქცევაში დედამიწაზე მყოფ დამკვირვებელს, რომელიც ალებული მიმართულებებით მნათობებს აკეგმილებს წარმოდგენით ცის სფეროზე, ეჩვენება, რომ მზე და დანარჩენი რვა პლანეტა ხეტიალობს ურთიერთ უცვლელ მდგომარეობაში მყოფ ცის სფეროზე დაგეგმილებულ ვარსკვლავებს შორის. აქედან წარმოსდგა მზის სისტემის მნათობების ბერძნული სახელწოდება პლანეტა, რაც მოხეტიალეს ნიშნავს: ასე რომ, ცის სფეროს მნათობების ხილული ქცევა მოჩვენებითია. მაგალითად, ცის სფეროზე ვხედავთ თითქოს ვარსკვლავები, მზე ამოდის მაშინ, როდესაც სინამდვილეში დედამიწასთან ერთად ჩვენ შევბრუნდით ამ მნათობებისაკენ; ან კიდევ ვხედავთ თითქოს ცის სფეროზე მზე ვარსკვლავებს შორის წლის განმავლობაში გადაადგილდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, მაშინ როდესაც სინამდვილეში თვით დედამიწა გარემოქცევა მზის მიმართ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ. მაშასადამე, ტექსტში სიტყვა ხილული საგანგებო შენიშვნების გაიუმე მნათობების მიმართ უნდა ვიგულისხმოთ მოჩვენებითი ანუ სინამდვილის საწინააღმდეგო. აქვე შევნიშნავთ, რომ აღნიშნულის მიზეზია ის, რომ დაქვევებელი თავის ხელსაწყოებით აღრიცხავენ მნათობებისა და მზის მოძრაობას ისე, როგორც ის მათ ხედავს, ანუ ეჩვენება, და ამით უფრო ადვილი ხდება სამყაროში მოძრაობის შესწავლა.

1.3.3. სამყაროში ორიენტირება. სამყაროსა და დედამიწის პოლუსები და ღერძები. საზუალდლო ხაზი. ზენიტი და ნადირი

ნებისმიერი ობიექტის დედამიწაზე ან ცის სფეროზე მიმართულების განსაზღვრისათვის საჭიროა სამყაროს მხარეების, ანუ მასში ორიენტირების, საკითხის დადგენა. აღნიშნული კი დაკავშირებულია სამყაროს პოლუსებისა და ცენტრი ეკვატორის მდებარეობის დადგენასთან. დედამიწიდან სამყაროში ორიენტირებისათვის ორი ძირითადი ვარსკვლავიდან იყენებენ ერთ-ერთს: ღამით პოლარულ ვარსკვლავს, ხოლო დღისით მზეს. მაგალითად, თუ გვეჩსომება პოლიზონტის მიმართ მზის ამოსვლის მხარე და ღამით ნებისმიერ დროს დავდგებით სახით მისკენ, შემდეგ მარცხნივ შემოვბრუნდებით, ცაზე ხილული დიდი დათვის (ნახ. 1 და 2) სახელწოდების შვიდი (α, β, γ, δ, ε, ζ, η) ვარსკვლავისაგან შემდგარი ჯგუფის ორ β და α ვარსკვლავს შორის მანძილის გაგომელებაზე α-დან თვალზომით ხუთჯერ გადაზომვით მონახული იქნე-

ბა პატარა დათვის კუდის თითქოს უძრავი α ვარსკვლავი, რომელსაც სამყაროს P_N პოლუსთან, ანუ ვარსკვლავების დედამიწური ბრუნვის O ცენტრთან სიახლოვის გამო ეწოდა პოლარული ვარსკვლავი (დედამიწიდან ამ ვარსკვლავამდე მანძილია 460 სინათლის წელი; 1 ნახაზზე ბრუნვის O ცენტრი აღნიშნულია P_N სიმბოლოთი). თუ მზის ამოსვლის მხარე არ ვიცით, ადგილზე არუნვით უნდა ვეძებოთ დიდი დათვის თანავარსკვლავები და მოვიქცეთ ისე, როგორც ზემოთ განვმარტეთ.



ნახ. 1.3.3.1.

ჩვენგან α პოლარული ვარსკვლავისაკენ მიმართულებას უწოდებენ ჩრდილოეთს, ჩვენს უკან — სამხრეთს, ჩვენგან მარჯვნივ — აღმოსავლეთს და მარცხნივ კი — დასავლეთს. შუაღლისას, ჩვენი (აღვლილობრივი, დეკრეტული) დროით 13 საათზე, სახით მზისკენ თუ დავდგებით, ამ ხილულ მიმართულებას სამხრეთი (მზე უმაღლესი მდებარეობა აქვს პორიზონტიდან), ჩვენს უკან ჩრდილოეთი (მზე აქ

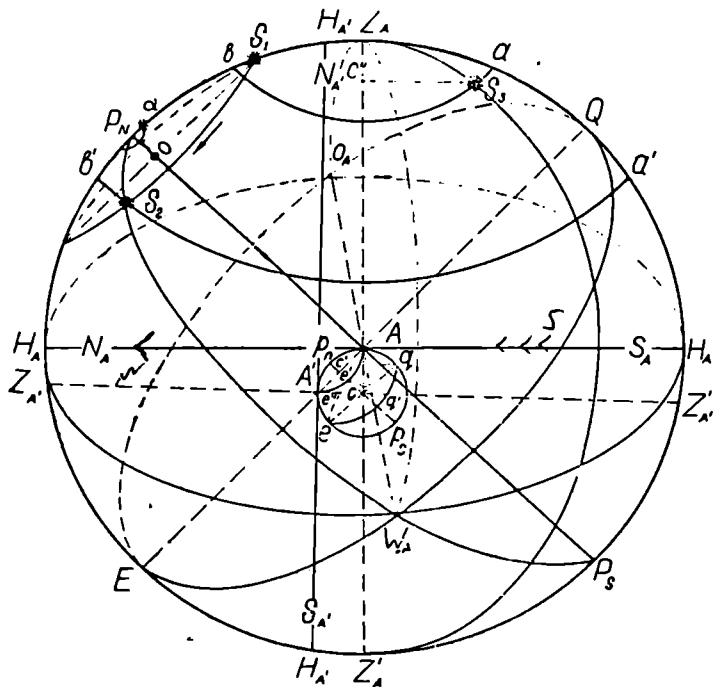
არასდროს არ არის და ჩრდილი იქეთ არის მიმართული), მარჯვნივ დასავლეთი (მზე ჩადის) და მარცხნივ აღმოსავლეთი (მზე ამოდის) მიმართულება ეწოდება. როგორც ვხედავთ, მზის ხილული ანუ მოჩვენებითი ქცევის შესაბამისად მიუღიათ ქვეყნის მხარეების სახელები. აქვე აღვნიშნავთ, რომ მზიდან დედამიწამდე საშუალო მანძილია $1,496 \times 10^8$ კმ და სხივი დედამიწამდე აღწევს 8 მინუტსა და 21 სექუნდში.

დროის პერიოდს, რომელიც გადის აღმოსავლეთის მხრიდან მზის ორ თანამიმდევრო ამოსვლას შორის, ეწოდება დღე-ღამე.

სამყაროში ძირითად (გამოსავალ) მიმართულებად, რომელსაც უკავშირებენ ნებისმიერ ობიექტს, მიღებულია ჩრდილო-სამხრეთი ან სამხრეთ-ჩრდილოეთი და მასთან დაკავშირებული მუდმივი მიმართულებები.)

ცის სფეროს წარმოდგენითი რადიუსი დედამიწის რადიუსთან შედარებით იმდენად დიდია, რომ დედამიწის ნებისმიერი დიამეტრის ბოლოებიდან გატარებული პარალელური ხაზები გადაიკვეთება ცის სფეროს ისეთ ორ წერტილში, რომელთა შემაერთებელი წრფე ცის სფეროს დიამეტრია იქნება. მაგალითად, (ნახ. 1.3.1.2) T_1 და T_2 დედამიწის მხები პარალელური ხაზები ჩვენს წარმოდგენაში გადაიკვეთება ცის სფეროს T' და T'' წერტილებში. უსასრულო რაოდენობის შესაძლო დიამეტრებიდან სამყაროს ღერძად ვიღებთ $P_N P_S$ ჩრდილო-სამხრეთ დიამეტრს, რომლის P_N და P_S წერტილებს, შესაბამისად, ჩრდილო და სამხრეთ პოლუსებს უწოდებენ (ნახ. 2). მართლაც, დედამიწის A წერტილზე სახით ჩრდილოეთისაკენ მდგომ დამკვირვებელს ეჩვენება

ნება, რომ მისგან დასავლეთით მყოფი ვარსკვლავები ნელ-ნელა იწევა ძირს და ზოგიერთი მათგანი სულ იმალება, ხოლო აღმოსავლეთით მყოფი ვარსკვლავები (თანავარსკვლავედები) თანდათან იწევა ზემოთ და მათ ადგილს იკვრის ისეთი ვარსკვლავები, რომლებიც ადრე არ ჩანდნენ. მაშასადამე, პორიზონტის ზემოთ ყოველ დღე-ღამეში ვარსკვლავები (ნახ. 2, ვარსკვლავები S_1, S_2), ასევე თანავარსკვლავედები (ნახ. 1, დიდი დათვი) და სხვა ასრულებს სრულ წრიულ ბრუნვას აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ (საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით), რომელთა ნაკველების O ცენტრისა და ადგილის A წერტილის შემაერთებელი წრფე ანუ ბრუნვის $P_N P_S$ ლერძები და პოლარული ვარსკვლავის α პროექცია (ნახ. 2) ცის სფეროზე ურთიერთს არ



ნახ. 1. 3. 3. 2.

ემთხვევა (დამორება არის $1^\circ 3'$). როგორც ვხედავთ, ნამდვილ O ცენტრს, ანუ P_N პოლუსს, არც ერთი ვარსკვლავი არ ემთხვევა. სამხრეთი P_S პოლუსი არ ჩანს, რადგანაც იგი ჰემსფეროზე პორიზონტის ქვემოთაა. დადგენილია, რომ თანავარსკვლავედების მოჩვენებითი (ხილული) მოძრაობა სამყაროს ლერძის გარშემო სრულიად თანაბარია და წარმოებს ერთსა და იმავე კუთხურ სიჩქარით ისე, რომ მათი ფორმა და მათში შემავალ ვარსკვლავებს შორის მანძილი მრავალი საუკუნის მანძილზე უცვლელია; აქ მხედველობაში ვერ ვი-

ლებთ ვარსკვლავების საკუთარ მოძრაობას (30 კმ/სკ და მეტიც) დედამიწიდან მათ უაღრესად დიდი დაშორების გამო. ადამიანს ეჩვენება თითქოს ვარსკვლავები მიჰქვდილია ცის სფეროზე და იგი თანაბრად ბრუნავს $P_N P_S$ ღერძის გარშემო. ამიტომ არის, რომ $P_N P_S$ ხაზს უძველესი დროიდან უწოდებენ სამყაროს ღერძს. ჰელიოცენტრული სისტემის შესაბამისად, ცხადია, რომ დედამიწის ბრუნვის $p_n p_s$ ღერძი პარალელური იქნება სამყაროს $P_N P_S$ ღერძისა. აქვე შევნიშნავთ, რომ სამყაროსთან შედარებით დედამიწის უაღრესად სიმცირის გამო ამ ღერძებს ურთიერთშეთავსებულად სთვლიან და ასევე ხაზავენ; აგრეთვე დედამიწას ხშირად სამყაროს ცენტრალურ წერტილად წარმოიდგენენ; მაშასადამე, ხშირად საქმე გვაქვს გეოცენტრულ ცის სფეროსთან.

ცის სფეროს ცნების შესაბამისად, ამ შემთხვევაშიაც ზემოთ მოყვანილი კეპლერის პირველი კანონის სიბრტყის ცის სფეროსთან განკვეთით მიღებული დიდი $H_A O_A H_A W_A$ წრეხაზი იწოდება ცის კეპლერი (მათემატიკურ) პირიზონტად, რომლის $H_A H_A$ დიამეტრს (ნახ. 2) აგრეთვე მოკლედ ადგილის კეპლერი პირიზონტს ვუწოდებთ.

სამყაროს $P_N P_S$ ღერძის პროექციას (ნახ. 2) კეპლერი პირიზონტის სიბრტყეზე, შესაბამისად, N_A (Nord) და S_A (Sud) ასოებით აღნიშნავენ. $N_A S_A$ ხაზს საშუალოდ ხაზს უწოდებენ, რადგანაც შუადღისას (ჩვენი დეკრეტული დროით 13 საათზე) ამ ხაზის სამხრეთი მხარე შზის გასწვრივობაში იმყოფება; მაშასადამე, შუადღისას შეეულად დაყენებული სარი პირიზონტულ სიბრტყეზე მოგვეცემს ჩრდილს N_A წერტილისაკენ. A წერტილში მდგომი დამკვირვებლისაგან (როდესაც ის სახით N_A ჩრდილოეთისაკენაა) საშუალოდ ხაზის მართობულ მიმართებას მარჯვნივ O_A (Ost) და მარცხნივ W_A (West) ასოებით აღნიშნავენ. მაშასადამე, AN_A , AS_A ; AO_A და AW_A , შესაბამისად, იქნება ჩრდილოეთი, სამხრეთი, აღმოსავლეთი და დასავლეთი მხარეები.

დედამიწის ნებისმიერ წერტილში კეპლერი პირიზონტის სიბრტყისადმი შეეულის ცის სფეროსთან გადაკვეთის წერტილს დედამიწაზე დამკვირვებლის დგომის წერტილის ზენიტი ეწოდება, პირიზონტის ქვემოთ იმავე დიამეტრის ბოლო წერტილს ნადირი კეპია. მაგალითად, (ნახ. 2) A წერტილის კეპლერი პირიზონტია $H_A H_A$, რომელიც ჩვეულებრივ $N_A S_A$ საშუალოდ ხაზს ემთხვევა; ზენიტი და ნადირი, შესაბამისად, არის Z_A და Z_A' , ხოლო A' წერტილის კეპლერი პირიზონტია $H_A' H_A'$, რომელიც $N_A' S_A'$ საშუალოდ ხაზს ემთხვევა; შესაბამისი ზენიტი და ნადირი კი იქნება Z_A' და Z_A'' . როგორც ვხედავთ, დედამიწაზე დამკვირვებლის დგომის ყოველ წერტილს თავისი პირიზონტი, ზენიტი და ნადირი აქვს. მაშასადამე, დედამიწაზე დგომის სხვადასხვა წერტილის შესაბამისად, დედამიწისა და სამყაროს ღერძის მიმართ ადგილის კეპლერი პირიზონტის სიბრტყეს სხვადასხვა დახრა ექნება. აქვე შევნიშნავთ, რომ საკითხე-

ბის უფრო ადვილად ახსნის მიზნით ცის სფეროს დახაზვის დროს ხშირად ადგილის ქეშმარიტი პორიზონტის სიბრტყეს პორიზონტულად ხაზავენ, ხოლო სამყაროს ღერძს, შესაბამისად, დახრილად.

1.3.4. ხაზები და წერტილები დედამიწასა და ცის სფეროზე

დედამიწის ნებისმიერი წერტილის შეველსა და პოლუსებზე¹ გატარებულ წარმოდგენით დიდ წრეს ამ წერტილის გეოგრაფიული (ქეშმარიტი) მერიდიანი სიბრტყე ეწოდება. ხოლო შესაბამის დიდ წრებას წერტილის გეოგრაფიული (ქეშმარიტი) მერიდიანი ჰქვია. მაშასადამე, დედამიწის ყოველ წერტილს თავისი მერიდიანი აქვს და ყოველ მერიდიანს შეესაბამება წერტილი: უსასრულო რაოდენობა. მაგალითად, (1.3.3.2) ნახაზზე A წერტილის მერიდიანია $p_n A p_s$.

თუ აზრობრივ განვაგრძობთ ადგილის A წერტილის მერიდიანის სიბრტყეს ტოპოცენტრული ცის სფეროს გადაკვეთამდე, იგი გაივლის სამყაროს P_N და P_S პოლუსებზე, ადგილის A წერტილის Z_A ზენიტსა და Z_A' ნადირზე. ამ დიდ ვერტიკალურ წრეს ეწოდება ადგილის ციური გეოგრაფიული მერიდიანის სიბრტყე, ხოლო შესაბამის დიდ წრებას ადგილის ციური გეოგრაფიული მერიდიანი ჰქვია. მაშასადამე, A წერტილას ცის მერიდიანია $P_N Z_A P_S Z_A'$. ციური მერიდიანის სიბრტყე მართობია ციური პორიზონტის სიბრტყისა, მათი გადაკვეთა უკვე ცნობილი $N_A S_A$ საშუალებო ანუ ადგილის ქეშმარიტი პორიზონტის $H_A H_A'$ ხაზია. ადგილის ციური მერიდიანი სამყაროს ჰყოფს ორ ტოლ აღმოსავლეთ (ყველა მნათობი თითქოს აღმავალია) და დასავლეთ (ყველა მნათობი თითქოს დაღმავალია) ნაწილად. მაშასადამე, ეს ვერტიკალური სიბრტყე ყოველი ვარსკვლავის ხილულ, ანუ მოჩვენებით, დედამიწურ გზას ჰყოფს ორ სიმეტრიულ ნაწილად. აგრეთვე მერიდიანის $N_A Z_A$ ნაწილი, რომელშიც მოქცეულია P_N პოლუსი, იწოდება ჩრდილო ნაწილად, ხოლო $S_A Z_A'$ ნაწილი, რომელშიდაც P_S პოლუსია, სამხრეთად.

ნებისმიერ მნათობზე და სამყაროს P_N და P_S პოლუსებზე გატარებულ დიდ წრეს ამ მნათობის დახრილობის წრე ანუ საათ-წრე ეწოდება, ხოლო მის შესაბამის დიდ წრებას ამ მნათობის დახრილობის წრებაში ანუ საათ-წრეხაზი ჰქვია. მაშასადამე, ყოველ მნათობს თავისი საათ-წრეხაზი (დახრილობის) აქვს, ხოლო მათ შეესაბამება უამრავი მნათობი, მაგალითად, (1.3.3.2) ნახაზზე $P_N S_1 P_S$ არის S_1 მნათობის დახრილობის წრეხაზი ანუ საათ-წრეხაზი. S_1 ვარსკვლავის $P_N S_1 P_S$ საათ-წრეხაზი შემთხვევით შერწყმულია A წერტილის $P_N Z_A P_S Z_A'$ ცის მერიდიანთან. ადგილის ცის მერიდიანი უძრავია, ხოლო ვარსკვლავის საათ-წრეხაზი ვარსკვლავთან ერთად მონაწილეობას იღებს დედამიწურ მოჩვენებით ბრუნვაში.

¹ აქ იგულისხმება გეოგრაფიული პოლუსები და მერიდიანები. არსებობს კიდევ მაგნიტური და გეოპოლარული პოლუსები, რომელთა შესახებ ქვემოთ გვექნება ლაპარაკი.

დღეამიწის ნებისმიერ წერტილზე გამავალ შვეულზე, ანუ მის ზენიტზე, შეიძლება უამრავი ვერტიკალური სიბრტყის გატარება, რომელთა გადაკვეთა ცის სფეროსთან მოგვცემს ზენიტსა და ნადირზე გამავალ დიდ წრეებს. მათ შესაბამის ყოველ წრეხაზს მოცემული წერტილის ვერტიკალს ან სიმალლის წრეს უწოდებენ. A წერტილის $P_N Z_A P_S Z'_A$ ცის მერიდიანი ერთ-ერთ ვერტიკალს წარმოადგენს (კერძოდ, S_1 ვარსკვლავის ვერტიკალია), ხოლო მის მართობ $O_A Z_A W_A$ ვერტიკალს უწოდებენ მთავარ (პირველ) ვერტიკალს, რომელიც სამყაროს ორ — სამხრეთ და ჩრდილოეთ — ნაწილად ჰყოფს. S_2 მნათობის ვერტიკალია $Z_A S_2 Z'_A$. მაშასადამე, ყოველ მნათობს თავისი ვერტიკალი აქვს, რომელსაც შეიძლება შეესაბამებოდეს უამრავი მნათობი. ვერტიკალი ვარსკვლავის დღელამურ ბრუნვაში მონაწილეობას არ იღებს, იგი უძრავია.

დღელამიწის ნებისმიერ წერტილზე p, p_1 ღერძისადმი გატარებულ მართობ მცირე წრეს ამ წერტილის პარალელის სიბრტყე ეწოდება, ხოლო შესაბამის წრეხაზებს წერტილის პარალელი ეძევიან. მაგალითად, A წერტილის (ნახ. 2) პარალელია $Ae'e'$; მაშასადამე, დღელამიწის ყოველ წერტილს თავისი პარალელი შეესაბამება, ხოლო ყოველ პარალელს კი შეესაბამება დღელამიწის წერტილთა უსასრულო რაოდენობა.

უდიდესი პარალელის სიბრტყეს ეკვატორის სიბრტყე ეწოდება, ხოლო უდიდეს პარალელს ეკვატორი ეძევიან. (1.3.3.2) ნახაზზე $qq'e$ არის ეკვატორი.

მნათობთა დღელამური წრეხაზები ურთიერთპარალელურებია, ამიტომ ამ წრეხაზებს მნათობთა დღელამურ პარალელებს უწოდებენ. მაგალითად, (2) ნახაზზე S_1 და S_2 მნათობების დღელამური პარალელი ერთი და იგივეა. ნებისმიერი დღელამური პარალელის ცენტრი სამყაროს ღერძზე მდებარეობს. მაშასადამე, სამყაროს ღერძი დღელამური პარალელების ცენტრების წრფივ ერთობლიობას წარმოადგენს.

დღელამიწის ეკვატორის სიბრტყის აზრობრივ განგრძობით ცის სფეროს გადაკვეთით მივიღებთ ცის ეკვატორის სიბრტყეს და შესაბამის დიდ წრეხაზს — ცის ეკვატორს, (2) ნახაზის QW_AEO_A ციურ ეკვატორს წარმოადგენს. ცხადია, ეკვატორზე მდებარე მნათობებისათვის თვით ეკვატორი უდიდესი დღელამური პარალელი იქნება და მისი ცენტრი ცის სფეროს ცენტრში იმყოფება.

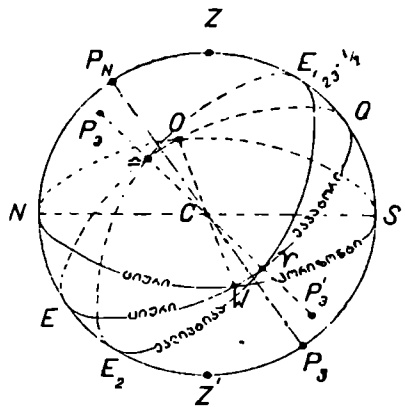
დღელამიწის ნებისმიერი წერტილის ჰემისფერო კოორდინატის სიბრტყის პარალელურ სიბრტყეს, რომელიც გადის მნათობზე, ამ მნათობის ალმუჟანტარანტის წრე, ანუ ტოლი სიმაღლეების წრე ეწოდება, ხოლო შესაბამის მცირე წრეხაზს მნათობის ალმუჟანტარანტი (ტოლი სიმაღლეების წრეხაზი) ეძევიან. (2) ნახაზზე aS_2b და $a'S_2b'$ მცირე წრეხაზი შესაბამისად არის S_2 და S_2' მნათობის ალმუჟანტარანტი.

როგორც ვხედავთ (1.3.3.2) ნახაზზე $O_A W_A$, ასევე (1) ნახაზზე OW , აღმოსავლეთ-დასავლეთი ხაზი ჰემისფერო კოორდინატის, ეკვატორისა და მთავარი (პირველი) ვერტიკალის სიბრტყეების გადაკვეთის შედეგია.

ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ ყოველი ვარსკვლავი დიდი კოსმოსური სიჩქარით მოძრაობს; სიჩქარე 1 სექუნდში 30 კმ და მეტსაც აღწევს, მაგრამ დე-

დამიწიდან ვარსკვლავების დაშორება იმდენად დიდია, რომ ასეთი დიდი სიჩქარის შესაბამისი კუთხური გადაადგილება სრულიად უმნიშვნელოა, ხოლო ზოგიერთი უახლოესი ვარსკვლავის კუთხური გადაადგილება შეიმჩნევა და აღწევს წელს φ -ს ერთ სეკუნდს. ამიტომ დაკვირვებების დროს ცის სფეროზე ვარსკვლავების ურთიერთგანლაგებას მუდმივად ვთვლით. მაგრამ მზის სისტემის ობიექტების მდგომარეობა (მზე, პლანეტები, თანამგზავრები, კომეტები, მცირე პლანეტები) სრულიად სხვაგვარია. ცის სფეროზე მათი ხილული მდგომარეობა ვარსკვლავების მიმართ იცვლება საგრძნობლად ჩქარა. როგორც აღენიშნეთ, დედამიწა, ისე როგორც სხვა პლანეტები, მზის თანამგზავრია და ელიფსური ორბიტის გზით იგი ერთი წლის განმავლობაში დასავლეთიდან აღმოსავლეთით გადაადგილებით გარემოიქცევა მზის მიმართ. დედამიწიდან დამკვირვებელს კი ეჩვენება, თითქოს ვარსკვლავებს შორის მზე მოძრაობს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ და ერთი წლის პერიოდში გარემოიქცევა დედამიწის მიმართ. ამიტომ მიღებულა გამოთქმა მზის ხილული წლიური მოძრაობა. ეს მოძრაობა ცის სფეროზე ქნის $\gamma E_1 \text{ და } E_2$ დიდ წრეხაზს (ნახ. 1), რომელსაც ეკლიპტიკა ეწოდება, ხოლო შესაბამის სიბრტყეს ეკლიპტიკის სიბრტყე ჰქვია ((1) ნახაზი წარმოადგენს გეოცენტრული ცის სფეროს). მაშასადამე, ეკლიპტიკა წარმოადგენს ორბიტის სიბრტყის განგრძობით ცის სფეროსთან დააკვეთით მიღებულ დიდ წრეხაზს.

(1.5.1.3) ნახაზი შეესაბამება პელიოცენტრულ ცის სფეროს. ეკლიპტიკის შესაბამისი სიბრტყე დახრილია ციური ეკვატორის სიბრტყესთან $23\frac{1}{2}^\circ$. ეს დიდი წრეხაზები იკვეთება γ (ვერძის) და Ω (სასწორის) წერტილებში. პირველი აღნიშნავს



ნახ. 1.3.4.1.

გაზაფხულის (მზე აქ იმყოფება ყოველი წლის 21/III) და მეორე კი შემოდგომის (მზე აქ იმყოფება ყოველი წლის 23/IX) ბუნიობის — დღედამტოლობის წერტილებს. E_1 და E_2 წერტილებს კი, შესაბამისად, ეწოდება ზაფხულისა და ზამთრის მზებუდობის, ანუ მოჩენებით მზის დროებითი (რამდენიმე დღით) შეჩერების, წერტილები (ნახ. 1). როგორც ვხედავთ, ცის სფეროზე, გარდა P_N , P_S , Z , Z' წერტილებისა, არსებობს ეკლიპტიკის P_3 , P_3' პოლუსები და შესაბამისი ღერძები. მნათობებსა და ეკლიპტიკის პოლუსებზე გამავალ დიდ წრეებსა და წრეხაზებს უწოდებენ ეკლიპტიკური განედის წრეებსა და წრეხაზებს.

(1.3.3) და (1.3.4) პარაგრაფებში მოკვანილი ცის სფეროზე დამხმარე წერტილები, ხაზები და თვით მნათობებიც შეიძლება სამ ჯგუფად დაკვათ:

I ჯგუფი — ის ელემენტები, რომლებიც დაკავშირებული არიან დე-

დამიწის ბრუნვასთან. მაგალითად, სამყაროს P_N და P_S პოლუსები, $P_N P_S$ ღერძი, ციური ეკვატორი, დღედამური პარალელები, დახრილობის წრეები ანუ საათ-წრეები, წრეხაზები და თვით მნათობები თითქოს ეკუთვნის ციურ სფეროს და მონაწილეობას იღებს ხილულ (მოჩვენებით) დღედამურ ბრუნვაში (ნახ. 1.3.3.2).

II ჯგუფი — ის ელემენტები, რომლებიც დაკავშირებული არიან მხოლოდ დაკვირვების პუნქტებთან. მაგალითად, Z ზენიტი და Z' ნადირი, ციური კუთხარტი პორიზონტი, ადგილის ციური ანუ ასტრონომიული მერიდიანი, NS საშუალო ხაზი, ვერტიკალები ანუ სიმალეების წრეხაზები, ალმუჯანტარანტები მონაწილეობას არ იღებს მოჩვენებითს (ხილულ) დღედამურ ბრუნვაში და თითქოს წარმოადგენს უჩავე კარკასს (ჩაუნჩს), რომელშიც მოძრაობს ცის სფეროს პირველ ჯგუფში შემავალი ელემენტები (ნახ. 1.3.3.2).

III ჯგუფი — ის ელემენტები, რომლებიც დაკავშირებული არიან მზის ირგვლივ დედამიწის გარემოქცევასთან ანუ მზის ხილულ (მოჩვენებით) მოძრაობასთან. მაგალითად, ციური ეკვატორი და ეკლიპტიკის Υ , Ω , E_1 , E_2 წერტილები ეკუთვნის ცის სფეროს და მონაწილეობს დღედამურ ხილულ (მოჩვენებით) ბრუნვაში ისევე, როგორც I ჯგუფის ვარსკვლავები, ხაზები, ღერძები, წერტილები (ნახ. 1).

1.3.5. კოორდინატები

კოორდინატებს უწოდებენ იმ ფარდობით, სახელდებულ რიცხვებს, რომლებითაც განისაზღვრება წერტილები მდებარეობა. მათი განზომილებაა ძირითადად ხაზოვანი, კუთხური ან დროითი. არსებობს კოორდინატების მრავალი სისტემა. ამა თუ იმ სისტემას იყენებენ საქირებისამებრ, საკითხების მოხერხებულად გაშუქებისათვის და წერტილთა მდებარეობის ადვილად განსაზღვრის მიზნით. სამყაროს ზოგად გაცნობასთან დაკავშირებით აქ განვიხილავთ ზოგიერთ მათგანს.

A. გეოგრაფიული კოორდინატები

დღედამიწაზე, როგორც სფეროზე ან სფეროიდზე, წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის იყენებენ ორ სფერულ ან სფეროიდულ კოორდინატს: განედსა და გრძედს, რომელთაც გეოგრაფიული კოორდინატები ეწოდება. აქ განვიხილავთ სფერულ გეოგრაფიულ კოორდინატებს (ნახ. 1). M_0 წერტილის განედი ეწოდება მისი მერიდიანის სიმბრტყეზე მდებარე ბრტყელ ფართობს, რომელსაც ამ წერტილის შვეულნი¹ ადგენს ეკვატორის სიმბრტყესთან. ეს ცენტრალური კუთხე იზომება M_0 წერტილის მერიდიანის $F_0' M_0$ რკალით 0° -დან 90° -მდე, რომელიც ეკვატორიდან ჩრდილოეთისაკენ დადებითაა, ხოლო სამხრეთისაკენ — უარყოფითი. ($90^\circ - \varphi$) კუთხეს ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ გამოსახავენ μM_0 რკალით და ეწოდება ად-

¹ მთლიანი შედგომის დაშვებით იგულისხმება, რომ შვეული ხაზები გადის დედამიწის ცენტრში. აგრეთვე დაშვებულია, დედამიწის $p_1 p_2$ ბრუნვის ღერძი შერწყმულია სამყაროს $P_N P_S$ ღერძთან.

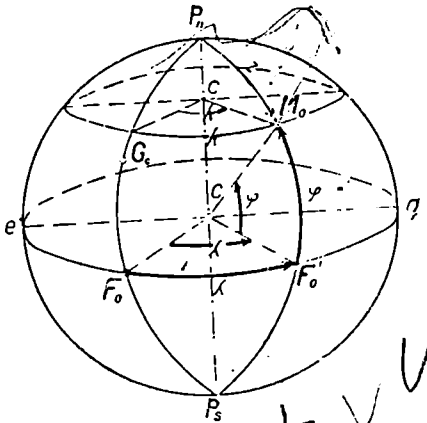
გილის α ზენიტის მანძილი ჩრდილო P_n პოლუსიდან ან პოლუსის ზენიტური მანძილი. იგი დადებითად ითვლება $0^\circ - 180^\circ$ -მდე. მასადაამე, შეიძლება დაიწეროს:

$$\varphi + \alpha = 90^\circ. \quad (1.3.5.1)$$

M_0 წერტილის გრძელი არის λ ორწახნაგა კუთხე, რომელსაც ამ წერტილის მერიდიანის სიბრტყე (φ განედის მხარე) ადგენს ნულოვანი მერიდიანის სიბრტყესთან. იგი იზომება შესაბამისი $F_0 C F_0'$ ცენტრალური ხაზოვანი კუთხის მოპქიმავე ეკვატორის $F_0 F_0'$ რკალით გრადუსებში, აითვლება $0^\circ - 180^\circ$ -მდე. ეს კუთხე ნულოვანი მერიდიანიდან აღმოსავლეთისაკენ დადებითია, დასავლეთისაკენ — უარყოფითი საერთაშორისო შეთანხმების თანახმად, 1884 წელს ნულოვან (მთავარ) მერიდიანის ნულ პუნქტად მიღებულია G_0 გრინვიჩის (ინგლისი) მერიდიანისა და ეკვატორის გადაკვეთის F_0 წერტილი. პრაქტიკულად გრძელის ოდენობის განსაზღვრა დაკავშირებულია დედამიწის ბრუნვასთან (რასაც ქვემოთ გავეცნობთ); ამიტომ ხშირად გრძელს გამოსაზღვრენ დროის ერთეულებში. ამ შემთხვევაში მისი სიდიდე ნულ პუნქტიდან აიღება აღმოსავლეთით ან დასავლეთით ± 12 საათამდე ან 24 საათამდე.

გეოგრაფიული კოორდინატების გაცნობის შემდეგ შეგვიძლია მივიღოთ ასეთი განსაზღვრებები: დედამიწის ნებისმიერი წერტილის პარალელის შესაბამისი განედი მუდმივია. პარალელს, რომლის $\varphi = 0$, ეკვატორი ეწოდება. დედამიწაზე წერტილებს, რომელთა $\varphi = \pm 90^\circ$, პოლუსები ჰქვია. დედამიწის ნებისმიერი წერტილის მერიდიანის შესაბამისი გრძელი მუდმივია. გრინვიჩის, ანუ ნულოვანი მერიდიანის, გრძელი $\lambda = 0$.

გეოგრაფიული კოორდინატების ოდენობები ისაზღვრება მნათობებზე ასტრონომიული დაკვირვებებისა და გაზომვების გზით (იხ. 8, 1 თავი).



ნახ. 1.3.5.1.

B. მნათობების კოორდინატები გეოცენტრულ ცის სფეროზე (ციური კოორდინატები)

წერტილთა გეოგრაფიული კოორდინატების განსაზღვრისა და ამ წერტილებიდან ადგილის სხვადასხვა წერტილზე გაგნებისათვის, ანუ ასტრონომიული აზიმუტის განსაზღვრისათვის, საჭიროა სათანადო კოორდინატთა სისტემაში დანაკვირვები მნათობების ცის სფეროზე მდებარეობის ცოდნა.

როგორც ვიცით, მნათობებზე დაკვირვებები ხდება დედამიწიდან, რომელიც წერტილის სახით წარმოიდგინება ცის სფეროს ცენტრში (გეოც. ნ. 5. თავზე)

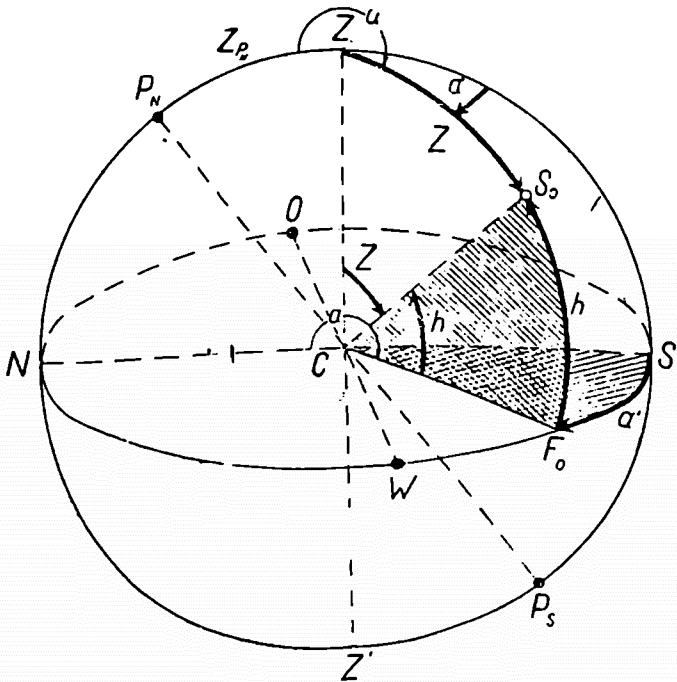
ცენტრული ცის სფერო). დამკვირვებლიდან მნათობზე გატარებული სხივი ცის სფეროს განკვეთის ადგილზე იძლევა ამ მნათობების გეგმის. ცის სფეროზე ამ გეგმის მდებარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა ორი სფერული კოორდინატი, რადგანაც მნათობებზე (რაიმე გამოსავალ დიდ წრებაზე) მხოლოდ მიმართულებების განსაზღვრის საშუალება გვაქვს, რომლებიც უნდა გაიზომოს დიდი წრებას რკალით.

იმის მიხედვით, თუ რომელ წრებას ავიღებთ გამოსავლად, კოორდინატა სისტემას მისი სახელი ჰქვია. აქ განიხილება პორიზონტის, ეკვატორული და ეკლიპტიკური კოორდინატები.

ა. ადგალობრივი პორიზონტის (პორიზონტული) კოორდინატები

ამ სისტემის გამოსავალს წარმოადგენს ჰემსფერო ციური პორიზონტის სიბრტყე და შვეული ZZ' ღერძი, ანუ დაკვირვების ადგილთან დაკავშირებული წრეები, როგორცაა ჰემსფერო ციური პორიზონტისა და ადგილის ციური ჰემსფერო მერიდიანის სიბრტყე.

ცის სფეროზე მნათობის პორიზონტის ანუ პორიზონტული (და არა პორიზონტალური) კოორდინატებია მისი h სიმაღლე ან Z ზენიტური მანძილი და a ან a' აზიმუტი (ნახ. 2). მნათობის სიმაღლე



ნახ. 1.3.5.2.

არის მისი ვერტიკალის სიბრტყეზე მდებარე χ ბრტყელი კუთხე, რომელსაც ამ მნათობისაკენ $C\chi$ მიმართება χ მნათობის ადგილის პორიზონტის სიბრტყესთან. ეს ცენტრალური კუთხე იზომება S_0 ვარსკვლავის ვერტიკალის F_0S_0 რკალით $0^\circ-90^\circ$ -მდე, იგი პორიზონტიდან ზენიტისაკენ დადებითია, ხოლო ნაღირისაკენ — უარყოფითი.

ხშირად ნაკვალად S_0 მნათობის χ სიმაღლისა იყენებენ S_0 მნათობის χ ზენიტურ მანძილს. რომელიც შეესაბამება ადგილის ზენიტიდან S_0 მნათობამდე ვერტიკალის რკალს $0^\circ-180^\circ$ მდე. იგი ყოველთვის დადებითია. მაშასადამე, შეიძლება დავწეროთ:

$$\chi + \chi = 90^\circ. \quad (1.3.5.2)$$

ცხადია, რომ იმ მნათობების სიმაღლე, რომელიც დამკვირვებლის ზენიტს ემთხვევა, 90° იქნება. P_N პოლუსის ზენიტური მანძილი იქნება χ_P . ზემოხსენებული კოორდინატი (χ ან χ) შეესაბამება S_0 მნათობის ალმუქანტარანტს

(ნახაზზე ალმუქანტარანტი ნაჩვენებია არ არის). ჩვენ კი გვსურს ალმუქანტარანტზე S_0 მნათობის მდებარეობის განსაზღვრა. მაშასადამე, საჭიროა მეორე კოორდინატის ცოდნა. ეს იქნება a ან a' აზიმუტი (სფერული კუთხე გამოსავალი წერტილის ზენიტთან). ამ ორწახნავა კუთხეს ადგენს S_0 მნათობის ვერტიკალის χ სიმაღლის შესაბამისი მხარე ცის მეზიდანიის N ჩრდილო ან S სამხრეთ მხარესთან. იგი იზომება შესაბამისი NCF_0 ან SCF_0 ცენტრალური ხაზოვანი კუთხის მოშვიდავი ჰეშმარიტი პორიზონტის $NOSF_0$ ან SF_0 რკალით $0^\circ-360^\circ$, დედამიწის ბრუნვის საწინააღმდეგო ანუ ვარსკვლავების დღელამური ხილული ბრუნვის მიმართულეებით. მნათობის აზიმუტის პრაქტიკულად განსაზღვრის უფრო შესაბამისი განსაზღვრებაა ასეთი: a ან a' აზიმუტი არის ბრტყელი NCF_0 ან SCF_0 კუთხე ადგილის ჰეშმარიტი პორიზონტის სიბრტყეზე, რომელსაც S_0 მნათობზე CS_0 მიმართების CF_0 გეგმილი ადგენს საშუალებო ხაზის CN ან CS მიმართებასთან. იგი იზომება შესაბამისი $NOSF_0$ ან SF_0 რკალით. როგორც ვხედავთ, საშუალებო ხაზის ჩრდილო მხარედან ათვილი a აზიმუტსა და სამხრეთ მხარედან ათვილი a' აზიმუტს შორის სხვაობა არის 180° . პირველს იყენებენ გეოდეზიაში დედამიწის რაიმე წერტილზე ასტრონომიული ორიენტირებისათვის, ხოლო მეორეს — ასტრონომები. ზოგჯერ მნათობების აზიმუტებს ადგილის ცის მეზიდანიის საწყისი წერტილებიდან $\pm 180^\circ$ -მდე იღებენ. ამ შემთხვევაში აზიმუტების ოდენობები მიღებულია SW მხარისაკენ დადებითად და SU მხარისაკენ უარყოფითად, ხოლო NO დადებითად და NW — უარყოფითად.

S_0 ვარსკვლავის კოორდინატი ცის სფეროზე შეიძლება ჩაითვალოს მედმივად მხოლოდ მაშინ, თუ ისევე როგორც თვით S_0 ვარსკვლავი მისი კოორდინატების გამოსავალი, ანუ საკოორდინატო ლერძებიც (წრეები), მონაწილეობას იღებს ცის სფეროს მოჩვენებით დღელამურ ბრუნვაში. როგორც ვიცით: პორიზონტის ორივე კოორდინატის გამოსავალი ლერძები (წრეები), როგორცაა ადგილის ჰეშმარიტი ციური პორიზონტი და ადგილის ციური მეზიდანი, ცის სფეროს მოჩვენებით დღელამურ ბრუნვაში მონაწილეობას არ იღებს და ამიტომ S_0 ვარსკვლავის χ სიმაღლე და a აზიმუტი სხვადასხვა ოდენობისა დაკვირვების სხვადასხვა ადგილისა და დროის მიხედვით. როგორც ვხედავთ, ცის სფეროზე პორიზონტის კოორდინატებით მნათობების მდებარეობის სრულყოფილად განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ ის ადგილი (გეოგრაფიული კოორდინატები), საიდანაც მნათობის პორი-

ზონტის კოორდინატებია განსაზღვრული, რადგანაც ყოველ ადგილს თავისი ციური ჰორიზონტი და მერიდიანი შეესაბამება; აგრეთვე საჭირო იქნება ცოდნა დაკვირვების დროსი, ვინაიდან დედამიწის დღელამური ბრუნვის ანუ ცის სფეროს (S_0 ვარსკვლავის) მოჩვენებითი ბრუნვის გამო ჰორიზონტული კოორდინატების ოდენობები განუწყვეტილად იცვლება. მაგალითად, მზის ამოსვლისას მისი χ სიმაღლე ნულია, ხოლო აზიმუტი აღმოსავლური 90° იქნება. მის მიერ მერიდიანის გადაკვეთისას χ სიმაღლე იქნება 90° , ხოლო აზიმუტი — ნული გრადუსი, მზის ჩასვლისას χ სიმაღლე ისევ ნული გახდება, ხოლო აზიმუტი იქნება დასავლური 90° . აღნიშნული მიზეზების გამო შეფერხებულია მნათობთა ჰორიზონტის კოორდინატების მუდმივი კატალოგის შედგენა. ამაში მდგომარეობს ჰორიზონტის კოორდინატების უარყოფითი მხარე. აქვე შეენიშნავთ, რომ ჰორიზონტის კოორდინატები მაინც გამოიყენება, რადგანაც ხშირად საჭიროა იმის ცოდნა, თუ რა დროს და სად გამოჩნდება ესა თუ ის მნათობი ცის სფეროზე გარკვეული ადგილის ციური ჰორიზონტის მიმართ; აგრეთვე პოლარული ვარსკვლავის სიმაღლის განსაზღვრით ვადგენთ ადგილის განედს.

ბ. ეკვატორული კოორდინატები

ამ სისტემის გამოსავალია ციური ეკვატორი და სამყაროს ღერძი. ცის სფეროზე მნათობის ეკვატორული კოორდინატები არის ორი სახის.

I. პირველი სახის (აღზილობრივი) ეკვატორული კოორდინატები

აქ გამოსავალი ანუ საკოორდინატო ღერძებია ციური ეკვატორი და ადგილის ციური ჰემიპარტი გეოგრაფიული მერიდიანი.

პირველი სახის ეკვატორული კოორდინატებია δ და χ დახრილობა ან P საპოლუსო მანძილი და λ საათ-კუთხე (ნახ. 3). S_0 მნათობის დახრილობა არის მისი დახრილობის წრეზე ანუ საათ-წრეზე მდებარე δ ბრტყელი კუთხე, რომელსაც მნათობისაკენ OS_0 მიმართება χ მნათობის ცის ეკვატორის სიბრტყესთან. ეს ცენტრალური კუთხე იზომება S_0 ვარსკვლავის დახრილობის, ანუ საათ-წრეზაზის F_0S_0 რკალით გრადუსებში $0^\circ - 90^\circ$ -მდე. იგი ეკვატორიდან ჩრდილოეთისაკენ დადებითია, ხოლო სამხრეთისაკენ — უარყოფითი.

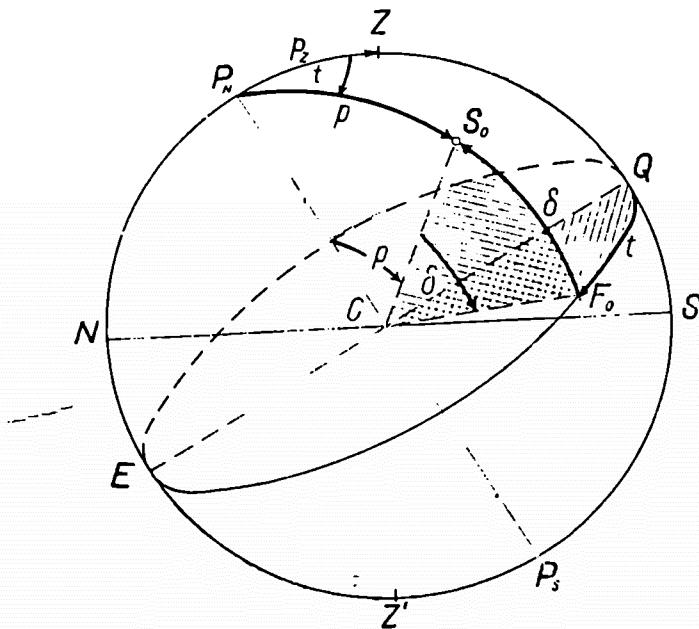
იმ შემთხვევაში, როდესაც S_0 მნათობი ვარსკვლავს (არა მზეს) წარმოადგენს, δ დახრილობა დედამიწის დღელამური ბრუნვის გამო არ იცვლება, რადგანაც მისი საკოორდინატო ღერძია ეკვატორი, რომელიც დღელამურ პარალელზე მოძრავ S_0 ვარსკვლავთან და $P_N P_S$ ღერძთან ერთად მონაწილეობას იღებს ცის სფეროს დღელამურ ბრუნვაში (მოკლედ, S_0 ვარსკვლავის დღელამური პარალელის სიბრტყე პარალელურია ეკვატორის სიბრტყესთან). მაშასადამე, δ ოდენობა არ არის დამოკიდებული როგორც დღელამურ ბრუნვაზე, ისე დაკვირვების ადგილზე. ხშირად S_0 მნათობის დღელამური პარალელის ეკვატორიდან რკალური δ დაშორების, ანუ დახრილობის, ნაცვლად იყენებენ მნათობის χ საპოლუსო მანძილს (ზოგჯერ მას Δ -თი აღნიშნავენ), რო-

შელიც შეესაბამება P_N ჩრდილო პოლუსიდან S_0 მნათობამდე დახრილობის ანუ საათ-წრეხაზის რკალს $0^\circ-180^\circ$ -მდე. იგი ყოველთვის დადებითია. მაშასადამე, შეიძლება დავწეროთ:

$$\delta + \Delta = \delta + \rho = 90^\circ. \quad (1.3.5.3)$$

ცხადია, პოლარული ვარსკვლავის დახრილობა დაახლოებით 90° იქნება, საპოლუსო მანძილი კი ნული (ფაქტობრივად $63'$), ხოლო Z ზენიტის საპოლუსო მანძილი იქნება P_Z . მაშასადამე, პოლუსის Z_{P_N} ზენიტის მანძილი და ზენიტის P_Z საპოლუსო მანძილები ტოლებია (ნახ. 2 და 3).

ზემოხსენებული კოორდინატი (δ და ρ) შეესაბამება S_0 მნათობის დღე-ღამურ პარალელს. ჩვენ კი გვსურს ამ პარალელზე S_0 მნათობის მდებარეო-



ნახ. 1.3.5.3.

ბის განსაზღვრა. მაშასადამე, საჭიროა მეორე კოორდინატის ცოდნა: ეს იქნება ρ საათ-სფერული კუთხე პოლუსთან, რომელსაც S_0 მნათობის დახრილობის ანუ საათ-წრეხაზის მ დახრილობის შესაბამისი მხარე აღგენს ადგილის ცის მერიდიანის სამხრეთ მხარესთან. მის შესაბამის QCF_0 ცენტრალურ ხაზოვან კუთხეს გამოსახავენ ეკვატორის QF_0 რკალით ($0^\circ-360^\circ$) ან დროის ერთეულებში $0 \div 24$ სთ. შეცანხმებით მიღებულია, რომ საათ-კუთხე ითვლებოდეს დადებითად ადგილის ცის მერიდიანის სამხრეთ ნაწილიდან დასავლეთის, ანუ მნათობის მოჩვენ-

ნებით (ხილული) გადაადგილების მიმართულებით (დელამიწის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ). მაშასადამე, თუ მნათობი მერიდიანიდან აღმოსავლეთით იმყოფება, მისი საათ-კუთხე მეტი იქნება 180°-ზე.

დელამიწის დელამური ბრუნვის გამო ვარსკვლავის λ საათ-კუთხე იცვლება, რადგანაც, ისევე როგორც S_0 მნათობის აზიმუტის შემთხვევაში, λ საათ-კუთხის საკოორდინატო ღერძი, ანუ ადგილის ცის მერიდიანი, ცის სფეროს დელამურ მოჩვენებით ბრუნვაში მონაწილეობას არ იღებს. მაშასადამე, λ -ს განსაზღვრისას საჭირო ხდება დაკვირვების ადგილისა და დაკვირვების დროის ცოდნა. ესაა პირველი სახის ადგილობრივი ეკვატორული კოორდინატების სისტემის ნაკლი.

ვინაიდან დელამური ბრუნვის შედეგად ერთი და იმავე ვარსკვლავის λ საათ-კუთხე თანაბრად იზრდება $0^\circ - 360^\circ$ -მდე, ამიტომ ამჟობინებენ იგი დროის ერთეულებში გამოსახონ.

მაგალითად¹,

24^h (საათს) შეესაბამება რკალური 360° (გრადუსი),

1^h " " " " 15°

1^m (დროის მინუტს) შეესაბამება რკალური $15'$ (მინუტი),

1^s (დროის სეკუნდს) " " $15''$ (სეკუნდი),

ანუ

$$1^\circ = 4^m; \quad 1' = 4^s.$$

მაგალითი 1.3.5.1. რამდენი საათი, მინუტი და სეკუნდი შეესაბამება $110^\circ 48' 42''$ რკალს.

$$(110^\circ : 15^\circ) \cdot 1^h = 7^h + 5 \cdot 4^m = 7^h 20^m,$$

$$(48' : 15') \cdot 1^m = 3^m + 3 \cdot 4^s = 3^m 12^s,$$

$$(42'' : 15'') \cdot 1^s = 2^s, 8,$$

$$\text{პასუხი } 110^\circ 48' 42'' = 7^h 23^m 14^s, 8.$$

მაგალითი 1.3.5.2. რამდენი რკალური გრადუსი და სეკუნდი შეესაბამება $13^h 50^m 37^s, 7$.

$$(13^h \cdot 15^\circ) \cdot \frac{1}{1^h} = 195^\circ,$$

$$(50^m : 4^m) \cdot 1^\circ = 12^\circ + 2 \cdot 15' = 12^\circ 30',$$

$$(37^s, 7 : 4^s) \cdot 1' = 9' + 1,7 \cdot 15'' = 9' 25'', 5,$$

$$\text{პასუხი } 13^h 50^m 37^s, 7 = 207^\circ 39' 25'', 5.$$

11. მერიდიანი სახის ეკვატორული კოორდინატები

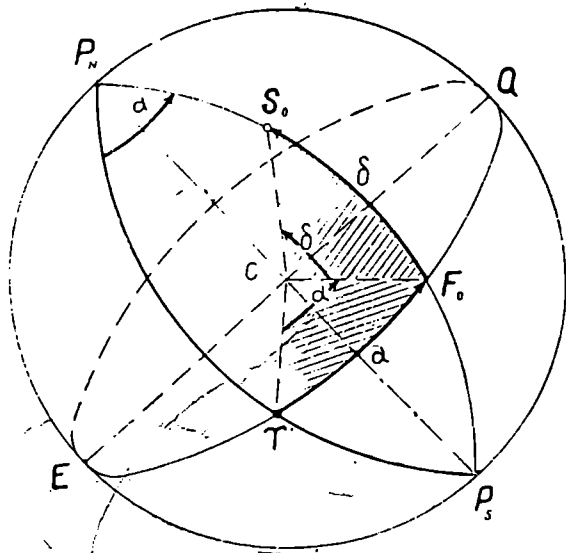
ამ გამოსავალი, ანუ საკოორდინატო, ღერძებია ციური ეკვატორი და გაზაფხულის ბუნიობის — დელამტოლობის კოლური ანუ დახრილობის (საათ) $P_N \gamma \rho \zeta$ წრე, რომელიც მონაწილეობს დელამურ ბრუნვაში.

მეორე სახის ეკვატორული კოორდინატებია δ და α —

¹ რიცხვზე მიწერილი λ , μ ან ν გამოსახავს დროს (საათი, მინუტი, სეკუნდი); $^\circ$, $'$ ან $''$ — რკალის ზომა (გრ. დღესეგში, მინუტებში, სეკუნდებში) ხოლო g , $'$ ან (g) , ან $''$, ან (cc) — რკალის ზომა (გრადებში, გრადულ წიბუტებში და გრადულ სეკუნდებში).

ლობა და α პირდაპირი აღვლენა (ნახ. 4 და 5). δ დახრილობა და β საპოლუსო მანძილი იგივეა, რაც პირველ შემთხვევაში (ნახ. 3).

α პირდაპირი აღვლენა (პოლუსთან) არის სფერული კუთხე, რომელსაც S_0 მნათობის დახრილობის წრე აღგენს დედამატოლობის კოლურთან, ანუ გაზაფხულის ბუნიობის— დედამატოლობის Υ წერტილის დახრილობის წრესთან. მის შესაბამის ΥCF_0 ცენტრალურ ხაზოვან კუთხეს გამოსახავენ ΥF_0 რკალით ($0^\circ-360^\circ$) ან დროის ერთეულებით ($0-24$ საათამდე) აღმოსალეთისაკენ, ანუ ვარსკვლავების დედამური (ხილული, მოჩვენებითი) მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით (დედაქმის ბრუნვისაკენ). ორივე კოორდინატი დედამის



ნახ. 1. 3. 5. 4.

დედამური ბრუნვის გამო არ იცვლება, რადგანაც ორივე საკოორდინატო ღერძი მონაწილეობას იღებს ცის სფეროს დედამური ხილულ (მოჩვენებით) ბრუნვაში. მართლაც, როგორც ვთქვით, Υ არის აღნიშვნა (და არა ასო) იმ წერტილისა (და არა ვარსკვლავისა), რომელიც გამოხატავს ცის სფეროზე იმ მომენტს, როცა ყოველწლიურად 21 მარტს მზე სამხრეთ ნახევარსფეროდან გადადის ჩრდილო ნახევარსფეროში (მზის უარყოფითი დახრილობა იცვლება დადებითით).

მაშასადამე, Υ წერტილი (ასევე ეკლიპტიკის Q, E_1, E_2 წერტილები) ცის სფეროზე ვარსკვლავების მიმართ, ისევე როგორც ყოველი ვარსკვლავი, ურთიერთმდებარეობით დაახლოებით მუდმივია და მისი დედამური მოჩვენებითი გადაადგილება ცის სფეროზე ისეთივეა, როგორიც აქვს ვარსკვლავებს. სინამდვილეში სხვა მიზეზებით. (პრეცესია და სხვა, 1.4.3 პარაგრაფი), რასაც

ქვემოთ გავეცნობით, მათი ურთიერთმდებარეობა აბსოლუტურად უცვლელად არ შეიძლება ჩავთვალოთ. ამიტომ მიუხედავად იმისა, რომ ვარსკვლავებისათვის ეს კოორდინატები მცირე ოდენობით იცვლება, მაინც საჭირო ხდება ყოველი ვარსკვლავისათვის ამ კოორდინატებთან ერთად მათი განსაზღვრის დროის ფიქსირებაც.

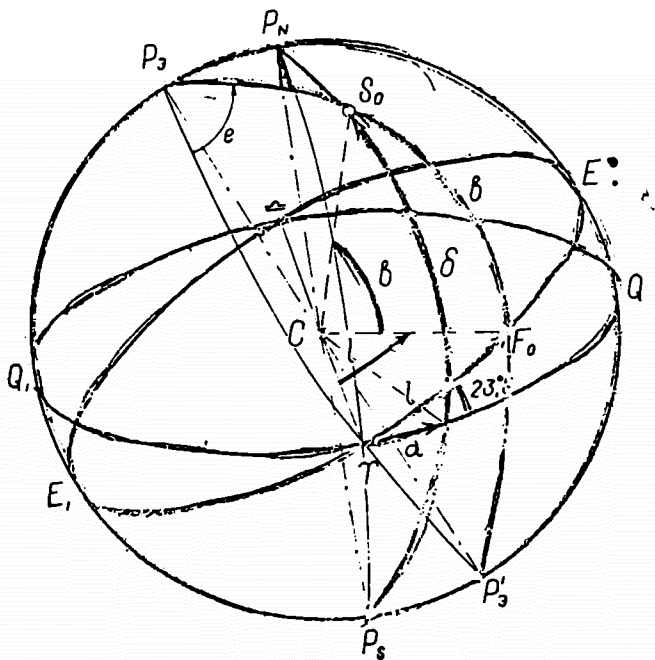
მზის სისტემის ობიექტები (მზე, მთვარე, პლანეტები და სხვ.) კი, განიცდის რა დედამიწის ბრუნვა-გარემოქცევისა და სხვა მოძრაობების გავლენას, მუდამ დახეტილობს ვარსკვლავებს შორის და, ცხადია, მათი პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა მნიშვნელოვნად იცვლება, ამიტომ მათთვის, მით უმეტეს, საჭიროა α და δ კოორდინატების განსაზღვრის დროის მომენტების ცოდნა.

ასე რომ, ასტრონომიულ ყოველწლიურებში ან მზისა და ვარსკვლავების კოორდინატების კატალოგებში, ნებისმიერი მნათობებისათვის მეორე სახის ეკვატორულ კოორდინატებს იძლევიან დროის გარკვეული მომენტისათვის.

აქვე შევნიშნავთ, რომ დედამიწასთან კოორდინატთა ამ სისტემის თანადროულად მოძრაობის გამო მას იყენებენ სამყაროს პოლუსების დასადგენად.

C. ეკლიპტიკური კოორდინატები

ამ სისტემის გამოსავალია ეკლიპტიკა და გაზაფხულის დედამტოლობის ეკლიპტიკური განედის წრებაზი.



ნახ. 1. 3. 5. 5.

S_0 წერტილის ეკლიპტიკური კოორდინატებია: β ეკლიპტიკურ განედში და l ეკლიპტიკური გრძედში (ნახ. 5). მათი განსაზღვრება სრულიად ანალოგიურია კოორდინატთა წინა სისტემისა. მაგალითად, ეკლიპტიკური β განედი არის ბრტყელი კუთხე, რომელსაც S_0 ვარსკვლავზე CS_0 მიმართება ადგენს ეკლიპტიკის სიბრტყესთან. ეს ცენტრალური კუთხე იზომება S_0 ვარსკვლავის ეკლიპტიკური განედის F_0S_0 რკალით $0^\circ-90^\circ$ -მდე. იგი ეკლიპტიკიდან P_0 პოლუსისაკენ დადებითია, ხოლო P_0' -საკენ — უარყოფითი.

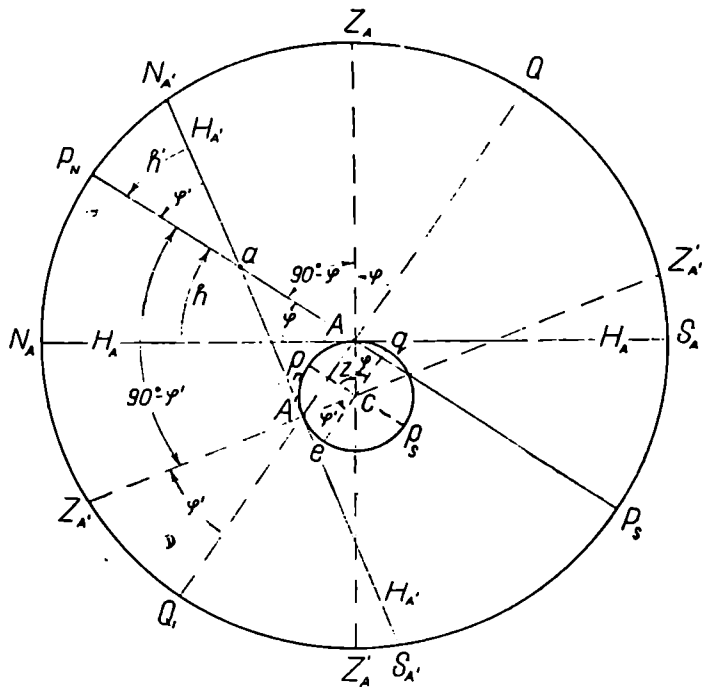
ეკლიპტიკურ l გრძედს (სფერული კუთხე ეკლიპტიკის პოლუსთან). ანუ ორწახნაგა კუთხეს, ადგენს S_0 ვარსკვლავის ეკლიპტიკური განედის სიბრტყე გაზაფხულის დედამეტოლობის Υ წერტილის ეკლიპტიკური განედის სიბრტყესთან. იგი იზომება შესაბამისი ცენტრალური ხაზოვანი კუთხის მოპკიშავი ΥF_0 ეკლიპტიკის რკალით $0^\circ-360^\circ$ -მდე დედამიწის ბრუნვის მიმართულებით.

1.3.6. ადგილის ნებისმიერი წერტილის განედის დამოკიდებულება საშუაროს პოლუსის სიმაღლესთან (წერტილის გეოგრაფიული განედის დამოკიდებულება საშუაროს ღერძის დახრასთან). განედებს შორის კუთხე

როგორც ვიცით, ადგილის A წერტილის შეეული (ზენიტზე მიმართული) დედამიწის ეკვატორის სიბრტყესთან ადგენს ბრტყელ $qCA = \varphi$ კუთხეს, რომელსაც A წერტილის განედს უწოდებენ (ნახ. 1). ცხადია, იგივე შეეული დედამიწის $p_n p_s$ ღერძთან ადგენს $\chi = 90^\circ - \varphi$ კუთხეს, რომელიც პოლუსიდან ადგილის A წერტილის ზენიტური დაშორება იქნება. მაშასადამე, სამყაროს $P_N P_S$ და დედამიწის $p_n p_s$ ღერძების პარალელურობის გამო სამყაროს $P_N P_S$ ღერძი A წერტილის $H_A H_A'$ ჰორიზონტთან ადგენს იმავე φ კუთხეს. ასევე, წერტილისათვის $P_N P_S$ ღერძის $H_A' H_A'$ ჰორიზონტთან დახრის $P_N a N_A' =$

φ კუთხე ტოლია ადგილის A' წერტილის $ecA' = \varphi'$ განედისა. როგორც ვხედავთ, სამყაროს ღერძის ადგილის ჰეშმარიტ ჰორიზონტთან დახრის კუთხე ყოველთვის ტოლია იმავე ადგილის (წერტილის) განედისა. მაშასადამე, დედამიწაზე დგომის წერტილის φ განედი ტოლია სამყაროს P_N პოლუსის β სიმაღლის ანუ $90^\circ - \beta$ -ის და მისი χ ზენიტური მანძილის სხვაობის. ეკვატორზე მდგომი დამკვირვებლისათვის სამყაროს $P_N P_S$ ღერძი დამებზევეა NS საშუალოდ ხაზს (ჰორიზონტს), რადგანაც ეკვატორის ნებისმიერი წერტილის განედი ნულის ტოლია, ხოლო, პოლუსზე მდგომი დამკვირვებლისათვის სამყაროს ღერძი ჰორიზონტთან 90° კუთხეს ქმნის (პოლარული ვარსკვლავი ზენიტში იქნება), რადგანაც პოლუსის განედი 90° ტოლია. ამგვარად, ეკვატორიდან ჩრდილოეთისაკენ გადაადგილებისას ჰორიზონტის ცვალებადობის გამო პოლარული ვარსკვლავის (სამყაროს ღერძის) სიმაღლე სულ იზრდება. ზემოხსენებულისაგან გამომდინარეობს, რომ ადგილის განედის დადგენისათვის შეიძლება განისაზღვროს ამ ადგილზე სამყაროს P_N პოლუსის ანუ მის β მდებარე α პოლარული ვარსკვლავის სიმაღლე ან ზენიტური მანძილი. აქვე შევნიშნავთ, რომ სამყაროს ღერძისა და მასთან დაკავშირებული ხაზების მდებარეობა ვარსკვლავების მიმართ არ იცვლება სადაც არ უნდა იდგეს დამკვირვებელი. (1) ნახაზი დაახლოებით საქართველოს ტერიტორიის შესაბამისია.

ადგილის განედის განსაზღვრა შეიძლება აგრეთვე ნებისმიერი ვარსკვლავის δ დახრილობის¹ საშუალებით იმ მომენტში, როცა ადგილის ცის მერიდიანზე ვარსკვლავი გაივლის; ამისათვის კი მთავარია დავადგინოთ ადგილის



ნახ. 1.3.6.1.

ცის მერიდიანი. შემდეგ გაიზომება ვარსკვლავის z ზენიტური მანძილი და გამოითვლება განედი ფორმულით (ნახ. 2)

$$\varphi = \delta' + z' = \delta'' - z'',$$

ანუ ზოგადად

$$\varphi = \delta \pm z. \quad (1.3.6.1)$$

(1) ტოლობაში პლუსი აიღება მაშინ, როცა ვარსკვლავი იმყოფება ადგილის (დამკვირვებლის) ზენიტის S სამხრეთისაკენ (S' ვარსკვლავი) და მინუსი — როცა ადგილის ზენიტიდან ვარსკვლავი N ჩრდილოეთისაკენ (S'' ვარსკვლავი) იმყოფება.

ანალოგიურად შეიძლება ადგილის ცნობილი განედითა და ვარსკვლავის ზენიტური მანძილით მნათობის δ დახრილობის განსაზღვრა ფორმულით:

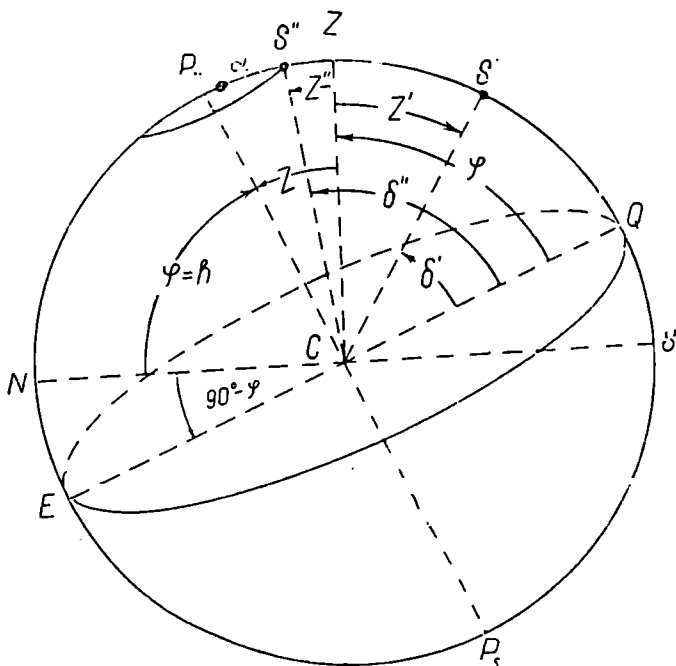
$$\delta' = \varphi - z'; \quad \delta'' = \varphi + z'',$$

¹ აირჩევენ ისეთ ვარსკვლავს, რომლის δ დახრილობა ცნობილია და მოცემულია ყოველ წლიურებში ან კატალოგებში.

$$z = \varphi \mp \tau.$$

(1.3.6.2)

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ცის ეკვატორის ან, რაც იგივეა, მნათობთა დღელამური პარალელების სიბრტყის დახრა პორიზონტთან ტოლი იქნება $90^\circ - \varphi$.



ნახ. 1.3.6.2.

განედებს შორის კუთხე. დედამიწის რადიუსის განსაზღვრა

ხშირად საჭირო ხდება ადგილის ერთი და იმავე მერიდიანზე მდებარე სხვადასხვა (M_1 და M_2) წერტილის განედებს შორის კუთხის განსაზღვრა. ამისათვის M_1 და M_2 წერტილებიდან თანადროულად გაიზომება ერთი და იმავე მნათობის (მზე, ვარსკვლავი) z_1 და z_2 ზენიტური მანძილები ან h_1 და h_2 სიმაღლეები (ნახ. 3), რომელთა საშუალებით განისაზღვრება ადგილზე ამ წერტილების განედების სხვაობა.

ნახაზიდან

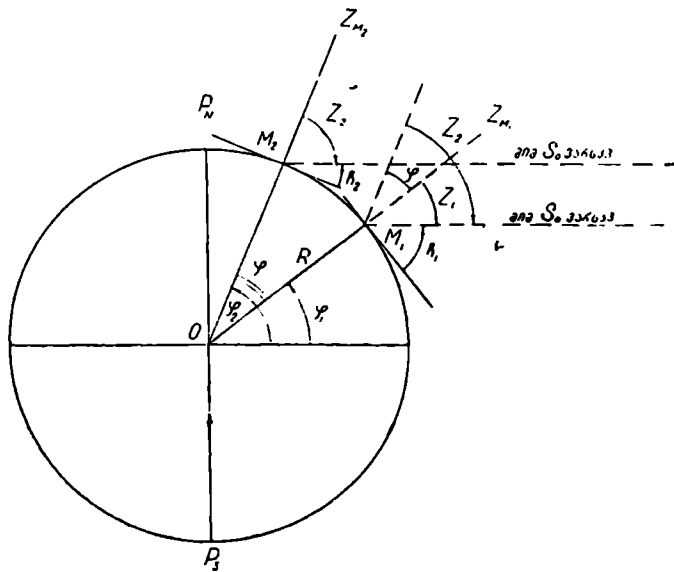
$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = z_2 - z_1 = h_1 - h_2.$$

(1.3.6.3)

სადაც M_1, M_2 — ადგილის წერტილებია,

φ_1, φ_2 — შესაბამისად, განედები,

z_1, z_2 — შესაბამისად, ვარსკვლავის ზენიტური მანძილები,
 h_1, h_2 — შესაბამისად, ვარსკვლავის სიმაღლეები.



ნახ. 1. 3. 6. 3.

თუ M_1M_2 რკალის განაზომს S -ით აღვნიშნავთ, გამოვითვლით დედამიწის რადიუსს ფორმულით:

$$R = \frac{\rho^{\circ}}{\varphi^{\circ}} \cdot S, \quad (1.3.6.4)$$

სადაც

$$\rho = 57^{\circ},3.$$

დედამიწის მოძრაობები

(დროის განსაზღვრის საკითხისათვის)

განსახილველ სიდიდეთა ოდენობების სრულყოფილად დასადგენად გარდა მათი გეომეტრიული ელემენტებისა და მასისა საჭიროა ვიცოდეთ გაზომვების შესრულების დრო. იგივე ითქმის ბუნების ნებისმიერი მოვლენის შესწავლის შესახებაც. თვით დროის განსაზღვრა კი საერთოდ დაკავშირებულია დედამიწის მოძრაობების საკითხებთან.

მოძრაობაში იგულისხმება წერტილის მდებარეობის ცვალებადობა შერჩეული გამოსავალი ასათვლელი სისტემის ან რაიმე კოორდინატთა სისტემის მიმართ. მაშასადამე, ბუნების მოვლენათა დასახასიათებლად საჭიროა წინასწარ იქნეს შერჩეული კოორდინატთა სისტემა, დროის აღრიცხვის ძირითადი ერთეული და მეთოდი, რათა შეგვეძლოს გავიგოთ განვლილი დრო ორ მოვლენას შორის და დავადგინოთ, თუ როდის მოხდა ესა თუ ის მოვლენა. კოორდინატთა სისტემას შეარჩევენ ხოლმე ისეთს, რომელიც მოხერხებულია განსახილველი საკითხის შესასწავლად. მაგალითად, არ იქნება მიზანშეწონილი ტრანსპორტის მოძრაობა შესწავლილ იქნეს დედამიწის ცენტრის მიმართ; ან კიდევ, შეუძლებელია თავის ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვის თვისებების შესწავლა ან ყველა მოძრაობა, რომლებითაც ხსნიან დედამიწის ბრუნვის, კავშირში იყოს კოორდინატთა ისეთ სისტემასთან, რომლებიც დედამიწასთან ერთად ბრუნავს. მაგალითად, გზა, რომელზეც მოძრაობს დედამიწის რაიმე ობიექტი, წარმოადგენს უძრავ კოორდინატთა სისტემას, რომლის მიმართ ობიექტის მოძრაობა შედარებული იქნება მასთან; მატარებელში ყოფნის დროს, თუ ვისურვებთ საკუთარი მოძრაობის შესწავლას, საჭირო იქნება მყარ, უძრავ გამოსავალ სისტემად თვით მატარებელი მივიჩნიოთ; ხოლო თუ ჩვენი მოძრაობის შესწავლას ვისურვებთ რკინიგზის ლიანდაგის მიმართ, მაშინ საჭირო გახდება თვით მატარებელს მოძრაობა დაეუკავშიროთ რკინიგზის ლიანდაგს, როგორც მყარ კოორდინატთა სისტემას. ჩვენი მოძრაობის ვექტორი რკინიგზის ლიანდაგის მიმართ ტოლი იქნება მატარებელში საკუთარი მოძრაობისა და რკინიგზის ლიანდაგის მიმართ მატარებლის მოძრაობის ვექტორთა გეომეტრიულ ჯამისა. გზა, რომელიც ობიექტის მოძრაობის შესასწავლად გამოვიყენეთ, ან კიდევ თვით რკინიგზის ლიანდაგი, რომელიც გამოვიყენეთ მატარებელში მყოფი ადამიანის მოძრაობის შესასწავლად, მბრუნავი დედამიწის ნაწილს წარმოადგენს, ე. ი. ადამიანის მოძრაობა შეიძლება დაკავშირებულ იქნეს დედამიწის ცენტრთან, როგორც ახალ მყარ (უძრავ) კოორდინატთა სისტემის სათავესთან. როგორც უხედავთ, რაიმე ობიექტის მოძრაობის ვექტორი წარმოადგენს მასთან დაკავშირებული მოძრაობების ვექტორთა გეომეტრიულ ჯამს. მაშასადამე, ყოველი ასეთი ვექტორი შეიძლება დაიშალოს მის შემადგენელ ვექტორებად. მაგალითად, ზღვაში გემის მოძრაობის ვექტორი შეიძლება დაიშალოს მერიდიანისა და პარალელის მიმართულების მქონე ორ ვექტორად.

ზემოსენებულის ანალოგიურად, დედამიწის მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ. როგორც ჯამი ცალკეული მოძრაობებისა, რომლებიც განი-

საზღვრებიან სათანადოდ შერჩეული კოორდინატთა საკუთარი სისტემების მიმართ. ეს მოძრაობები ცნობილია: თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვის, განედების ცვალებადობის, პრეცესიის და ნუტაციის და მზის ირგვლივ დედამიწის გარემოქცევის სახით, რომელთაც ქვემოთ მოკლედ განვმარტავთ. აქვე შევნიშნავთ, რომ პირველი სამი მოვლენის შესწავლისათვის გამოსავალ ასათვლელ სისტემად მიღებულია დედამიწის ცენტრი. მაშასადამე, გეოცენტრულ ცის სფეროსთან გვაქვს საქმე, ხოლო მეოთხე სახის მოძრაობის, ანუ დედამიწის ორბიტის თვისებების, შესწავლისათვის გამოსავალ სისტემად მიღებულია მზე (ჰელიოცენტრული ცის სფერო), ე. ი. მზე ითვლება უძრავად და მის მიმართ გარკვეულ, სიბრტყეშია დედამიწის ორბიტა. სამყაროში დედამიწის უფრო ფართოდ, ანუ გალაქტიკებისა და მეტაგალაქტიკების მიმართ როგორც მზის ოჯახის წევრის მოძრაობის საკითხს არ შევხებით.

1.4.1. დედამიწის ბრუნვა თავისი ღერძის გარშემო

წინა პარაგრაფებში აღვნიშნეთ, რომ წარმოდგენით ტოპოცენტრული ცის სფეროს ცენტრში სახით ჩრდილო პოლუსისაკენ მდგომ ადამიანს მოეჩვენება, თითქოს ცის სფერო თავისი ობიექტებით ბრუნავს აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ, საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით და განვმარტეთ, რომ სინამდვილეში თვით დედამიწა და მასზე მდგომი დამკვირვებელიც ბრუნავს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

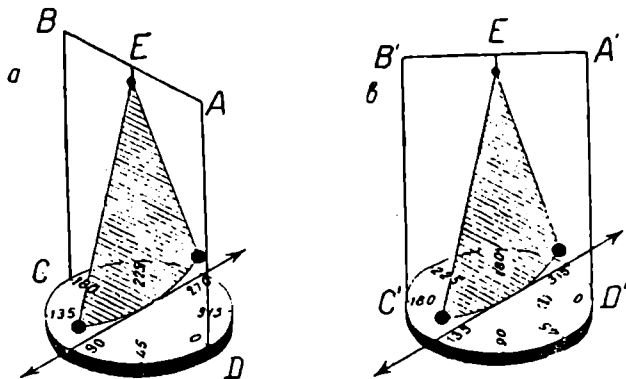
ციურ მნათობთა ეს ხილული (მოჩვენებით) დღედამური მოძრაობა არ შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც მტკიცება დედამიწის ბრუნვის შესახებ, რადგანაც იგი არ ეწინააღმდეგება ძველთაგან მიღებულ გეოცენტრულ მოძღვრებას — დედამიწის გარშემო კრისტალური ცის სფეროს ბრუნვის რწმენას. ამიტომ საქირთა პელიოცენტრული მოძღვრების დამადასტურებელი მრავალი მოვლენიდან განვიხილოთ ზოგიერთი.

A. ძანძარა

დედამიწაზე დაყენებულ $ABCD$ ჩარჩოს E წერტილში მიმაგრებულ სახსარზე ჩამოკიდებულ მავთულს, რომელზეც მიბმულია ტვირთი, ეწოდება თავისუფალი ქანქარა (ნახ. 1^ა). ასეთი ქანქარა ბიძგებით შეგვიძლია დაუბრკოლებლად ვარჩიოთ ნებისმიერი მიმართულებით. ავამოძრაოთ ქანქარა $ABCD$ ჩარჩოზე მიმაგრებული წრედის $90^\circ - 270^\circ$ დიამეტრის გასწვრივ. ცოტა ხნის შემდეგ მოგვეჩვენება, რომ ქანქარის რხევის სიბრტყე ბრუნავს საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით (მარჯვნიდან მარცხნივ) და ქანქარას სიბრტყის პროექციის (ისრის) შესაბამისი ანათვლები თანდათან იზრდება (ნახ. 1^ბ, ანათვალი 135°). სახსრის გამო ქანქარას რხევის სიბრტყის მიმართულება დაკავშირებული არ იქნება ჩარჩოს სიბრტყესთან, ანუ დედამიწასთან, და ნიუტონის კანონების თანახმად მოძრავი ქანქარა განიცდის მხოლოდ მიზიდულობის ძალის გავლენას. მაშასადამე, სინამდვილეში ქანქარა ინერციის კანონის შესაბამისად, იწარჩუნებს რა მოძრაობის საწყის მიმართულებას, მის ქვეშ ბრუნავს თვით დედამიწა დასავლეთი-

დან აღმოსავლეთისაკენ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით (მარცხნიდან მარჯვნივ), რომელსაც მიეყვებით ჩვენ და ქანქარას (ნახ. 1^ა) $A'B'C'D'$ ჩარჩოც აბიტომ გამოსავალ, უცვლელ, დამოუკიდებელ ამთვლელ მიმართულებაში მივიჩნიეთ ქანქარას მოძრაობის სიბრტყე და ასათვლელად კი გამოვიყენეთ ჩარჩოზე მიმაგრებულ დედამიწასთან ერთად მბრუნავი წრე.

ჩხევის სიბრტყისადმი ჩარჩოს სრული (360°) შემობრუნების შესაბამის დროს T ქანქარას პერიოდი¹ ეწოდება, დღე და ღამეს კი, რომელიც 24 ნაწილად (საათად) არის დაყოფილი, P დედამიწის ბრუნვის პე-



ნახ. 1. 4. 1. 1.

რიოდი პქვია და დაახლოებით მუდმივად ითვლება. ქანქარის T პერიოდი კი ცვალებადი სიდიდითა და წარმოადგენს ადგილის ფ განედის სინუსის ფუნქციას, რომელიც გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$T = \frac{P}{\sin \varphi} = \frac{24^h}{\sin \varphi}. \quad (1.4.1.1)$$

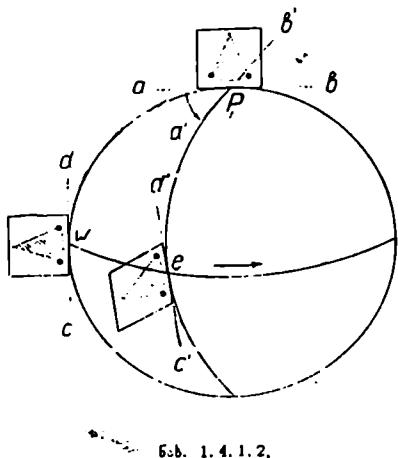
ერთ საათში ჩარჩოს შემობრუნების კუთხური მანძილი (გრადუსებში) ანუ ქანქარას ϵ_0 სიჩქარე, გამოითვლება ფორმულით:

$$\epsilon_0 = \frac{360^\circ}{T} = 15^\circ \sin \varphi. \quad (1.4.1.2)$$

მაგალითად, თუ ქანქარას ჩარჩოს სიბრტყეს ანუ წრედის O° -ს დაეყენებთ ρ_n პოლუსზე (ნახ. 2) რომელიმე მერიდიანის სიბრტყის ახლოობაშია და ქანქარას ვამოძრაებთ ამ სიბრტყეში, ვნახავთ, რომ დღე-ღამის განმავლობაში მერიდიანის სიბრტყე 360° შემოტრიალდება. როგორც ჩანს, პოლუსზე ქანქარას პერიოდი და დედამიწის ბრუნვის პერიოდი ტოლია. მაშასადამე, პოლუსზე ქანქარა სრულიად ასახავს როგორც დედამიწის ბრუნვის ფაქტს, ისე

¹ ქანქარას პერიოდი არ უნდა აეუროთ ქანქარას ჩხევის პერიოდში.

ომ დროს, რომელიც დედამიწის სრულ ბრუნვას შეესაბამება. ეკვატორზე დაყენებული ქანქარას (ნახ. 2) რხევის სიბრტყე კი ადგილის მერიდიანის მიმართ როგორც მიმართულებითაც არ უნდა ვარხიოთ, მუდამ უცვლელ მდგომარეობაში დარჩება მერიდიანთან და თან გაჰყვება დედამიწის ბრუნვას. მაშასადამე, წრელზე ანათვალის უცვლელი იქნება, რაც იმას ნიშნავს, რომ ეკვატორზე ქანქარას პერიოდი უსასრულობას უდრის. ზემოხსენებულიდან ჩანს, რომ პოლუსიდან ეკვატორამდე ქანქარას პერიოდი 24 საათიდან უსასრულობამდე იცვლება.



ნახ. 1.4.1.2.

(1) ცხრილში მოყვანილია (1 და 2) ფორმულით გამოთვლილი სხვადასხვა განედის მქონე ადგილებზე ქანქარას პერიოდებისა და ბრუნვის სიჩქარეების დაახლოებითი ოდენობები.

ცხრილი 1.4.1.1.

	ადგილი	განედი, გრადუსებში	ქანქარას პერიოდი, სათებში	ერთ საათში ჩარჩოს შემობრუნების სიჩქარე, ანუ კუთხე, გრადუსებში
1.	ჩრდ. პოლუსი	90	24	15
2.	მურმანსკი	69	25,8	13,9 ≈ 14
3.	ლენინგრადი	59,3	27,6	13
4.	მოსკოვი	56	29	12,4 ≈ 12
5.	თბილისი	42	36	10
6.	ეკვატორი	0	∞	0

ქანქარას სახსარი იდეალური არ არის, ფაქტობრივად მაინც აქვს ადგილი ხახუნს, რომელსაც ემატება პაერის წინააღმდეგობა. ერთობლივად ეს მიზეზები ხელს უშლის ქანქარას რხევას და საბოლოოდ ქანქარას ანიჭებს უძრაობის მდგომარეობას. ამიტომ ქანქარას ამზადებენ შესაძლებლისად გრძელს და მძიმეს, რაც ხელს უწყობს ქანქარას ნელ, ფართო და ხანგრძლივ რხევას. მაგალითად, ფრანგმა ფიზიკოსმა ფუკომ პირველმა 1851 წელს პარიზის პანთეონის კერში მიამაგრა 60 მეტრის სიგრძის ქანქარა, რომელზეც 28 კგ ტვირთი დაკიდა. ლენინგრადში ისაკის ტაძარში დაკიდებულია 98 მეტრის სიგრძის ქანქარა. მისი სიგრძე და სიმძიმე გავლენას არ ახდენს ქანქარას რხევის პერიოდზე.

**ბ. გასროლილი რაკეტის მოკვანებითი ხაზხარა. პასაჟები.
ციკლონი და ანისციკლონი**

სასროლი პოლიგონი მოვაწყობთ ეკვატორზე და სამიზნე — ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ (სჯობს ორივე ერთ მერიდიანზე იყოს), გასროლილი რაკეტა დაეცემა სამიზნის აღმოსავლეთით. ამავე დროს, თუ გასროლისას რაკეტის ტრაექტორიას თვალს გვაყოლებთ, მოგვეჩვენება, რომ ის გადახარა აღმოსავლეთისაკენ, თითქოს რაკეტას მიეღოს აჩქარება აღმოსავლეთის მიმართულებით. ახლა, თუ სასროლ პოლიგონსა და სამიზნეს ურთიერთ შეეუცვლით ადგილს და ცდას გავიმეორებთ, მოგვეჩვენება, რომ რაკეტის ტრაექტორია გადახარა დასავლეთისაკენ და ბოლოს ვნახავთ, რომ რაკეტა დაეცემა სამიზნის დასავლეთით. როგორც ვხედავთ, ჩრდილო ნახევარსფეროზე ეკვატორიდან გასროლილი რაკეტა ყოველთვის ეცემა სამიზნის მარჯვნივ. ანალოგიური კლით ვნახავთ, რომ სამხრეთ ნახევარსფეროში რაკეტა დაეცემა სამიზნის მარცხნივ. მაშასადამე, ეკვატორიდან პოლუსებისაკენ გასროლილი სხეული ყოველთვის იხრება აღმოსავლეთისაკენ, ხოლო პოლუსებიდან ეკვატორისაკენ გასროლის შემთხვევაში იგი იხრება დასავლეთისაკენ.

ზემოაღწერილი მოვლენა სრულიად ადასტურებს დედამიწის ბრუნვის ფაქტს, რადგანაც დედამიწა, რომელსაც მუდმივი კუთხური სიჩქარე აქვს, ხასიათდება უდიდესი ხაზოვანი სიჩქარით ეკვატორზე ნებისმიერი სხვა პარალელის ხაზოვან სიჩქარესთან შედარებით; სხვანაირად, დედამიწის ხაზოვანი სიჩქარე ადგილის პარალელის რადიუსის პირდაპირპროპორციულია. რაკეტის საწყისი ხაზოვანი სიჩქარის ვექტორი ეკვატორზე იქნება გეომეტრიული ჯამი იმ სიჩქარის ვექტორისა, რომელსაც ანიჭებენ რაკეტას გასროლის მომენტში, და იმ სიჩქარის ვექტორისა, რომელიც მას ენიჭება თავისი დერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვის გამო. იმ მომენტიდან, როდესაც რაკეტას გაისვრიან, რაკეტაზე იმოქმედებს მხოლოდ და მხოლოდ მიზიდულობის ძალა (პაერის ხახუნის გავლენას უგულებელვყოფთ), რომელიც რაკეტას ანიჭებს აჩქარებას ქვევით და იგი არავითარ გავლენას არ ახდენს მის გადახარაზე აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულებით. მაშასადამე, რაკეტის ტრაექტორია და კავშირებული არ იქნება დედამიწის მართვით და მისი შემოხსენებული გადახარა არის მოჩვენებითი, მის ქვეშ დედამიწის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ბრუნვის გამო, რომელსაც ჩვენც მივეყვებით. მაშასადამე, მარჯვნივ რაკეტის დაცემა იმით არის გამოწვეული, რომ ინერციის თვისებების გამო რაკეტა, ინარჩუნებს რა აღმოსავლეთისაკენ მიმართულ ეკვატორის (პოლიგონის) საწყის ხაზოვან სიჩქარეს, წინ უსწრებს პარალელის (სამიზნის) ხაზოვან სიჩქარეს და ეცემა სამიზნის მარჯვნივ.

მაგალითად, თუ სიჩქარეს აღვნიშნავთ v -ით და პარალელის რადიუსს R_1 -ით, დავწერთ:

$$v_{\text{გაა}} = \frac{2\pi R_1}{24^h} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6400 \text{ კმ}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ სკ}} \approx 0,5 \text{ კმ/სეკ.}$$

ხოლო პარალელზე (განვიღო $\varphi = 60^\circ$)

$$v_{\text{გარ}} = \frac{2\pi R_{\text{გარ}}}{24^h} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3200 \text{ კმ}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ სკ}} \approx 0,25 \text{ კმ/სეკ.}$$

მაშასადამე, რაკეტა და პოლიგონი გასროლის ერთი სეკუნდის შემდეგ სამიზნესთან შედარებით უფრო ჩქარა გადაადგილდება აღმოსავლეთისაკენ $0,5 - 0,25 = 0,25$ კმ-ით.

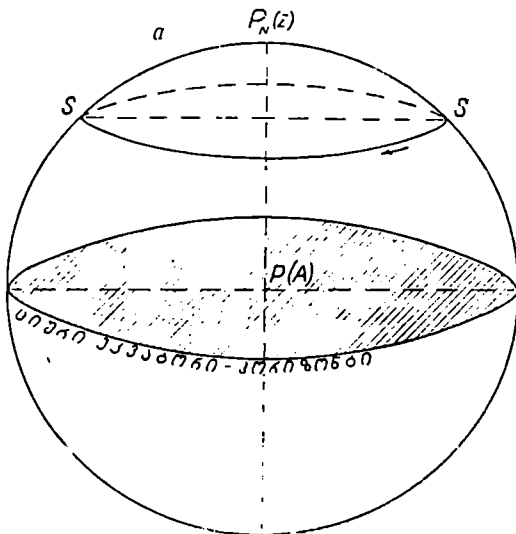
ეკვატორის ახლო სივრცეებში გამთბარი და შემსუბუქებული ჰაერი, იწვევს არ მალა, აიძულებს ჩრდილოეთისა და სამხრეთის საშუალო სართულებში, ანუ შედარებით დიდი განედის მქონე სივრცეებში, მყოფ ციფ და მძიმე ჰაერის მასებს დაიძრას ეკვატორისაკენ. ჰაერის ეს მასები ეკვატორზე მცხოვრებთ ევლინებათ ჩრდილო აღმოსავლეთისა და სამხრეთ აღმოსავლეთის მუდმივი ქარების სახით, რომლებსაც პასატებს, ანუ ტროპიკულ ქარებს უწოდებენ. სინამდვილეში ქარები უზერავს მუდამ ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან. მაშასადამე, ქარის დინების გადახრა დასავლეთისაკენ მოჩვენებითია და აიხსნება დედამიწის ბრუნვით ზუსტად ისე, როგორც ეს იქნა ახსნილი რაკეტის ტრაექტორიის გადახრის შესახებ. ზემოხსენებულის ანალოგიურად, საშუალო სართულებში ქარის საწყისი სიჩქარე ამ სართულებში აღძრული ქარის მიმართულებისა და მასზე მოქმედი დედამიწის ბრუნვითი ხაზოვანი სიჩქარის ჯამია, რომელსაც ინერციით ის ინარჩუნებს; ამიტომ ქარის ის ნაწილი, რომელიც ზემო სართულიდან პოლუსებისაკენ მიდის როგორც დაღმავალი ქარი, დედამიწის ბრუნვის მიზეზით გადაიხრება აღმოსავლეთისაკენ.

დედამიწაზე მრავალია ჰაერის ისეთი არეები, სადაც ატმოსფერული წნევა ნორმალურზე დაბალია, ცენტრში კი მინიმუმია. არსებობს ჰაერის ისეთი არეებიც, სადაც ატმოსფეროს წნევა ნორმალურზე მეტია და ცენტრში კი მაქსიმუმს აღწევს; პირველ შემთხვევაში ჰაერის არეს ციკლონი, ხოლო მეორე შემთხვევაში ანტიციკლონი ეწოდება. ციკლონის გარეთ არსებული უფრო მკვრივი ჰაერის მასები გაემართება ციკლონის ცენტრისაკენ რადიალური მიმართულებით, მაგრამ დედამიწის ბრუნვის გამო ციკლონის არეში შესული ჰაერის მიმართულება პარალელების ხაზოვანი სიჩქარის შესაბამისად გადაიხრება და გაჩნდება სპირალური გრივალი, მბრუნავი საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო-მიმართულებით ჩრდილო ნახევარსფეროში და საათის ისრის მიმართულებით — სამხრეთ ნახევარსფეროში. ანტიციკლონები იღივებენ ჰაერის მკვრივი მასები რადიალური მიმართულებით აღიძვრება გარეთ, მაგრამ დედამიწის ბრუნვის გამო გადაიხრება და მოგვევლინება მბრუნავი სპირალური გრივალი საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით ჩრდილო და მის საწინააღმდეგო მიმართულებით სამხრეთ ნახევარსფეროში. ცხადია, დედამიწა რომ უძრავი ყოფილიყო, როგორც ციკლონებში, ისე ანტიციკლონებში ჰაერის მოძრაობის მიმართულება დარჩებოდა რადიალური.

ბუნების ზოგიერთი მოვლენა, მაგალითად, ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მდინარეების კალაპოტის მარჯვენა ნაწილის მარცხენასთან შედარებით უფრო ჩალრმავება, რკინიგზის მარჯვენა რელსების შედარებით ჩქარი ცვეთა, დროთა ვითარებაში ლიანდაგის გაფართოება და სხვა მოვლენები დედამიწის ბრუნვის ნათელი დადასტურებაა.

კოშკიდან ან ჰაურში ბიძგის გარეშე (თავისუფლად) ვარდნილი სხეული (რკინის ბურთულა) გადაიხრება აღმოსავლეთით, რადგანაც რადიუსის შესაბამისად საწყისი წერტილის ბრუნვითი ხაზოვანი სიჩქარე, რომელსაც ინერციის ძალით სხეული ინარჩუნებს, მეტია დაცემის წერტილის ბრუნვით ხაზოვან სიჩქარეზე.

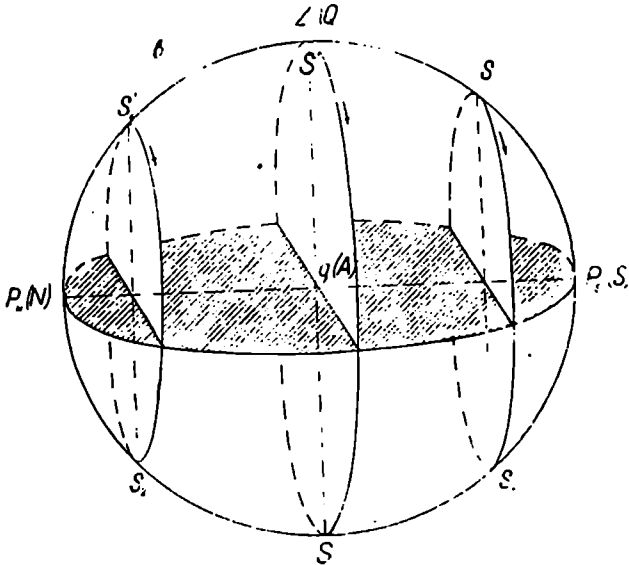
1.3.6 პარაგრაფში დადგენილი იყო, რომ დედამიწის სხვადასხვა ადგილის შესაბამისად, იცვლება რა მისი ღერძისადმი პორიზონტის მიმართულება, იგი ამ ღერძთან ქმნის ადგილის განედის ტოლ კუთხეს; აგრეთვე სამყაროსთან შედარებით სიმციარის გამო დედამიწას წარმოიდგენენ სამყაროს ცენტრში მდებარე წერტილის სახით, სადაც ივლისსხმება დამკვირვებლის თვალი. მაშასადამე, ადგილის, ანუ კუთხითი პორიზონტის, სიბრტყე, რასაც მათემატიკურ პორიზონტსაც უწოდებენ, გაივლის თარაზული მიმართულებით ამ წერტილში, ხოლო კოსმოსურ სხეულთა სწორი გეომეტრიული ინტერპრეტაციისათვის სამყაროს ღერძს ამ პორიზონტიდან დახრიან ადგილის განედის



ნახ. 1. 4. 1. 3 ა.

შესაბამისი კუთხით. ცხადია, პორიზონტის ზემოთ მნათობები ხილული იქნება და მის ქვემოთ კი უხილავი. მაგალითად, დედამიწის ჩრდილო პოლუსზე $P(A)$ დამკვირვებლისათვის ადგილის, პორიზონტის მიმართ სამყაროს ღერძი იქნება 90° დახრილი, რადგანაც ადგილის განედია $\varphi = 90^\circ$ (ნახ. 3^ა). მაშასადამე, სამყაროს ღერძის P_N პოლუსი დაემთხვევა ზენიტის Z წერტილს, ამიტომაც 3° ნახაზზე $P_N(Z)$ აღნიშნვა. ცხადია, ადგილის პორიზონტისა და ეკვატორის სიბრტყეც შერწყმული იქნება და გვექნება შემდეგი მოვლენები: დამკვირვებლისათვის ყველა მიმართულება სამხრეთით იქნება; აქ არ არსებობს აღმოსავლეთი და დასავლეთი მხარეები და პორიზონტის მიმართ ვარსკვლავების ამოსვლა-ჩასვლა არ ხდება; ჩრდილო ნახევარსფეროს ყველა ვარ-

სკვლავე აღწერს ჰორიზონტის პარალელურ დედამიწის გზას, ჩაუსვლე-
ლია, ანუ მუდამ ხილულია და არ იცვლის სიმაღლეს და დახრილობას; სა-
მხრეთ ნახევარსფეროს არც ერთი ვარსკვლავი არ ჩანს, ანუ ამოუსვლელი
ვარსკვლავებია, საერთოდ, ადგილის მერიდიანი დედამიწის ბრუნვის გამო
ორჯერ გაივლის ნებისმიერ ვარსკვლავზე; დამკვირვებელი კი იხილავს (ეჩვე-
ნება) თითქოს ვარსკვლავმა 24 საათში გააკეთა სრული ბრუნვა, ანუ 12 სა-
ათში ვარსკვლავმა გადაკვეთა მერიდიანი ორ S' და S წერტილში. (3) ნახა-
ზის სამივე შემთხვევის შესაბამისად პირველს ($S', S_1', S_2', S_3', S_4'$ წერტი-
ლები) მერიდიანის მარჯვენა ან ზედა ნახევარში ეწოდება ზედა და მეორე
გადაკვეთას (მერიდიანის მარცხენა ან ქვედა ნახევარში) ქვედა კულმინა-
ცია (S, S_1, S_2, S_3, S_4 წერტილები). მაშასადამე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ
დედამიწის ჩრდილოეთ კოლუსზე მდგომი დამკვირვებლისათვის შესაბამისი



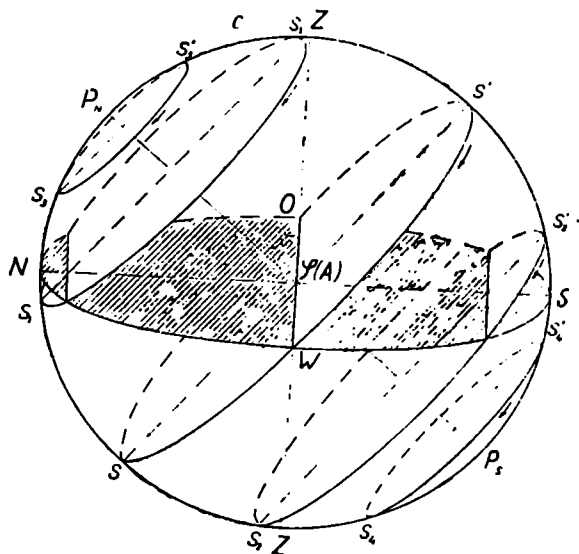
ნახ. 1. 4. 1. 3 ს.

ვარსკვლავის როგორც ზედა, ისე ქვედა კულმინაცია ხილულია და მათი სი-
მაღლეები და დახრილობა უცვლელია (ნახ. 3^ა).

დედამიწის ეკვატორზე მდგომი $q(A)$ დამკვირვებლისათვის ადგი-
ლის ჰორიზონტის სიბრტყის მიმართ სამყაროს $P_N P_S$ დერძი ექნება O° დახ-
რილი, რადგანაც ადგილის განედი $\varphi = 0^\circ$ (ნახ. 3^ბ). მაშასადამე, სამყაროს
დერძის P_N პოლუსი დაემთხვევა ჰორიზონტის (საშუაღლეო ხაზის) N წერ-
ტილს და აღენიშნავთ $P_N(N)$. ცხადია, ადგილის ჰორიზონტისადმი მართობუ-
ლი იქნება სამყაროს ეკვატორი, იგი ზენიტზე გაივლის და $Z(Q)$ მთავარ (პირველ)
ვერტიკალს დაემთხვევა. აქ ცის ყველა ვარსკვლავის ზედა კულმინაცია ($S', S_1',$
 S_2', S_3', S_4' წერტილები) ხილულია, ხოლო ქვედა კულმინაცია უხილავია ($S, S_1, S_2,$

წერტილები) და მათი სიმალეების აბსოლუტური მნიშვნელობები ტოლია. მაშასადამე, ცის ყველა ვარსკვლავი დღე-ღამის ნახევარში ხილულია და მეორე ნახევარში — უხილავი. სამყაროს პოლუსები კი ცუდად ჩანს.

დედამიწის პოლუსსა და ეკვატორს შორის φ განედის მქონე წერტილზე მდგომი $\varphi(A)$ დამკვირვებლისათვის ადგილის პორიზონტის მიზართ სამყაროს ღერძს ექნება დახრა ადგილის განედის ტოლი (ნახ. 3^ე). $\varphi(A)$ დამკვირვებლისათვის ზოგი (მაგალითად, S_2) ვარსკვლავი ჩაუსვლელია, მაშასადამე, მისი ზედა (S_2') და ქვედა (S_2) კულმინაცია ხილულია, ზოგი (მაგ., S_4) ამოუსვლელია, მისი ზედა (S_4') და ქვედა (S_4) კულმინაცია უხილავია; ხოლო ზოგი ამოდის (აღმოსავლეთის მხრიდან) და ჩადის (დასავლეთის



ნ.ხ. 1.4.1.3^ე.

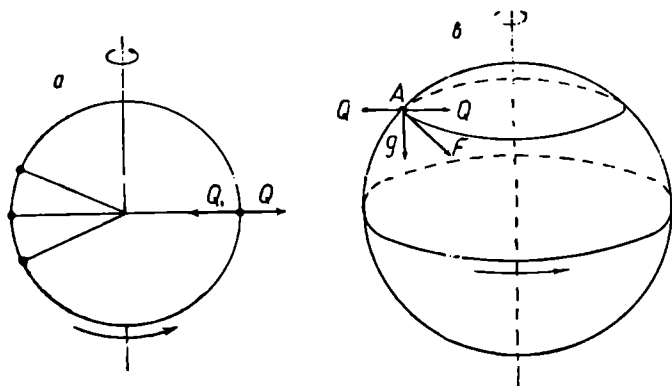
მხარეს), ანუ ზედა კულმინაცია (S', S_2', S_4') ხილულია, ქვედა კულმინაცია (S, S_2, S_4) უხილავია.

დამკვირვებელი რომ დედამიწის A' წერტილში დადგეს (ნახ. 1.3.3.2.) და სულ იცქირებოდეს P_N პოლუსისაკენ, ის ნახევარი დღის განმავლობაში დედამიწის ბრუნვის გამო გადაადგილდება A წერტილში და დასკირდება შემობრუნება 180° . ნახაზის ხილვისას უნდა ვიგულისხმოთ, რომ დედამიწისა და სამყაროს ღერძები შერწყმულია.

1.4.2. ადგილის განედის ცვალებადობა

ბუნებაში შენიშნული მრავალი მოვლენის მიზეზს დედამიწის ბრუნვა წარმოადგენს. როგორც ცნობილია, ბრუნვის შედეგია ბრუნვის ღერძისადმი მართობული ცენტრიდანული ძალა, რამაც განაპირობა დედამიწის ეკვა-

ტორული ამობურცულობა. მაგალითად, ზონარზე გამობმული ტვირთის (ნახ. 1^ა) ბრუნვის დროს, თუ ზონარი გაწყდა, მაშინ განთავისუფლდება რა ტვირთი Q ცენტრიდანული ძალის საწინააღმდეგო Q_1 (ტვირთის დამპყერი) ძალისაგან, გაიტყორცნება ბრუნვის მხების მიმართულებით. ასევე, თანახმად ნიუტონის პირველი კანონისა (1.4.4. პარაგრაფის D მუხლი), ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით დედამიწის ელემენტები განიბნეოდა ბრუნვის მხების მიმართულებით, რომ მიზიდულობის ძალა არ არსებობდეს. მაშასადამე, მიზიდულობის F ვექტორი, რომელიც უცვლელი ოდენობისაა და მუდამ დედამიწის ცენტრისაკენაა მიმართული, უნდა იყოს გეომეტრიული ჯამი ყოველი პარალელის სიბრტყეში არსებული Q ცენტრიდანული ვექტორის დამპყერი Q_1



ნახ. 1.4.2.1.

და ეკვატორისაკენ მიმართული g ვექტორისა (ნახ. 1^ბ). ეკვატორისკენ მიმართული g ვექტორი მიზიდულობის ძალის ნარჩენ ძალას წარმოადგენს და იწოდება სიმძიმის ძალად. შესაბამისი აჩქარება პოლუსებიდან ეკვატორისაკენ ცენტრიდანული ძალის ზრდის გამო ეკვატორზე დაახლოებით 3 გალით მცირდება. ზემოხსენებული დამოკიდებულება გამოისახება ასე (ნახ. 1^ბ):

$$\left. \begin{aligned} F &= Q_1 + g, \text{ ანუ } g = F - Q_1 = F + Q \\ &\text{პოლუსზე} \\ g &= F = 981 \text{ გალს, რადგანაც } Q = 0 \\ &\text{ეკვატორზე კი} \\ Q &= 3,4 \text{ გალს, ე. ი. } g = 977,6 \text{ გ} \end{aligned} \right\}, \quad (1.4.2.1)$$

სადაც F არის მიზიდულობის ძალა;

Q — ცენტრიდანული ძალა;

Q_1 — ცენტრიდანული ძალის დამპყერი ძალა (ცენტრმიმსწრაფი ძალა),

ე. ი. $|Q| = |Q_1|$;

g — სიმძიმის ძალა.

მეცნიერები ხანგრძლივი დაკვირვების შედეგად ასკენიან, რომ დროთა ვითარებაში g სიმძიმის ძალა, ახდენდა რა გავლენას პლასტიკურ

დედამიწაზე, ეკვატორისაკენ თავს უყრიდა ჰარბ მასებს, რითაც შეიქმნა უაღრესად დიდი ეკვატორული ამობურცულობა და ეკვატორისაკენ სივრცეში მოძრაობისას საჰაერო ხდება მალალი მთების გადალახვა. ამჟამად ეკვატორზე წონასწორობაა, რადგანაც ეკვატორული ამობურცულობის მასა და ფორმა ისეთია, რომ სიმძიმის ძალა, რომელიც მასებს ეწევა ეკვატორისაკენ, გაწონასწორებულია ამობურცულ (ამალღებულ) ეკვატორზე მასების შესატოცებლად საჰაერო ძალით. სხვადასხვა გეოლოგიური მოვლენების შედეგად დედამიწის ჩრდილო ან სამხრეთ ნახევარსფეროში მთები რომ წარმოიშვას, სიმძიმის ძალის გამო მთის ჰარბი მასები დაიწყებს ძლიერ ნელდინებას ეკვატორისაკენ; რადგანაც ეს მასები განუყრელია დედამიწის ქერქისაგან (ლითოსფეროსაგან), რომელსაც დედამიწის გულთან შედარებით გაცილებით ნაკლები მასა აქვს, ისინი მთლიანად (ქერქითურთ) დაიძვრიან და შეცოცდებიან ეკვატორზე. ნიუტონმა დაადგინა, რომ სფეროს ლერძი, რომელიც რაიმე იმპულსის შედეგად ბრუნვითს მოძრაობაშია, შინაგანი ძალების გამო არასდროს არ შეიცვლის დახრას. შეიძლება თვით სფერომ შეიცვალოს ორიენტირება მისი ლერძის მიმართ; მაშასადამე, დედამიწის მასების ზემოთ აღწერილი გადაადგილება ვერ მოახდენს გავლენას მისი ლერძის ორიენტირებაზე, ე. ი. დედამიწის ლერძი ფიქსირებულ მიმართულებას არ შეიცვლის.

მთების მასების ეკვატორზე შეცოცების პროცესში დედამიწის ბრუნვის ლერძის მიმართ დედამიწის მასას შეიძლება ექნეს ცოტაოდენი რხევა. ცოტაოდენი რხევა იმიტომ, რომ ეკვატორის ამობურცულობის შესაბამისი მასები 100 ათასჯერ მეტია, ვიდრე იმ ამობურცულობებისა, რომლებიც წარმოიშვნენ მისი სივრცის გარეშე.

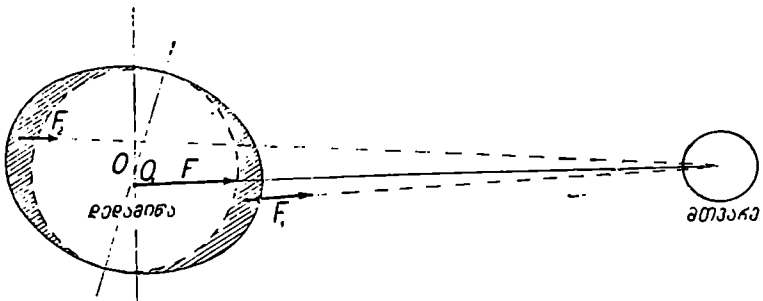
გულკანაში და მიწისძვრების მოვლენებით გამოწვეული მასების გადაწონაში ახლანდელს გავლენას დედამიწის მოძრაობითს პროცესებზე და დროგამოშვებით ხდება მოძრაობის შემუშოთებები. ვინაიდან ზემოხსენებული მოვლენების გამო დედამიწის მასები მცირედ, მაგრამ მაინც მდებარეობას იცვლის დედამიწის ბრუნვის ლერძის გარშემო, ადგილი ექნება მისი ხილულ ზედაპირის წერტილების განედების პერიოდულ ცვალებადობას, რაც 1884 წელს კაუსტენერმა აღმოაჩინა. როგორც ვთქვით, დედამიწის ლერძის სივრცეში ორიენტირება არ იცვლება, მაგრამ მის პოლუსებს დროთა ვითარებაში ემთხვევა დედამიწის სხვადასხვა წერტილი და ისეთი შთაბეჭდილება გვრჩება თითქოს პოლუსები დახეტიალობს. ადგილის განედების გაზომვებით, რომელიც ზუსტად სრულდება, დადგენილია, რომ დროთა ვითარებაში წერტილების განედები სიმეტრიულად იცვლება. ასე რომ, როცა A წერტილის განედი იზრდება, მისი სიმეტრიული B წერტილის განედი იმავე ოდენობით მცირდება. იმის შემდეგ, რაც შესრულდა განედების რხევის პირველი გაზომვა (ასი წლის წინ), დედამიწის პოლუსები (მოჩვენებით, ხილულად) გადაადგილებულია 15 მეტრამდე. საერთოდ, ფიქრობენ, რომ დედამიწის პოლუსების მდებარეობა შედარებით უძველეს დროსთან ამჟამად (მოჩვენებით) გადაწეულია ათასი კილომეტრით. გულისხმობენ რა გეოგრაფიული პოლუსების მაგნიტურ პოლუსებთან სიახლოვეს, ამ უკანასკნელის ცვალებადობით ადგენენ პირველის (მოჩვენებით) ხეტიალს. მაშასადამე, ზემოხსენებულ ამ ცვალებადობათა მიზეზების შესწავლა ძირითადად ეყრდნობა მაგნიტური მიწარალების ქანებში განლაგების დაკვირვებებს. როგორც ვხედავთ, ადგილის

მასების შესაბამისად წერტილებზე ადგილს იცვლის როგორც ჩრდილო-სამხრეთ პოლუსებისაკენ, ისე ეკვატორისაკენ. მაშასადამე, საუკუნეთა განმავლობაში დედამიწის როგორც ფიგურა, ისე სხვადასხვა ადგილის კლიმატიც სათანადოდ უნდა იცვლებოდეს.

1.4.3. პრეცესია და ნუტაცია

პრეცესია ეწოდება მბრუნავ ბზრიალაზე სიმძიმის ძალის მოქმედების გამო მისი ღერძის მიერ სიმძიმის ძალის მიმართების პარალელური ღერძისადმი კონუსური ზედაპირის აღწერას. ნუტაცია კი უწოდებენ ამ ზედაპირიდან პერიოდულად ბზრიალას ღერძის რხევას.

ანალოგიური მოვლენა ხდება მბრუნავი დედამიწის მიმართ. დაახლოებით 26000 წლის განმავლობაში სამყაროს პოლუსი $23^{\circ} 27' \approx 23^{\circ},5$ რადიუსით შემოწერს ეკლიპტიკის მოძრავე პოლუსის მიმართ სრულ შეუკრავ წრეხაზს, ანუ სამყაროს ღერძი შემოსწერს ჩაუქეტავ კონუსურ ზედაპირს ეკლიპტიკის ღერძის მიმართ, რის გამო ეკლიპტიკისა და ციური ეკვატორის გადაკვეთის გაზაფხულის დღე-ღამტოლობის ო წერტილის გადაადგილება ხდება ცის სფეროზე ყოველწლიურად მზის წლიური ხილული (მოჩვენებითი) გადაადგილების საწინააღმდეგოდ, ანუ დასავლეთისაკენ $50^{\circ},24$. მაშასადამე, ეს წერტი-



ნახ. 1.4.3.1.

ლი მოივლის ეკლიპტიკის 26000 წლის განმავლობაში. როგორც ვხედავთ ყოველ მომდევნო წელს $50,24$ სეკუნდით ადრე ხდება დღეღამტოლობა, ვიდრე წინა წელს; ასეთ წინსწრებას პრეცესიას უწოდებენ. ნუტაციის გამო კი პრეცესიით მიღებული ჩაუქეტავი წრეხაზი იღებს ჩაუქეტავი რხევადი წრეხაზის სახეს. შემოხსენებულ მოვლენათა ახსნა შემდეგში მდგომარეობს: როგორც ცნობილია, დედამიწას აქვს დიდი მასების მქონე ეკვატორული ამობურცულობა. ასეთი სხეულის გრავიტაციული მიზიდულობა არსებითად განსხვავდება სფერული მოყვანილობის სხეულის გრავიტაციული მიზიდულობისაგან. დედამიწა წარმოედგინოთ ორი ნაწილისაგან შემდგარი: ერთი — () ცენტრის გარშემო მისი მცირე ღერძის ნახევრის ტოლი რადიუსით შემოწერილი სფეროსა და მეორე — დიდი და მცირე ღერძის სხვაობის შესაბამისი სისქის მქონე ეკვატორული ამობურცულობის სახით (ნახ. 1).

დედამიწა, რომ მხოლოდ სფეროს წარმოდგენდეს, მაშინ F მთვარის მიზიდულობა, გაივლის რა O წერტილში, მის ბრუნვაზე გავლენას არ მოახდენს და გამოიწვევს მხოლოდ წინმსვლელობით, ანუ მზისადმი გარემოქცევითი მოძრაობის შეშფოთებას. ეკვატორული ამობურცულობის შესაბამისად წარმოიშობა მთვარისმიერი F_1 და F_2 მიზიდულობის ძალა, რომელთაგან პირველი მეორეზე მეტია დედამიწის წინა ნაწილის მთვარესთან სიახლოვის გამო. მაშასადამე, F_1 და F_2 ეკვატორის ტოლქმედი გაივლის დედამიწის O ცენტრის ქვემოთ მცირე მანძილზე, O_1 წერტილში, რაც იწვევს დედამიწის ბრუნვითი მოძრაობის შეშფოთებას, ანუ მიზნის პრეცესიას. ასეთსავე გავლენას ახდენს დედამიწის მოძრაობაზე მზე. ეინაიდან მთვარე უფრო ახლოა დედამიწასთან, მისი წილი პრეცესიაში არის $34^{\circ},37$, ხოლო მზისა — 16° .

მზე-მთვარის მიერი პრეცესიის გარდა, არსებობს ცდომილთ-მიერი პრეცესია, რომელიც სიმცირის გამო დედამიწის ღერძის მდებარეობის პრეცესიულ ცვალებადობას ვერ იწვევს, მხოლოდ მოქმედებს დედამიწის მზისადმი გარემოქცევით მოძრაობაზე და მიზნში ხდება დედამიწის ორბიტის, მაშასადამე, ეკლიპტიკის სიბრტყის მდებარეობის ცვალებადობისა. მთვარე-მზისმიერი პრეცესია დედამიწის ღერძის დახრის გამო შემოაბრუნებს ეკვატორის სიბრტყეს და ეკლიპტიკის სიბრტყესთან მის გადაკვეთის Υ წერტილს ყოველწლიურად გადაადგილებს დასავლეთისაკენ $50^{\circ},37$, ხოლო ცდომილთმიერი პრეცესია აადგილებს ეკლიპტიკის სიბრტყეს და Υ წერტილს გადაადგილებს ყოველწლიურად აღმოსავლეთისაკენ $0^{\circ},13$. მაშასადამე, მზე-მთვარისმიერი და ცდომილთმიერი, ანუ საერთო წლიური პრეცესია იქნება: $50^{\circ},37 - 0^{\circ},13 = 50^{\circ},24$. როგორც ვთქვით, ამ სიდიდით ხდება ყოველწლიურად Υ წერტილის გადაადგილება დასავლეთით ცის სფეროზე (მართლაც, $360 \cdot 60 \cdot 60^{\circ} : 26000 = 50^{\circ},2$).

საერთო წლიური პრეცესიის შედეგს წარმოადგენს:

1. სამყაროს პოლუსების მდებარეობის ცვალებადობა ვარსკვლავების მიმართ. მაშასადამე, სხვადასხვა ხანაში სხვადასხვა ვარსკვლავის ახლობლობაშია სამყაროს პოლუსები. იმისათვის, რომ გავიგოთ, თუ რომელი ვარსკვლავი იყო ან არის სამყაროს პოლუსის ახლოს, გარკვეული ეპოქის შესაბამის ვარსკვლავებთან რუკაზე ეკლიპტიკის პოლუსიდან, როგორც ცენტრიდან, უნდა შემოვწეროთ წრეხაზი $23^{\circ},5$ -ანი რკალით. ეს წრეხაზი იქნება შეუკრავი. რადგანაც იგულისხმება, რომ ის ცვალებადი ეკლიპტიკის პოლუსიდან არის შემოხაზული. ამ წრეხაზით მიახლოებით გავიგებთ ეპოქის შესაბამისად იმ ვარსკვლავებს, რომელთა სიახლოვეში იყო ან იქნება სამყაროს ღერძი. მაგალითად, ამჟამად სამყაროს ჩრდილო პოლუსი იმყოფება პატარა დათვის α ვარსკვლავის ახლოს და ამიტომ ამ ვარსკვლავს უწოდებენ პოლარულს. 4000 წლის წინათ პოლარულ ვარსკვლავად ითვლებოდა გველეშაპის α , რომელიც ამჟამად დაშორებულია ეკლიპტიკის პოლუსიდან 25° -ით. დაახლოებით 12000 წლის შემდეგ პოლარული ვარსკვლავის ადგილს დაიჭერს ვარსკვლავი ვეგა (ლირის α).

2. როგორც აღვნიშნეთ, გაზაფხულის დედამტოლობის Υ წერტილის დასავლეთისაკენ გადაადგილების გამო დედამტოლობის სწრაბა (გაზაფხულის აღრიანი დადგომა) ხდება წინა წელთან შედარებით. ამ მიზეზით ტროპიკული (მზისმიერი) წელიწადი $20^{\circ} 26^{\circ},9$ უფრო მოკლეა, ვიდრე ვარსკვლავთმიერი

წელიწადი (1.5.1). მაგალითად, ჩვენი წელთაღრიცხვის დასაწყისში გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი მდებარეობდა ვერძის თანავარსკვლავედში და აღინიშნებოდა ამ თანავარსკვლავედის Υ ნიშნით. ამჟამად გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი იმყოფება თევზის თანავარსკვლავედში, მაგრამ მისი აღნიშვნა არ შეუცვლიათ.

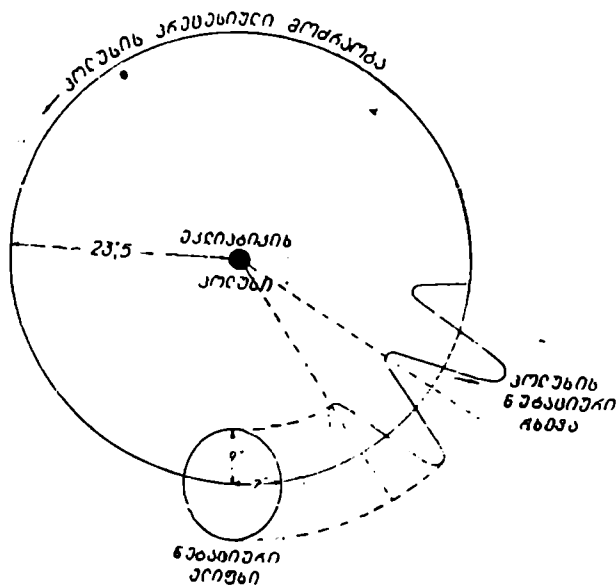
3. ეკლიპტიკური გრძელი ყოველწლიურად იზრდება $50^{\circ}, 24$ -ით, განედო კი არ იცვლება. მეორე სახის ეკვატორული კოორდინატები α — პირდაპირი აღლენა და δ — დახრილობა მუდამ იცვლება.

4. მოცემული ადგილისათვის ხდება ვარსკვლავური ცის სახის ცვალებადობა. მაგალითად, ხდება ვარსკვლავთა ან მათი გროვის პორიზონტიდან პერიოდულად გაქრობა და მათ ნაცვლად ამოსვლა იმ ვარსკვლავებისა, რომლებიც ადრე ადგილის პორიზონტის ქვეშ იყვნენ და სხვა.

დღემიწის ეკვატორული ამობურცულობის ორივე ნახევრის მიმართ მზე-მთვარის მიზიდულობის ძალების ზემოქმედება უცვლელი რომ იყოს, მაშინ პრეცესიული მოძრაობა იქნებოდა სრულიად თანაბარი; სინამდვილეში ეს ძალები იცვლება შემდეგი მიზეზების გამო:

1. წელიწადში ორჯერ — მარტსა და სექტემბერში (1.5.1) მზე იმყოფება როგორც ციურ ეკვატორზე, ისე ეკლიპტიკაზე (მათი გადაკვეთის ხაზი). ამ მომენტში F_1 და F_2 ძალა იმყოფება ეკლიპტიკის სიბრტყეში და, მაშასადამე, F ძალის ზეგავლენით მზისმიერი პრეცესია არ იქნება.

2. ყოველთვისად ორ ანალოგიურ მოვლენას აქვს ადგილი, როცა მთვარის მიერ დღემიწის ორივე ამობურცულობის მიზიდვა ხდება მათი ორბი-



ნახ. 1. 4. 3. 2.

ტის სიბრტყეში და, მაშასადამე, მთვარისმიერი პრეცესია არ იქნება.

3. მთვარის ორბიტის სიბრტყე, რომელიც მუდამ დახრილია ეკლიპტიკის სიბრტყესთან 5° -ით, ანუ მთვარის ორბიტის პერპენდიკულარი აღწერს კონუსს ეკლიპტიკის ღერძის მიმართ დაახლოებით 19° წლის პერიოდში. ამ მოვლენას ეწოდება მთვარის ნასკვების მოძრაობა.

პრეცესიული მოძრაობის დროს ზემოხსენებული სამი მიზეზი იწვევს პოლუსის რხევას, ანუ ნუტაციას. ამ რხევების შედეგად პოლუსი ცის სფეროზე (ნახ. 2) აღწერს ელიფსებს, რომელთა დიდი ნახევარღერძები უდრის $18^{\circ}, 42 \approx 18^{\circ}$ და მცირე კი — $13^{\circ}, 72 \approx 14^{\circ}$. ერთობლივად პოლუსის პრეცესიული და ნუტაციური გადაადგილების შედეგად ცის სფეროზე ისახება ტალღისებური წირი (ნახ. 2).

საკვიროა აღინიშნოს, რომ პარალაქსი და აბერაცია (1.4.4. *Fa, b*), ცვლის მნათობების ხილულ მდებარეობას ცის სფეროზე. პრეცესია და ნუტაცია კი ცვლის მნათობთა კოორდინატებს; მაგრამ ეს შეცვლა გამოწვეულია არა მნათობების გადაადგილებით, არამედ სივრცეში თვით კოორდინატთა სიბრტყეების ცვლილებით. პრეცესიისა და ნუტაციის გავლენით იცვლება დედამიწის ღერძის ორიენტაცია სივრცეში და დედამიწის სხეული ფიქსირებული რჩება ამ მოძრავი ღერძის მიმართ. მაშასადამე, ჩრდილოეთ პოლუსზე დღეს დასმული ალაში 13000 წლის შემდეგაც აღნიშნავს იმავე პოლუსს, რომლის განედი 90° რჩება. იმის გამო, რომ პრეცესია და ნუტაცია არ ცვლის ადგილის განედის ოდენობას, ისინი არავითარ გავლენას არ ახდენენ ადგილის კლიმატურ პირობებზე, მაგრამ მაინც იწვევენ წლის დროთა ძვრას იდეალურ კალენდართან შედარებით.

А. მიმოცხევაში, როგორც დედამიწაზე მოძრაობის ხაზურადღებო უაბრები

შსოფლიო ოკეანეთა დონეები დაახლოებით მუდმივ, თანაბრად ცვალებადია. სხვადასხვა ადგილას ყოველ $24^{\circ} 50'$ -ში ოკეანეთა წყალი მოიწევს ნაპირისაკენ ორჯერ და დონე იწევს მაღლა გარკვეულ ზღვრამდე, რასაც მოქცევას უწოდებენ. შემდეგ ისევ ორჯერ წყალი უკან იხევს ნაპირებიდან და მისი დონე დაიწევს მინიმუმამდე, ანუ წყალი მიიქცევა. მაშასადამე, დღე-ღამის განმავლობაში ოკეანეთა დონე ორჯერ მოიქცევა და ორჯერ მიიქცევა-მხოლოდ, როგორც ვხედავთ, ეს ციკლი მეორდება ყოველ დღე-ღამეში $50'$ -ის დაგვიანებით. ამ მოვლენის მთავარ მიზეზად ითვლება მთვარის გრავიტაციული (მიზიდულობის) ძალის მოქმედება დედამიწის ჰიდროსფეროს მიმართ. ასეთ დასკვნას აკეთებენ იმის გამო, რომ დედამიწის ირგვლივ გარემოქცევის შედეგად მთვარე თვალნათლივ ახდენს დღე-ღამეში გადაადგილებას მზიდან აღმოსავლეთით საშუალოდ $12^{\circ}, 5$ კუთხით, რასაც დროის 50 მინუტა შეესაბამება და ინტერვალი $24^{\circ} 50'$ ასევე წარმოადგენს საშუალო დროს ადგილის ციურ მერიდიანზე მთვარის თანმიმდევარი გავლისათვის, ანუ, როგორც იტყვიან, როგორც არის დღე-ღამეში მოქცევა-მიქცევათა დაგვიანება ($50'$), ისეთივე დაგვიანებით ხდება მთვარის კულმინაცია.

მიმოქცევის წარმოშობი ძალა წარმოადგენს სხვაობას მთვარის მიერ ჰიდროსფეროს მიზიდულობის ძალასა და მთვარის მიერვე მყარი ტანის მიზი-

დულობის ძალას შორის. როგორც ცნობილია, ორ ობიექტს შორის გრავიტაციული ძალის სიდიდე იცვლება მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად (1.4.4). მაშასადამე, მთვარე მიზიდავს პირდაპირ მის ქვეშ მდებარე ოკეანეთა წყლების ერთეულ მასას უფრო დიდი ძალით, ვიდრე მყარ ტანს, რომლის მასა შეიძლება დედამიწის ცენტრში შეყუჟრულად ჩავთვალოთ; ხოლო მყარი ტანის მთვარისმიერ მიზიდულობის ძალა მეტი იქნება დედამიწის უკან არსებული ოკეანეთა წყლების მთვარისმიერ მიზიდულობის ძალასთან შედარებით. როგორც შედეგი, მთვარისმიერი ასეთი არათანაბარი მიზიდულობისა, უნდა მოველოდეთ ოკეანეთა წყლების თანადროულად წყლის დიდი ამობურცულობებისა და მათ შორის დიდი ჩაღრმავებების პერიოდულად წარმოშობას. მართლაც, დედამიწის ხმელეთი ყოველ 24^h 50^m-ში განიცდის მთვარისმიერი მიზიდულობის გამო ოკეანეთა წყლების დონეთა პერიოდული ცვალებადობით ტალღათა დაჯახების გავლენას. ანალოგიურ, მხოლოდ საწინააღმდეგო გავლენას განიცდის ხმელეთი მზის მიერ გამოწვეული ატმოსფერული მიმოქცევებით. მზის მიზიდულობით გამოწვეული ატმოსფეროს მიმოქცევები დედამიწის ზედაპირზე ძნელად შესამჩნევია, ხოლო ხმელეთის მიმოქცევები, რომელიც წყლისაზე სამჯერ ნაკლებია, მის წერტილებს 24^h 50^m-ში ორ-ორჯერ ასწევს და დასწევს საშუალოდ რამდენიმე ათეული სანტიმეტრით. მაგალითად, მოსკოვში ამ მიმოქცევების გამო ნიადაგის აწვევ-დაწვევა ხდება 40 სანტიმეტრით.

მზე, ისევე როგორც მთვარე, იწვევს ოკეანეთა და ხმელეთის მიმოქცევებს დედამიწაზე, მაგრამ მისი სიშორის გამო მზისმიერი მიმოქცევა ორჯერ ნაკლებია მთვარისმიერ მიმოქცევაზე. ხოლო, როგორც ვთქვით, მზისმიერი დედამიწის ატმოსფერული მიმოქცევები საწინააღმდეგო და ტოლი ოდენობისაა მთვარისმიერი ზემოხსენებული მიმოქცევებისა. მაშასადამე, მთვარე-მზისმიერი მიმოქცევები ურთიერთწონასწორდება და დედამიწის ბრუნვის პერიოდზე გავლენას არ ახდენს. დედამიწის ბრუნვის შენელება საუკუნეში 0^o,0016, ანუ დღე-ღამეში 5·10⁻⁸ სექუნდით, რასაც თანამედროვე უზუსტესი კვარცის საათებით აღგენენ (1.5.6), უნდა აიხსნას მიმოქცევების ხახუნის (და არა დაჯახების) მიზეზით. აგრეთვე დედამიწის არათანაბარი ბრუნვის მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს წიაღში ნივთიერებათა განაწილების ცვალებადობა; მზის აქტივობის ცვალებადობით — დედამიწის მაგნეტიზმის ცვალებადობა და სხვა. აღნიშნული არათანაბარი ბრუნვა დედამიწისა იწვევს მთვარის მოძრაობის ხან აჩქარებას, ხან შენელებას, აგრეთვე მთვარისა და პლანეტების გრძელდებში ხდება შეუსაბამობანი და სხვა.

დედამიწიდან მუდამ მთვარის ერთი მხარე ჩანს, რადგანაც მთვარე აკეთებს რა დედამიწის მიმართ ერთ სრულ გარემოქცევას 27,32 დღე-ღამეში, იგი ამავე პერიოდში ასრულებს ერთ სრულ ბრუნვას თავისი დერძის გარშემო. მთვარის გარემოქცევისა და ბრუნვის პერიოდების ტოლობა შედეგია მთვარეზე დედამიწისმიერი მიმოქცევისა. დედამიწისმიერი მიმოქცევითი ძალა მთვარისადმი გაცილებით მეტია დედამიწისადმი მთვარისმიერი მიმოქცევის ძალასთან შედარებით, რადგანაც დედამიწის მასა 80-ჯერ მეტია მთვარის მასაზე.

აქვე შევნიშნავთ, რომ მთვარის მეორე მხარე ფოტოგრაფიულად რამდენიმეჯერ გადაღებულია რაკეტების საშუალებით და ძირითადი განსხვავება დედამიწიდან მთვარის ხილულ მხარესა და უხილავს შორის მდგომარეობს

იმაში, რომ მთვარის უკანა მხარე გაცილებით მთიანია, ვიდრე წინა და იქ არ არის „ზღვები“. ანუ მშრალი, შედარებით ვაკე და ბნელი სივრცეები.

განხილული საკითხი არ ეხება თვით დედამიწის მოძრაობების საკითხს, მაგრამ იგი დედამიწაზე მოძრაობების ერთ-ერთ მეტად საყურადღებო ფაქტს წარმოადგენს და ამიტომ ვარჩიეთ მისი აქ განხილვა.

1.4.4. მზის ირგვლივ დედამიწის გარემოქცევა

A. ჰელიოცენტრული სისტემა

1.3.2. პარაგრაფში იყო აღნიშნული ძველთაგან მიღებული პტოლომეს გეოცენტრული სისტემის კოპერნიკის ჰელიოცენტრული სისტემით შეცვლის შესახებ.

კოპერნიკის ჰელიოცენტრული სისტემის ძირითადი დებულებებია:

1. პლანეტები გარემოიქცევიან მზის და არა დედამიწის ირგვლივ, რომლებიც მოძრაობენ წრეხაზულ ტრაექტორიაზე, ანუ ორბიტაზე;

2. დედამიწა მზიდან მესამე პლანეტაა და იგი ერთი წლის განმავლობაში მზის ირგვლივ გარემოიქცევა წრეხაზულ ორბიტაზე, რომლის შესაბამისი ციური წრე წარმოადგენს ეკლიპტიკის სიბრტყეს;

3. დედამიწა ასრულებს სრულ ბრუნვას დღე-ღამეში თავისი ღერძის ირგვლივ, რომელიც დახრილია ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი.

B. კეპლერის დაკვირვებათა შედეგები

ჰელიოცენტრული მოძღვრების ერთ-ერთმა მიმდევარმა გერმანელმა ასტრონომმა იოჰან კეპლერმა (1571—1630) მარსის ორბიტის დადგენის დროს შეამჩნია, რომ მისი ორბიტა წრეხაზს კი არ წარმოადგენს, როგორც ეს კოპერნიკს ეგონა, არამედ ელიფსს და ამავე დროს ის მოძრაობს არათანაბრად. აღნიშნულთან დაკავშირებით კეპლერმა, შეისწავლა რა იქ დროისათვის ცნობილი პლანეტების მოძრაობის ორბიტები, ჩამოაყალიბა წმინდა კინემატიკურად, ანუ მოძრაობის გამომწვევი მიზეზების გარეშე, სამი კანონი-როგორც ემპირიული ფაქტები:

1. ნებისმიერი პლანეტის ორბიტა არის ელიფსი, რომლის ერთ-ერთ ფოკუსში მზე იმყოფება;

2. პლანეტის მოძრაობის რადიუს-ვექტორი დროის თანაბარ შუალედებში, ელიფსის შიგნით, თანატოლ ფართობებს შემოსწერს;

მზის სისტემაში მზე ყოველთვის იმყოფება ნებისმიერი პლანეტის ორბიტის ერთ-ერთ ფოკუსში. როდესაც პლანეტა იმყოფება იმ ფოკუსთან ახლო, რომელზეც მზე არის, ამბობენ, რომ პლანეტა იმყოფება პერიჰელიუმში, ხოლო როცა ეს მანძილი უზორესია, მაშინ პლანეტა აპოჰელიუმშია. პირველი კანონიდან გამომდინარეობს, რომ ყოველ პლანეტას აქვს ცენტრშიმსწრაფი აჩქარება, რომელიც ყოველთვის მზისკენ არის მიმართული.

მეორე კანონის თანახმად (ნახ. 1), დაშტრისული 1, 2, 3 ფართობები ტოლია, მაშასადამე, 1', 2', 3' რკალები პლანეტის მიერ დროის ტოლ მონაკვეთებშია განვლილი. ამ კანონის შედეგად უნდა დავასკვნათ, რომ, როცა

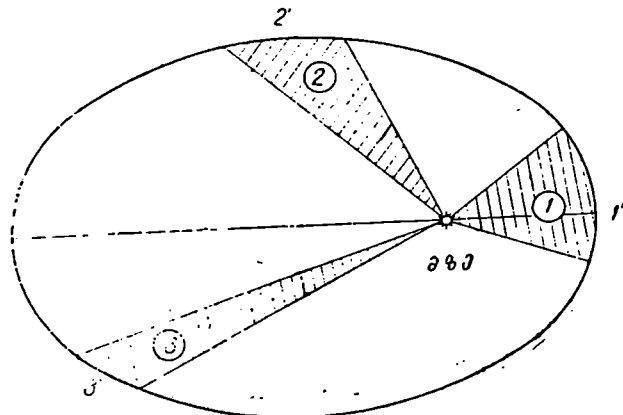
პლანეტა პერიოპეუმში იმყოფება, მისი მოძრაობის სიჩქარე მეტია, ვიდრე როცა ის აპოპეუმშია.

3. პლანეტების სრული გარემოქცევის პერიოდის კვადრატები ისე შეფარდება ერთმანეთს, როგორც მზიდან მათი საშუალო მანძილების, ანუ ელიფსის დიდი ნახევარღერძების კუბები:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (1.4.4.1)$$

სადაც T არის მზისადმი პლანეტის სრული გარემოქცევის დრო, ანუ სიდერული პერიოდი;

a — პლანეტის ორბიტის (ელიფსის) დიდი ნახევარღერძი.



ნახ. 1. 4. 4. 1.

კეპლერის მესამე კანონი მზის სისტემის მასშტაბს ადგენს, ანუ იგი პლანეტებს აკავშირებს ერთ მოლიანობაში. მაგალითად, იმის შემდეგ, რაც განსაზღვრული იქნება რომელიმე პლანეტის სიდერული პერიოდი, მისი ორბიტის დიდი ნახევარღერძი შეიძლება გამოთვლილ იქნეს დედამიწის ორბიტის დიდ ნახევარღერძთან, როგორც ზომის ერთეულთან შედარებით. ვთქვათ, T_2 არის დედამიწის სიდერული პერიოდი წლებში, რომელიც ტოლია $365^d, 2564 = 1$ წელი, ხოლო a_2 — მზიდან დედამიწის ორბიტის საშუალო მანძილი ასტრონომიულ ერთეულებში, ე. ი. $T_2 = 1$ წელს და $a_2 = 1$ ასტრ. ერთეულს. მაშინ (1) დამოკიდებულება გადაიწერება ასე:

$$T_1^2 = a_1^3.$$

მაგალითად, მარსის სრული გარემოქცევის პერიოდია 687 დღე-ღამე $= \left(\frac{687}{366}\right)$ წელი. მარსის საშუალო მანძილი ასტრონომიულ ერთეულებში მზიდან იქნება:

$$a = \sqrt[3]{\left(\frac{687}{366}\right)^2} = 1,5 \text{ ასტრ. ერთ.}$$

1	2	3	4	5	6	7	8		9	10		11	12	13	14
							ა	ბ		ა	ბ				
სფერო	ფართობი კვადრატულ მეტრში	ფართობი ჰექტარში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში	საშუალო სიღრმე მეტრში
დ. შიშკაძის ქუჩა	2 420	0.0	0.32	5.3	88 (ლუ-ლამ)	32°	0.3871	57.91	0.2408	57.97	47.9	7° 0'			
კუთხე	6 200	0.0	4.67	4.95	224.7	23° 27'	0.7233	108.21	0.6152	243.00	35.0	3° 24'			
დ. შიშკაძის ქუჩა	6 373	0.0034	5.98	5.52	23* 56**	25° 12'	1.000	149.80	1.000	365.26	29.8	1 51'			
პარკი	3 400	0.0052	0.64	3.95	24* 37**		1.5237	227.9	1.8809	686.98	24.1				
ო. შიშკაძის ქუჩა	71 400	0.062	1 900	1.380	9* 50**	3° 7'	5.2027	778.3	11,8622	4 332.59	13.1	1° 19'			
საბურთაძის ქუჩა	60 400	0.096	560	1.687	10* 14**	26° 45'	9.546	1248	29,4577	10 759.2	9.6	2° 30'			
უბანი	23 803	0.06	87	1.56	10* 49**	19° 05'	19.20	2872	94,018	30 637	6.8	0° 46'			
ნაბჭავაძის ქუჩა	22 300	0.02	103	2.27	15* 40**	29°	30.09	4496	164.78	60 184	5.4	1° 47'			
პლაცდანი	7 200		5	4	16*	7° 15'	39.5	5910	248.4	90 700	4.7	17° 9'			
სხვა	6,96 × 10 ⁴	0.00	1.93 × 10 ³	1.41	25*	ვერტიკალის მიხედვით									

კეპლერის კანონები არ საზღვრავს ორბიტის ფორმას, რადგანაც ერთი და იმავე სიდიდის დიდ ღერძს შეიძლება შეესაბამებოდეს როგორც წრეხაზი, ისე სხვადასხვა შეკუმშულობის ელიფსი.

კეპლერის კანონები მართებულია როგორც პლანეტების, ისე მათი თანამგზავრების მიმართ. (1) ცხრილი ნათელ წარმოდგენას მოგვცემს პლანეტებისა და მზის ფიზიკური მონაცემების, ორბიტებისა და მასთან დაკავშირებული ცნობების შესახებ.

ძველად შეეცდომით ფიქრობდნენ, რომ ნებისმიერი მოძრაობა, თანაბარი და წრფივით კი შეიძლება ხდებოდეს მხოლოდ მოქმედი ძალის მოქმედებით. ამის გამო კეპლერი ეძებდა ბიძგების იმ ძალას, რომელიც პლანეტებს არ აძლევს გაჩერების საშუალებას. საკითხი გადაწყდა უფრო გვიან, როცა გალილეიმ და შემდეგ ნიუტონმა აღმოაჩინეს ინერციის კანონი — როცა სხეულზე ძალის მოქმედება ნულია, მისი აჩქარებაც ნულია (*D* მუხლი). ამ კანონის აღმოჩენის შემდეგ ნათელი გახდა, რომ მზის სისტემაში უნდა ვეძებდეთ არა ბიძგების ძალას პლანეტების მიმართ, არამედ ძალას, რომელიც ინერციით პლანეტების წრფივ მოძრაობას ქმნის მრუდხაზოვნად. ნიუტონმა აღმოაჩინა, რომ ეს ძალა არის მიზიდულობის ძალა (*E* მუხლი).

C. სიჩქარე და აჩქარება

თანაბრად მოძრავი სხეულის (მატერიალური წერტილის) სიჩქარე ეწოდება სიდიდეს, რომლის ოდენობა უდრის დროის ერთეულში გავლილ მანძილს. მაგალითად, თუ ავტომანქანა სწორხაზოვნად ხუთ. სექუნდში გალის 150 მეტრს, მისი სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$v = \frac{\text{გავლილი მანძილი}}{\text{დრო}} = \frac{s}{t} = \frac{150 \text{ მ}}{5 \text{ სექ}} = 30 \text{ მ/სექ.} \quad (1.4.4.2)$$

აქედან, ცნობილი სიჩქარითა და დროით შეიძლება მანქანის მიერ გავლილი მანძილის განსაზღვრა.

ვთქვათ, მზის ირგვლივ დედამიწის გარემოქცევის ორბიტაზე 10 სექუნდში გადაადგილების შესაბამისი მანძილია 300 კმ, მაშინ დედამიწის ორბიტული სიჩქარე

$$v = \frac{300 \text{ კმ}}{10 \text{ სექ}} = 30 \text{ კმ/სექ.}$$

თუ მივიღებთ, რომ დედამიწა მოძრაობს თავის ორბიტაზე ამ სიჩქარით თანაბრად, მაშინ გავლილი მანძილი, ანუ ორბიტის სიგრძე, დაახლოებით იქნება:

$$30 \text{ კმ/სექ} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 30 \text{ კმ/სექ} \cdot 3,2 \cdot 10^7 \text{ სექ} = 9,6 \cdot 10^8 \text{ კმ.}$$

სხეულის სიჩქარე ხასიათდება არა მარტო მისი რიცხვითი ოდენობით, არამედ მიმართულებითაც. მაშასადამე, სხეულის სიჩქარე ვექტორულ სიდიდეს წარმოადგენს, რომლის სიგრძე სიჩქარის რიცხვითი ოდენობის ტოლია და ისარი კი მის მიმართულებას გვიჩვენებს.

აჩქარება ეწოდება დროის ერთეულში სიჩქარის ცვალებადობას. მაგალითად, თუ ავტომანქანის საწვისი სიჩქარე იყო 30 მ/სექ და

ხუთი სეკუნდის შემდეგ მისი საბოლოო (უკანასკნელი) სიჩქარე გახდა 50 მ/სეკ. მაშინ მისი აჩქარება (ϵ) გამოითვლება ფორმულით:

$$\epsilon = \frac{\text{საბოლოო სიჩქარე} - \text{საწყისი სიჩქარე}}{\text{დროის ნაზრდი}} = \frac{\text{სიჩქარის ნაზრდი}}{\text{დროის ნაზრდი}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 \text{ მ/სეკ}}{5 \text{ სეკ}} = 4 \text{ მ/სეკ}^2. \quad (1.4.4.3)$$

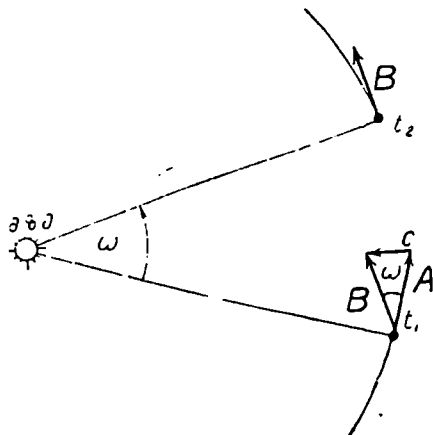
მაშასადამე, მანქანა დროის 5 სეკუნდის ინტერვალებში ზრდიდა საწყის სიჩქარეს ყოველ სეკუნდში 4 მეტრით.

პირობით მივიღოთ, რომ დედამიწის ორბიტა წრეხაზია, მაშინ სიჩქარის რიცხვითი ოდენობა უცვლელი იქნება, ხოლო მიმართულება მუდამ ცვალებადი, ე. ი. მზისადმი დედამიწის გარემოქცევის ვექტორი განუწყვეტლივ იცვლება. ამ შემთხვევაში აჩქარება შეიძლება გამოვთვალოთ როგორც სიჩქარის შეცვლა დროის ერთეულში.

დედამიწა წელიწადში ($365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \approx 3,2 \cdot 10^7$ სეკ.) აკეთებს სრულ გარემოქცევას (360°). ყოველ სეკუნდში ის გადაადგილდება ω კუთხით, რომლის ოდენობა იქნება

$$\omega'' = \frac{360^\circ \cdot 1 \text{ სეკ}}{3,2 \cdot 10^7 \text{ სეკ}} = \frac{0'',1296 \cdot 10^7 \cdot 1 \text{ სეკ}}{3,2 \cdot 10^7 \text{ სეკ}} = 0'',04. \quad (1.4.4.4)$$

ვთქვათ, t_1 მომენტში ვექტორი A გამოსახავს დედამიწის სიჩქარეს (ნახ. 2). t_2 მომენტში, ანუ ერთი სეკუნდის შესაბამისი სიჩქარის ვექტორი იქნება B , რომლის რიცხვითი ოდენობა A -ს ტოლია, მხოლოდ მიმართულება შეცვლილია ω კუთხით. რადგანაც ჩვენ დაინტერესებული ვართ ვექტორთა რიცხვითი ოდენობებით და მიმართულებებით, შეგვიძლია B -ს გამოვავლოთ A გეომეტრიულად; მივიღებთ დედამიწის მზისადმი აჩქარებას ($\epsilon_{\text{დ.მზ}}$), რომლის მიმართულება იქნება მზისკენ. $\epsilon_{\text{დ.მზ}}$ ოდენობა გამოითვლება ცნობილი ω'' და $B = A = 30 \text{ კმ/სეკ} = 30 \cdot 10^5 \text{ სმ/სეკ}$ ოდენობებით. ω სიმცირის გამო $\epsilon_{\text{დ.მზ}}$ სწორს მივიღებთ რკალად და დავწერთ:



ნახ. 1.4.4.2.

$$\frac{\epsilon_{\text{დ.მზ}}}{2\pi A} = \frac{\omega''}{360^\circ},$$

საიდანაც

$$\epsilon_{\text{დ.მზ}} = \frac{2\pi A \omega''}{360^\circ} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 10^5 \text{ სმ/სეკ} \cdot 0,04}{1296 \cdot 10^3 \text{ სეკ}} = 0,59 \text{ სმ/სეკ}^2. \quad (1.4.4.5)$$

დღ.სს რიცხვითი ოდენობა წარმოადგენს ყოველ წუთში მზისადმი დედამიწის გარემოქცევის ვექტორის სიჩქარის ცვალებადობას. მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ დედამიწის მზისადმი აჩქარება (დღ.სს) ყოველთვის მიმართულია მზისკენ და უდრის $0,59$ სმ/სეკ². ამიტომ ამბობენ, რომ დედამიწა ეცემა მზეს $0,59$ სმ/სეკ² აჩქარებით.

დედამიწისადმი მთვარის სრული გარემოქცევის სიღრული (სრული) პერიოდი $T_{გთ} = 27,321$ დღე-ღამე $= 27,321 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 0,24 \cdot 10^7$ სეკ. მაშასადამე,

$$a_{გთ} = \frac{360^\circ \cdot 1''}{T_{გთ}} = \frac{0,1296 \cdot 10^7}{0,24 \cdot 10^7} \approx 0'',5. \quad (1.4.4.6)$$

მთვარის ხაზოვანი სიჩქარე $A_{გთ} \approx 1,13 \cdot 10^5$ სმ/სეკ², მაშინ (5) ფორმულით დედამიწისაკენ მთვარის აჩქარება

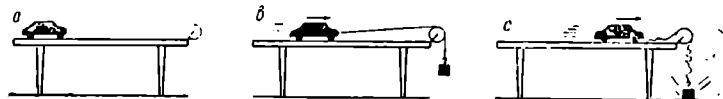
$$a_{გთ.ღ} = \frac{2\pi A_{გთ} a_{გთ}}{360^\circ} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,13 \cdot 10^5 \cdot 0'',5}{12,96 \cdot 10^5} = 0,273 \text{ სმ/სეკ}^2. \quad (1.4.4.7)$$

D. მოძრაობის აბსოლუტუმი

ნიუტონის გამოკვლევები ეყრდნობა მის მიერ აღმოჩენილი მოძრაობის სამ აქსიომას, რომელთა განსაზღვრებები კანონების სახით მანვე ჩამოაყალიბა შემდეგნაირად:

1. ინერციის კანონი: სხეული ინარჩუნებს უძრაობას ან სწორხაზოვან და თანაბარ მოძრაობას, თუ რაიმე გარე შექცევალა ეს მდგომარეობა (ნიუტონი სხეულად გულისხმობდა მატერიალურ წერტილს).

მოვითავსოთ სათამაშო ავტომობილი მაგიდაზე (ნახ. 3^ა). ის დარჩება მუდამ უძრავ მდგომარეობაში, სანამ რაიმე ძალა მას არ გამოიყვანს უძრაო-



ნახ. 1. 4. 4. 3.

ბის მდგომარეობიდან. ახლა ავტომობილს გამოვებით ზონარი საწონით; ზონარი დავეიდოთ ჰალზე და საწონს გავუშვათ ხელი (ნახ. 3^ბ). სიმძიმე დაძავეს მანქანას და სანამ ეს საწონი ჰალზე იქნება გადაკიდებული, ავტომობილის მოძრაობის სიჩქარე იზრდება, ანუ აჩქარებულ მოძრაობას ექნება ადგილი. მაგრამ, როცა საწონი იატაკზე დაეცემა (ნახ. 3^ვ, საწონის მოქმედება ავტომობილზე შეწყდება), ავტომობილი დაუსრულებლად გააგრძელებს მოძრაობას თანაბრად იმ სიჩქარით, რომელიც მან შეიძინა მოძრაობის დაწყებიდან იატაკზე საწონის დავარდნამდე, ანუ რომელიც მას ჰქონდა იატაკზე საწონის დავარდნის მომენტში. როგორც ვხედავთ, სხეული სხვა რომელიმე მატერიალური სხეულის გარეშე დაუსრულებლად აგრძელებს სწორხაზოვან და თანაბარ მოძრაობას. ამ ცდაში ხახუნის გავლენა უგულებელყოფილია. ეს კანონი ადრე გალილეის მიერ იყო დადგენილი.

ნიუტონის კოორდინატების სისტემას შეიძლება ვუწოდოთ ინერციულ სისტემა კოორდინატებისა (1.4.7).

2. ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონი: თუ უძრავ ან მოძრავ სხეულზე მოქმედებს ძალა, მაშინ ის ღებულბს აჩქარებას, რომელიც მიმართულია იმავე გეზით, რაც ამ ძალას აქვს. აჩქარების სიდიდე პირდაპირპროპორციულია ძალისა და უკუპროპორციულია სხეულის მასისა.

ჩვენს ექსპერიმენტში (ნახ. 3^b) შენიშნული იყო, რომ სინამ ავტომანქანის ამამოძრავებელი საწონის სიმძიმის ძალა მოქმედებს ავტომობილზე, მოძრაობა იქნება აჩქარებული. იმისათვის, რომ რაოდენობრივ კავშირი დავადგინოთ ძალასა და აჩქარებას შორის, საჭიროა შევარჩიოთ ძალის საზომი ერთეული. მაგალითად, თუ სათამაშო ავტომობილის მასა არის ერთი გრამი და იგი გადაადგილდება 1 სმ/სეკ² აჩქარებით, იტყვიან, რომ ძალა (საწონი), რომელმაც ეს აჩქარება გამოიწვია, არის ერთი დინი. მაშასადამე, ერთი დინი არის ძალა, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ ერთ გრამ მასას მიანიჭოს 1 სმ/სეკ² აჩქარება. გალიკი აჩქარებაა, რომელსაც ერთი დინი ძალა ანიჭებს ერთი გრამი მასის მქონე სხეულს. მაშასადამე, აჩქარების გაზრდისათვის საჭიროა მოქმედი ძალის სიდიდის გაზრდა, მაგალითად 1 გრამ მასას რომ მივანიჭოთ 3 სმ/სეკ² აჩქარება, საჭირო იქნება 3 დინი. მაშასადამე, F ძალა პროპორციულია (\sim) აჩქარებისა, რაც სიმბოლოურად ასე დაიწერება:

$$F \sim a. \quad (1.4.4.8)$$

როდესაც სხეულის მასა გაიზრდება, მაშინ საჭირო გახდება უფრო დიდი ძალა, რომ სხეულს მიანიჭოს იგივე აჩქარება. მაგალითად, 5 გრამი მასის მქონე სხეულს, რომ მიენიჭოს 1 სმ/სეკ² აჩქარება, საჭირო გახდება სხეულზე ვიმოქმედოთ 5 დინი ძალით. მაშასადამე, F ძალა პროპორციულია (\sim) m მასისა, დაიწერება

$$F \sim m. \quad (1.4.4.9)$$

(8) და (9) დამოკიდებულებები შეთავსებული სახით შედის ნიუტონის მეორე კანონში:

$$\left. \begin{aligned} &F = ma \\ &a = \frac{F}{m} \end{aligned} \right\}, \quad (1.4.4.10)$$

სადაც F არის ძალა, დინებში, რომელიც მოქმედებს სხეულზე;

m — სხეულის მასა, გრამებში;

a — სხეულის აჩქარება, სმ/სეკ².

როგორც (10) ფორმულიდან ჩანს, დინი აერთიანებს სამ ძირითად ერთეულს:

$$\left. \begin{aligned} \text{ძალა} &= \text{მასა} \times \text{აჩქარება} = \frac{\text{მასა} \times \text{სივრცე}}{\text{დრო} \times \text{დრო}} \\ \text{ანუ ვექტორულად } \vec{F} &= m\vec{a}, \\ \text{ხოლო დინი} &= \frac{\text{გ} \times \text{სმ}}{\text{სეკ} \times \text{სეკ}} \end{aligned} \right\}. \quad (1.4.4.11)$$

როგორც ვიცით, აჩქარება ვექტორული სიდიდეა, რომელსაც აქვს რიცხვითი მნიშვნელობა (ოდენობა) და მიმართულება; ასევე, ძალაც ვექტორული სიდიდეა. (11) დამოკიდებულებები გამოსახავს, რომ ძალა ოდენობითა და მიმართულებით, ანუ სიდიდით, ტოლია მასისა და აჩქარების ნამრავლის რიცხვითი მნიშვნელობისა. მაშასადამე, ძალისა და აჩქარების მიმართულებები ერთნაირია.

3. ქმედებისა და უკუქმედების ტოლობის კანონი: ნებისმიერი ძალის მოქმედების დროს ყოველთვის წარმოიშობა მისი ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალა.

როდესაც სხეული აჩქარებით მოძრაობს, ეს იმას ნიშნავს, რომ მასზე მოქმედებს რაიმე ძალა. მაგალითად, დედამიწა, რომელიც მზის ირგვლივ გარემოიქცევა, მზისკენ მიმართულ აჩქარებით მოძრაობს; მაშასადამე, არსებობს რაიმე ძალა, რომელიც იზიდავს დედამიწას მზისკენ. ამ ძალას ვწოდებთ მიზიდულობის ძალა. (4) დამოკიდებულებაში მივიღეთ, რომ მზე იზიდავს დედამიწას ძალით, რომელიც დედამიწას ანიჭებს მზისკენ აჩქარებას $0,59 \text{ სმ/სეკ}^2$. დედამიწის მასა არის დაახლოებით $6 \cdot 10^{27}$ გრამი (1 ცხრილი). მაშასადამე, რიცხვითი სიდიდე ძალისა, რომლითაც მზე მოქმედებს დედამიწაზე, იქნება:

$$F_{\text{მზ.დ}} = m_{\text{დ.მზ}} \cdot a_{\text{დ.მზ}} = 6 \cdot 10^{27} \cdot 0,59 = 3,5 \cdot 10^{27} \text{ დინი.} \quad (1.4.4.12)$$

მეორე მხრივ, დედამიწა იზიდავს მზეს ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართულებით. იმდენად, რამდენადაც ძალები ურთიერთტოლია, მზის აჩქარება დედამიწისაკენ განპირობებული იქნება მზის მასის მხედველობაში მიღებით. რომლის სიდიდე ტოლია დაახლოებით $2 \cdot 10^{33}$ გ; მაშასადამე, მზის აჩქარება დედამიწისაკენ იქნება:

$$a_{\text{მზ.დ}} = \frac{F_{\text{მზ.დ}}}{m_{\text{მზ}}} = \frac{3,5 \cdot 10^{27}}{2 \cdot 10^{33}} = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ სმ/სეკ}^2. \quad (1.4.4.13)$$

ანალოგიურად გამოითვლება დედამიწის აჩქარების ოდენობა მთვარისაკენ. მაგალითად, როგორც ცნობილია, მთვარის მასა $m_{\text{მთ.დ}} = \frac{1}{81,5} m_{\text{დ}}$, ხოლო მთვარის აჩქარება დედამიწისადმი (7) ფორმულით $a_{\text{მთ.დ}} = 0,273 \text{ სმ/სეკ}^2$, ე. ი. ძალის ოდენობა, რომლითაც დედამიწა იზიდავს მთვარეს.

$$F_{\text{დ.მთ}} = m_{\text{მთ.დ}} \cdot a_{\text{დ.მთ}} = \frac{m_{\text{დ}}}{81,5} \cdot 0,273 \text{ დინს.}$$

მაშასადამე, ქმედებისა და უკუქმედების კანონით $m_{\text{მთ.დ}} \cdot a_{\text{დ.მთ}} = m_{\text{დ.მთ}} \cdot a_{\text{დ.მთ}}$ ე. ი. დედამიწის აჩქარება მთვარისაკენ იქნება:

$$a_{\text{დ.მთ}} = \frac{F_{\text{დ.მთ}}}{m_{\text{დ.მთ}}} = \frac{m_{\text{დ}}}{81,5 \cdot m_{\text{დ}}} \cdot 0,273 = 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ სმ/სეკ}^2. \quad (1.4.4.14)$$

როგორც ვხედავთ, მზის აჩქარება ნაკლებია, ვიდრე დედამიწისა, რადგანაც მზის მასა მეტია დედამიწის მასაზე. ასეთივე დამოკიდებულებაა დედამიწისა და მთვარეს შორისაც. როგორც შევნიშნეთ, აღნიშნული მოვლენები მათემატიკურად ასე გამოისახება:

$$\left. \begin{aligned} m_{\text{მზ}} \cdot a_{\text{მზ.დ}} &= m_{\text{დ.მზ}} \cdot a_{\text{დ.მზ}} \\ m_{\text{მთ.დ}} \cdot a_{\text{დ.მთ}} &= m_{\text{დ.მთ}} \cdot a_{\text{დ.მთ}} \end{aligned} \right\} \quad (1.4.4.15)$$

ნიუტონმა ზემოაღნიშნული აქსიომებისა და კეპლერის კანონების გამოყენებით მათემატიკურად გამოსახა იმ ძალის მოქმედების კანონი, რომელიც მართავს პლანეტების მოძრაობას. მან დაამტკიცა, რომ კეპლერის თითოეული კანონი გამოხატავს განსაკუთრებულ თვისებას ძალისას, რომელიც მართავს პლანეტების მოძრაობას. მაგალითად, კეპლერის მეორე კანონი (ფართობთა კანონი) ამტკიცებს, რომ პლანეტაზე ყოველთვის მოქმედებს მზის ცენტრისაკენ მიმართული ძალა, ე. ი. მზის მიზიდულობის ძალა. პირველი კანონი კი ამტკიცებს, რომ განხილად პლანეტაზე მოქმედი მზის მიზიდულობის ძალა უკუპროპორციულია მზის ცენტრიდან პლანეტის მანძილის კვადრატისა. აღნიშნულის საფუძველზე დავწერთ:

$$\frac{c_{\text{მზ}}}{g} = \frac{R_{\text{მზ}}^2}{d_{\text{მ.ს.გ.}}^2},$$

საიდანაც

$$c_{\text{მზ}} = g \frac{R_{\text{მზ}}^2}{d_{\text{მ.ს.გ.}}^2} \approx 981 \text{ სმ/სეკ}^2 \cdot \frac{(6400 \text{ კმ})^2}{(15000000 \text{ კმ})^2} \approx 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ სმ/სეკ}^2, \quad (1.4.4.16)$$

სადაც $c_{\text{მზ}}$ არის მზის მანძილზე აჩქარების ოდენობა;

g — დედამიწის ზედაპირზე თავისუფლად ვარდნილი სხეულის აჩქარების ოდენობა;

$d_{\text{მ.ს.გ.}}$ — ასტრონომიული ერთეული, ანუ დედამიწის საშუალო დაშორება მზიდან (უშორეს და უმცირეს მანძილთა საშუალო);

$R_{\text{მზ}}$ — დედამიწის რადიუსი.

ანალოგიურად გამოითვლება $c_{\text{მთ}}$ მთვარის მანძილზე აჩქარების ოდენობა (16) ფორმულის მიხედვით:

$$c_{\text{მთ}} = g \frac{R_{\text{მთ}}^2}{a^2} \approx 981 \cdot \frac{6400^2}{400000^2} \approx 981 \frac{1}{60^2} \approx 0,273 \text{ სმ/სეკ}^2, \quad (1.4.4.17)$$

სადაც a — დედამიწიდან მთვარემდე მანძილია.

პასუხი იგივეა, რაც (7) ფორმულით გვექონდა.

მესამე კანონი ამტკიცებს, რომ სხვადასხვა პლანეტაზე მოქმედი მზის მიზიდულობის ძალა უკუპროპორციულია მზის ცენტრიდან პლანეტებამდე მანძილების კვადრატებისა.

რაც შეეხება მიზიდულობის ძალის ბუნებას, როგორც ვნახეთ, ნიუტონმა დაამტკიცა, რომ მიზიდულობის ძალა, რომელიც მართავს პლანეტების მოძრაობას, არის იგივე სიმძიმის ძალა, რომლის გავლენით ყველა სხეული დედამიწის ზედაპირზე ეცემა.

E. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი¹

მსოფლიო მიზიდულობის კანონის უფრო ადვილად ილუსტრაციისათვის გამოვიყენებთ მოქმედებისა და რეაქციის ტოლობის პრინციპს, მხოლოდ ავწერთ ისეთ ექსპერიმენტს, რომლის შესრულება არსებული ინ-

¹ ნიუტონმა ეს კანონი აღმოაჩინა, როცა სწავლობდა დედამიწის გარშემო მთვარის გარემოქცევის საკითხს; გამოაქვეყნა 1687 წელს.

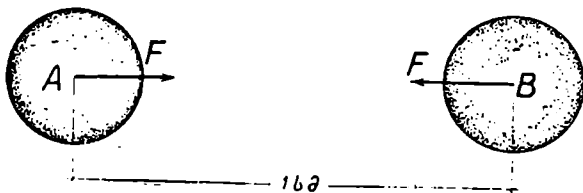
სტრუქტურებით (წარმოშობილი ძალების სიმეცირის გამო) არ შეიძლება, მაგრამ ეს აღწერილობა მაინც სასარგებლო შედეგს გამოიღებს.

თითო გრამი მასის მქონე A და B ბურთულები დაედოთ მაგიდაზე ურთიერთ ერთი სანტიმეტრის დაშორებით (ნახ. 4). ურთიერთმიზიდულობის ძალით ეს მასები ერთმანეთს იზიდავენ, ანუ მათ შორის არსებობს რაღაც მიმზიდველი ძალა. ამ ორ სხეულზე დედამიწის მიზიდულობის გავლენის მოსაზრება რომ შევძლოთ და ამით შეიძლებოდეს დაიწყოთ ამ ბურთულებმა მოძრაობა ერთმანეთისაკენ, ექსპერიმენტი გვიჩვენებდა, რომ თითოეული ბურთულა მოძრაობის მომენტიდან ერთი სეკუნდის გასვლისას შეიძენდა $6,685 \cdot 10^{-8} \approx 6,7 \cdot 10^{-8}$ სმ/სეკ სიჩქარეს. მაშასადამე, თითოეული ბურთულის აჩქარება იქნება $6,685 \cdot 10^{-8} \approx 6,7 \cdot 10^{-8}$ სმ/სეკ². ნიუტონის მეორე კანონის შესაბამისად, (10) ფორმულა: ძალა ტოლია მასისა (1 გრამი) და აჩქარების ($6,7 \cdot 10^{-8}$ სმ/სეკ²) ნამრავლისა, ამ შემთხვევაში გამოისახება ასე:

$$f = 1 \text{ გ} \times 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ სმ/სეკ}^2 = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ დინს.}$$

აგრეთვე, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ეს ძალები ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულების იქნება.

A ბურთულის მასა რომ გავზარდოთ სამ გრამამდე და B ბურთულის მასა კი დავტოვოთ 1 გრამი, მაშინ ძალა, რომლითაც A იმოქმედებს B -ზე.



ნახ. 1. 4. 4.

იქნება სამჯერ მეტი, ვიდრე პირობათა პირველი კომპლექსის დროს და აგრეთვე ძალა, რომლითაც B იმოქმედებს A -ზე, იქნება სამჯერ მეტი, ვიდრე $f = 6,7 \cdot 10^{-8}$ დინი. ახლა, თუ პირობათა კომპლექსს კიდევ შევცვლით და B -საც გავზარდოთ სამ გრამამდე, მაშინ ძალა გაიზარდება ცხრაჯერ, ვიდრე ექსპერიმენტის პირველ პირობათა კომპლექსის დროს. მაშასადამე, ორ სხეულს შორის მიზიდულობის ძალა პროპორციულია მათი მასების ნამრავლისა:

$$F \sim m_A m_B \quad (a)$$

ახლა შევცვალოთ ექსპერიმენტის პირველი პირობათა კომპლექსი იმ მხრივ, რომ A და B ბურთულები მოვათავსოთ ერთმანეთისაგან არა ერთი, არამედ ორი სანტიმეტრის მანძილზე. ვნახავთ, რომ f ძალა პირველ ექსპერიმენტთან შედარებით შემცირდება ოთხჯერ. სამ სანტიმეტრზე თუ დავაშორებთ ერთმანეთს A და B ბურთულას, მაშინ პირველი ექსპერიმენტის შედგენილ შედარებით f ძალა შემცირდება ცხრაჯერ. მაშასადამე, ორ სხე-

უღს შორის მიზიდულობის ძალა უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა:

$$F_{\text{ზ}} \sim f \frac{1}{r^2}. \quad (b)$$

მიღებული დასკვნების, ანუ a და b დამოკიდებულებების, შეთავსებით მივიღებთ:

$$F = f \frac{m_A m_B}{r^2} \text{ დინი } \left(\frac{\text{გ} \cdot \text{სმ}}{\text{სეკ}^2} \right). \quad (1.4.4.18)$$

ეს ფორმულა გამოსახავს ნიუტონის მირ აღმოჩენილ და 1687 წელს გამოქვეყნებულ მსოფლიო მიზიდულობის კანონს.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონით ხსნიან დედამიწის, სხვა პლანეტებისა და მათი თანამგზავრების მიმოქცევებს, აგრეთვე ორმაგი ვარსკვლავებისა და ორმაგი გალაქტიკების მოძრაობას. ამ კანონის გამოყენებით საზღვრავენ სხვადასხვა ასტრონომიული სხეულების მასებს და სხვა.

(18) ფორმულაში f არის მიზიდულობის მუდმივა და, როგორც ვნახეთ, დაახლოებით უდრის $6,7 \cdot 10^{-8}$ დინს, როცა $m_A = 1$ გ, $m_B = 1$ გ და $r = 1$ სმ. CGS სისტემის ერთეულებში, როგორც კოეფიციენტი, იგი $\text{სმ}^2 \cdot \text{გ}^{-1} \cdot \text{სეკ}^2$ განზომილებისაა, ე. ი.

$$f = 6,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{სმ}^2}{\text{გ} \cdot \text{სეკ}^2}.$$

მიზიდულობის f მუდმივას ოდენობა მრავალი მეცნიერის მიერ იყო განსაზღვრული (კეპლერში, ჯოლიო, რიხარდი, კრიგარ-მენცელი და სხვა).

გარდა მზის მიზიდულობის ძალისა, პლანეტების მოძრაობაზე გავლენას ახდენს თვით პლანეტების ურთიერთმიზიდულობის ძალა და ამის გამო ადგილი აქვს კეპლერის მიერ დადგენილ ორბიტებიდან პლანეტების გადახრებს, რასაც „შეშფოთებას“ უწოდებენ. დაკვირვების დროს შემჩნეულ იქნა უჩვეულო შემფოთება. ექვსი პლანეტის მოქმედებით გამოწვეული შემფოთება ურანის მიერ თავისი ორბიტიდან გადახრით ირღვეოდა და იქვს იწვევდა, რომ გარდა ექვსი პლანეტისა, უჩვეულო შემფოთების მიზეზია სხვა კოსმოსური სხეული. ამ მიზეზით ფრანგმა მათემატიკოსმა ლევერიემ თეორიულად დაასაბუთა, რომ კიდევ არსებობს მერვე პლანეტა, რომელიც იწვევს დამატებით შემფოთებას ურანისას თავისი ორბიტიდან და, მართლაც, ლევერიეს მითითების საფუძველზე გააღვე აღმოაჩინა პლანეტა, რომელსაც დაერქვა ნეფტუნო. ლევერიე იმდენად დარწმუნებული იყო თავისი გამოთვლების სისწორეში, რომ არც კი ინება ტელესკოპში ეხილა თავის მიერ აღმოჩენილი პლანეტა.

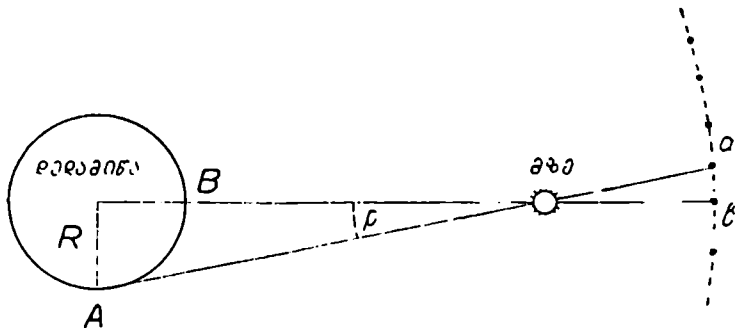
მიზიდულობის კანონის საფუძველზე ხდება მრავალი სახის წინასწარმეტყველება. მაგალითად, მზისა და მთვარის დაბნელების თარიღების დადგენა, კოსმოსური რაკეტებისა და ხელოვნური თანამგზავრების მოძრაობების საკითხების დამუშავება და სხვა (1.6 თავი).

F. მზის რჩვეული დედამიწის ნაკვეთის დაზარალების დამატებითი შედეგი

ა. პარალაქსი

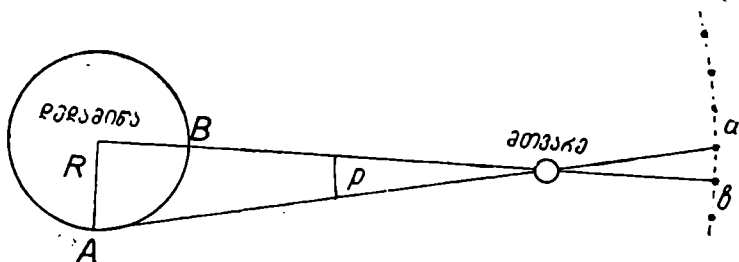
პარალაქსი ეწოდება გეგმილ ზედაპირზე წერტილის მოჩვენებითს გადაადგილებას, რომელიც გამოწვეულია დაკვირვების ადგილის გადაადგილებით.

ეს სფეროზე, როგორც გეგმილ ზედაპირზე, მზის, მთვარის ან ვარსკვლავების პარალაქსური გადაადგილება შეიძლება მივიღოთ თავისი ღერძის



ნახ. 1. 4. 4. 5.

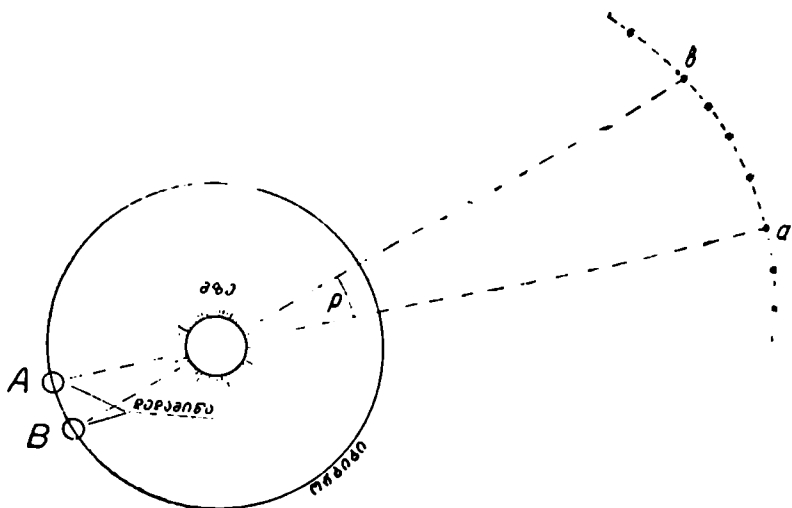
გარშემო დედამიწის ბრუნვის ან მზისადმი მისი გარემოქცევის შესაბამისად. პირველ შემთხვევაში გვექნება გეოცენტრული (დღე-ღამური), ხოლო მეორე შემთხვევაში ჰელიოცენტრული (წლიური) პარალაქსი. მაგალითად, (5 და 6) ნახაზებზე მზისა და მთვარის გეოცენტრული პარალაქსია



ნახ. 1. 4. 4. 6.

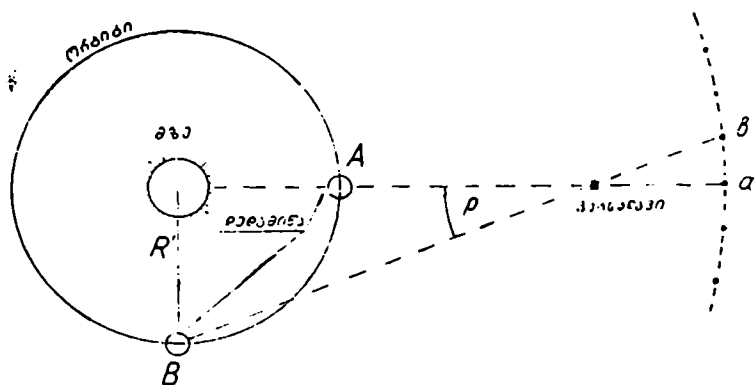
ნაჩვენები, ხოლო (7) და (8) ნახაზები მზისა და ვარსკვლავის ჰელიოცენტრულ პარალაქსს გვიჩვენებს.

პარალაქსის საზომს p კუთხე წარმოადგენს, რომლის წვერო მოთავსებულია განხილადი წერტილის (მზე, მთვარე, ვარსკვლავი) ცენტრში, ხოლო გვერდები ებჯინება დედამიწის რადიუსს (გეოცენტრული პარალაქსი, ნახ. 5 და 6)



ნახ. 1. 4. 4. 7.

ან დედამიწის ორბიტის რკალს, ან რადიუსს (ჰელიოცენტრული პარალაქსი, ნახ. 7 და 8). ρ კუთხის ოდენობა მეტად მცირეა და მისი განსაზღვრისათვის

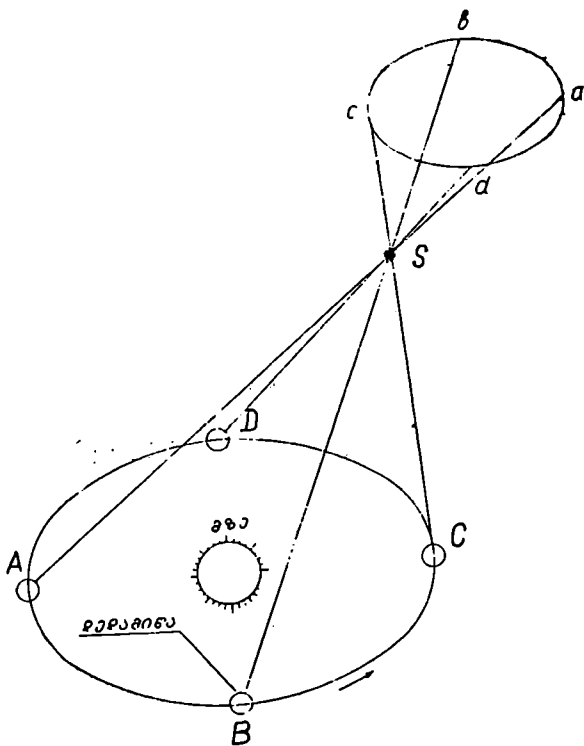


ნახ. 1. 4. 4. 8.

საკმარისა უზუსტესი გაზომვები. მას იყენებენ მნათობებამდე მანძილების განსაზღვრისათვის.

როგორც მე-7 და მე-8 ნახაზებიდან ჩანს, მზისადმი დედამიწის გარემოცევის დამადასტურებელია ჰელიოცენტრული პარალაქსი, რომელიც განპირობებულია წლის სხვადასხვა პერიოდში დედამიწის შეცვლილი მდებარეობებიდან ვარსკვლავის დამზერიით და ცის სფეროზე დაგეგმილებით. თუ ერთსა

და იმავე S ვარსკვლავს დაახლოებით თანაბრად გაყოფილი წლის ოთხ-პერიოდში, ანუ ორბიტის ოთხი A, B, C, D წერტილიდან დავემზინებთ სამზერ მილს, ცის სფეროზე მივიღებთ პელიოცენტრულ (წლიურ) a, b, c, d ელიფსს (ნახ. 9), რითაც სრულიად დასტურდება ერთი წლის განმავლობაში დედამიწის მზისადმი სრული გარემოქცევის ფაქტი.



ნახ. 1. 4. 4. 9.

ბ. სინათლის აბერაცია

სინათლის აბერაციის დასახასიათებლად მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ ის გარემოება, რომ სინათლე ვრცელდება სასრული სიჩქარით, მისი შემადგენელი ენერჯიის — ფოტონების გავრცელების შესაბამისად, რაც სრულიად ანალოგიურია წვიმის წვეთების გავრცელებისა. მაგალითად, როდესაც ძლიერ წვიმს და აღამიანი გაჩერებულია, მას ქოლგა შევეულად უჭირავს, ხოლო თუ ის ამოძრავდა, ქოლგას ხრის მოძრაობის მიმართულებით, რადგანაც მას ეჩვენება, რომ წვიმა მოდის არა შევეულად, რასაც სინამდვი-

ლემი აქვს ადგილი, არამედ დახრილად. წვიმის წვეთების ასეთ მოჩვენებით გადახრას წვიმის აბერაცია ეწოდება (ნახ. 10).

ზემოთ აღწერილის ანალოგიურად, სინათლის აბერაციას უწოდებენ ეკლიპტიკის პოლუსების ახლო ვარსკვლავების მიერ გამოფრქვეული სხივების მოჩვენებითს გადახრას დამკვირვებლის მიმართ, რომელიც მოძრავე დედამიწიდან ასტრონომიულ კოგრის უმიზნებს აღნიშნულ ვარსკვლავებს. დადგენილია, რომ აბერაციულ ეფექტს მაშინ აქვს ადგილი, როცა მოძრაობა მზერის სხივის მართობულია. მაშასადამე, საქმე გვექნება დედამიწის ბრუნვით გამოწვეულ ვარსკვლავების გეოცენტრულ (დღე-ღამურ) და დედამიწის გარემოქცევით გამოწვეულ ჰელიოცენტრულ (წლიურ) აბერაციასთან. მაგალითად, ეკლიპტიკის პოლუსების მახლობელი ვარსკვლავიდან დედამიწისადმი მართობული სხივები მიემართება ისევე, როგორც წვიმის წვეთები (მათზე რეფრაქცია არ მოქმედებს, რადგანაც სხივები ჰაერის ფენების მართობულია): დედამიწიდან

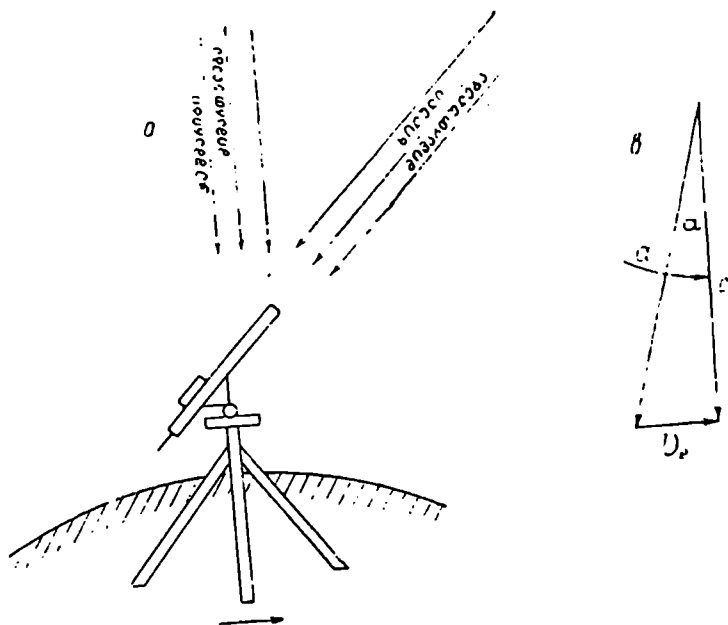


ნახ. 1. 4. 4. 10.

აღნიშნულ ვარსკვლავზე დამზერისას, რადგანაც დედამიწა და, მაშასადამე, დამკვირვებელიც მზისადმი გარემოქცევით მოძრაობს, ჰელიოცენტრული აბერაციის გამო საჭირო გახდება კოგრის ოდნავ დახრა. თუ ასე მოვიქცევით, ვარსკვლავიდან წამოსული სხივი ჩვენს თვალში მისვლამდე არ შთაინთქმება კოგრის გვერდების მიერ და დაეცემა ჩვენს თვალს (ნახ. 11).

დედამიწა რომ ეკლიპტიკის პოლუსების ახლო მდებარე ვარსკვლავის მიმართ სულ ერთი და იმავე მიმართულებით მოძრაობდეს (ე. ი. მზისადმი რომ არ გარემოიქცეოდეს), დამკვირვებელი ვერასდროს ვერ აღმოაჩენდა ვარსკვლავის აბერაციულ გადაადგილებას, რადგანაც მისთვის მუდამ უცნობი იქნებოდა ვარსკვლავზე ჰეშმარტი მიმართულება. მაგრამ იმის გამო, რომ დედამიწა მზისადმი გარემოიქცევა, ნახევარი წლის შემდეგ დედამიწა დაიწყებს შებრუნებით მოძრაობას, რის მიზნით (ნახ. 11^a) ვარსკვლავისადმი ჰოგრის დახრაც უნდა შეიცვალოს საწინააღმდეგოდ. მაშასადამე, ნახევარი წლის პერიოდის დასაწყისისა და ბოლოს შესაბამის მიმართულებებს შორის გაზომილი სხვაობა იქნება 2x კოგრის დახრის x კუთხის სიდიდე გამოიყენება ვარსკვლავის ჰეშმარტი მდებარეობის დასადგენად. ცის სფეროზე, x კუთხეს უწოდებენ აბერაციის მუდმივას და დადგენილია, რომ

$$\alpha = 20'' , 48 = 0'' , 00569.$$



ნახ. 1. 4. 4. 11.

სინათლის $v = 3 \cdot 10^8$ კმ/სეკ სიჩქარითა და a კუთხის საშუალებით შეგვიძლია გამოვთვალოთ როგორც დედამიწის მოქცევითი v_e სიჩქარე, ასევე d ასტრონომიული ერთეული, ანუ დედამიწიდან მზემდე საშუალო მანძილი წლის განმავლობაში. მართლაც (ნახ. 11^ბ),

$$\frac{a^\circ}{360^\circ} = \frac{0,00569}{360^\circ} = \frac{v_e}{2\pi b}$$

საიდანაც

$$v_e = \frac{0,00569}{360^\circ} \cdot 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8,$$

ანუ

$$v_e = 30 \text{ კმ/სეკ.}$$

ორბიტის სიგრძე (მცირედი შეცდომის დაშვებით მას ვიღებთ წრეხაზად)

$$2\pi d = \text{სიჩქარე} \times \text{დროზე} = v_e \times t = 30 \times 3,2 \cdot 10^7,$$

საიდანაც ასტრონომიული ერთეული $d = 1,5 \cdot 10^8$ კმ.

დაკვირვებით შემჩნეულია, რომ ეკლიპტიკის პოლუსზე მდებარე ვარსკვლავი ყოველწლიურად ცის სფეროზე აღწერს უცირვო წრეხაზს $2a$ -ს შესაბამისი დიამეტრით, რადგანაც ამ ვარსკვლავიდან წამოსული სხივები მუდამ მართობა დედამიწის მოძრაობისა, ხოლო ეკლიპტიკის სიბრტყეში მდებარე

ვარსკვლავი კი ცის სფეროზე აღწერს 2α -ს შესაბამის წინ და უკან რხევად რკალებს, ხოლო, შუალედი, ანუ პოლუსსა და ეკლიპტიკას შორის მდებარე, ვარსკვლავები აღწერს ცის სფეროზე მცირე ელიფსებს, რომელთა დიდი ღერძი ტოლი იქნება 2α -ს შესაბამისი რკალებისა.

რაც შეეხება ვარსკვლავების გეოცენტრულ (დღე-ღამურ) აბერაციას, რომელიც გამოწვეულია დედამიწის ბრუნვით, იგი მცირეა, რომლის მაქსიმალურ და მინიმალურ ოდენობას შორის ამპლიტუდა ეკვატორზე აღწევს დაახლოებით $0",4$.

1.4.5. სინათლის თვისებები

სინათლე და რადიოტალღები წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ველის განივ რხევას. განივი ტალღების შესახებ ნათელ წარმოდგენას მოგვცემს, თუ მყარ სავანზე მობმული ზონარის მეორე ბოლოს ხელით მაგრად ზემო-ქვემოთ რამდენიმეჯერ ვამოძრავებთ (ნახ. 1). ენახეთ, რომ ზონარში გაიარბენს რიგი



ნახ. 1.4 5.1.

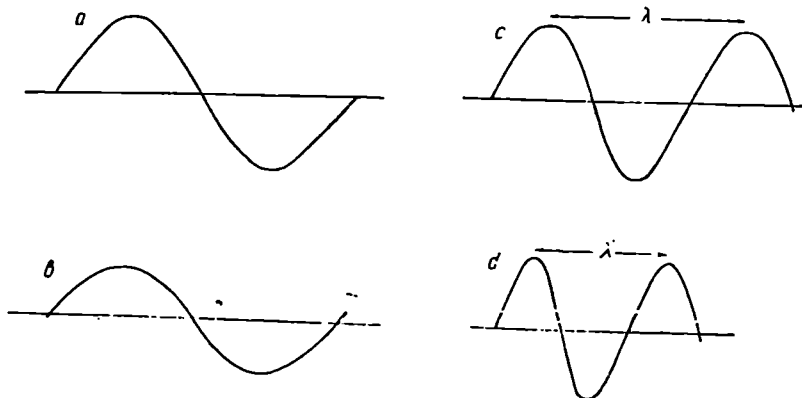
ტალღებისა და მისი თითოეული წერტილი მონაწილეობას მიიღებს თარახული მიმართულებისადმი მართობ ზემო-ქვემოთ რხევითს მოძრაობაში. ასეთი განივი ტალღები გავრცელდება ზონარის გასწვრივ. სინათლე შედგება ასეთი ტალღებისაგან.

ტალღები ურთიერთ განსხვავდება ამპლიტუდითა და სიგრძით. ამპლიტუდა არის სინათლის ინტენსიურობის საზომი. მაგალითად (ნახ. 2), მეტი ამპლიტუდის a ტალღა უფრო ნათელია, ვიდრე ნაკლები ამპლიტუდის b ტალღა. ტალღის სიგრძე λ არის გადახრის ორ თანმიმდევარ მაქსიმუმსა ან მინიმუმს შორის მანძილი, მაგალითად (ნახ. 2), ტალღის სიგრძე c მეტია, ვიდრე d . უმოკლესი ტალღის სინათლე იძლევა იისფერი სხივის შეგრძნებას, ხოლო უდიდესი სიგრძის ტალღები გვევლინება წითლად. თვალის მგრძნობიარეა ტალღის სიგრძის მხოლოდ მცირე დიაპაზონის ფარგლებში. მაგალითად, იგი უნარიანია გაარჩიოს იისფერ მხარეში $4 \cdot 10^{-5}$ სმ და წითელ მხარეში კი $7 \cdot 10^{-5}$ სმ, მაგრამ ლაბორატორიული ცდებით დადგენილი იყო, რომ მთელი დიაპაზონი როგორც ხილული, ისე უხილავი სინათლისა, ანუ ელექტრომაგნიტური რადიაციისა, ვრცელდება როგორც ძლიერ მცირე სიგრძის ტალღებზე, როგორცაა გამახსივები, ისე ძლიერ დიდი სიგრძის (რამდენიმე კილომეტრი) რადიოტალღებზე.

ხილული სინათლის ტალღების სიგრძე მეტად მცირეა, ამიტომ მათი ოდენობის გამოსახვისათვის იყენებენ სანტიმეტრზე გაცილებით ნაკლები ოდენო-

ბის ზომის ერთეულებს. ამ ერთეულს ეწოდება ანგსტრემი (\AA), რომლის ოდენობაა 10^{-8} სმ. μ მიკრონი კი ტოლია 10^{-4} სმ; მაშასადამე, $\mu=10^4 \text{\AA}$.

იისფერი სხივის ტალღის λ სიგრძეა 4000\AA , ხოლო წითლისა — დაახლოებით 7000\AA . ზონარში ტალღების გავრცელების სიჩქარე ადვილად ისა-



ნახ. 1. 4. 5. 2.

ზღვრება. ანალოგიურად ისაზღვრება სინათლის ტალღები, რომლებიც ვრცელდება არა მყის, მზარდი დიდი სიჩქარით, მაგრამ მათ აქვთ სიჩქარის სასრულო ოდენობა, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია იმ გარემოზე, რომელშიც გადის სინათლე. როგორც ვიცით, ჰაერში სინათლის სიჩქარე ცოტა ნაკლებია, ვიდრე ვაკუუმში; მინაში სინათლის სიჩქარე ვაკუუმის 2/3 შეადგენს. რამდენადაც ვარსკვლავთშორისო სივრცე ვაკუუმს წარმოადგენს, ამდენად ლაბორატორიული ცდებით განსაზღვრულ იქნა სინათლის სიჩქარე და დადგინდა, რომ

$$c = 298800 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ კმ/სეკ.}$$

სინათლის სიჩქარეზე გავლენას არ ახდენს არც სინათლის წყაროსა და არც დამკვირვებლის სიჩქარე (სინათლის ეს თვისება საფუძვლად უდევს აინშტაინის ფარდობითობის თეორიას). სინათლის ტალღის სიგრძე ცვალებადია სინათლის წყაროს ან დამკვირვებლის მოძრაობის ცვალებადობის შესაბამისად. ეს ფაქტი ცნობილია როგორც დოპლერ-ფიზიკის პრინციპი. დაეუშვათ, რომ სხივის ν წყარო, რომელიც უშვებს λ სიგრძის ტალღებს, მოძრაობს O დამკვირვებლისაკენ v სიჩქარით (ნახ. 3). მთლიანი მრუდით გამოსახულია ერთი ტალღა, რომელსაც უშვებს ν წყარო. იმის გამო, რომ სინათლის სიჩქარე არის დიდი ($c = 3 \cdot 10^8$ კმ/სეკ) და ამავე დროს ნაკლებადია, რომ სხივი მივიდეს მისი ერთი ტალღის λ მანძილზე მოთავსებული დამკვირვებლის O წერტილში, საჭირო იქნება ძლიერ

მცირე l დრო. მაგრამ მაინც ამ პროცესს დასჭირდება დროის სისრული ინტერვალი. ზემო პირობის თანახმად, ეს პერიოდი

$$t = \frac{\text{მანძილი}}{\text{სიჩქარე}} = \frac{\lambda}{c}. \quad (1.4.5.1)$$

დროის ამავე ინტერვალში s წყარო s სიჩქარით O დამკვირვებლისაკენ გაივლის

$$vt = s = \frac{\lambda}{c}$$

მანძილს და, როგორც ნახაზზე წყვეტილი მრუდი გვიჩვენებს, s წყაროს მიერ წარმოგზავნილი ტალღა მოგვეჩვენება შეკუმშული.

შეკუმშვის სიდიდე

$$\left. \begin{aligned} \Delta\lambda &= s = \frac{\lambda}{c} \\ \frac{\Delta\lambda}{\lambda} &= \frac{v}{c} \end{aligned} \right\} \quad (1.4.5.2)$$

ანუ

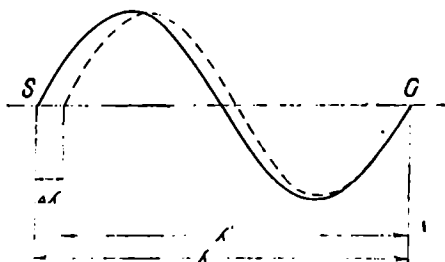
მიღებულ ტოლობას უწოდებენ ავსტრიელი ფიზიკოსის დოპლერის ფორმულას.

უძრავ მდგომარეობაში მყოფი სინათლის s წყაროს ტალღის ცნობილი λ სიგრძით შეიძლება განისაზღვროს ამ წყაროს მოძრაობის შესაბამისი ტალღის λ' სიგრძე, როცა ცნობილია s წყაროს სინათლის c და თვით s წყაროს გადაადგილების v სიჩქარე, ფორმულით

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda. \quad (1.4.5.3)$$

ანალოგიურად (2) და

(3) დამოკიდებულებებით გამოითვლება s სინათლის წყაროს v სიჩქარე, როცა ცნობილია მისი უძრაობის შესატყვისი სინათლის ტალღის λ სიგრძე და დამკვირვებლისადმი მოძრაობის შესატყვისი ტალღის λ' სიგრძე (c მუდამ ცნობილია). როგორც (3) ნახაზიდან ჩანს, სინათლის s წყაროს O დამკვირვებლისადმი მიახლოებით სინათლის ტალღის სიგრძე მცირდება და როცა იგი შორდება დამკვირვებელს, ტალღის სიგრძე იზრდება. მაშასადამე, სინათლის ტალღის სიგრძის სპექტრის იისფერ ნახარეზე გადანაცვლება შეესაბამება s წყაროს O დამკვირვებლისადმი მოახლოების სიჩქარეს, ხოლო წითელ მხარეზე — შესაბამისი იქნება s წყაროს O დამკვირვებლიდან დაშორების სიჩქარისა. დოპლერის ეფექტი არ ასხვავებს s წყარო იქნება მოძრაობაში თუ O დამკვირვებელი; ზემოხსენებული ფორმულები ერთნაირად გამოსადეგია. მაშასადამე, (2) ფორმულა გამოიყენება იმ შემთხვევაშიც, როცა ნაცვლად s სინათლის წყაროსა მოძრაობს O დამკვირვებელი ან კიდევ თანადროულად მოძრაობს როგორც დამკვირვებელი, ისე სინათლის წყარო.

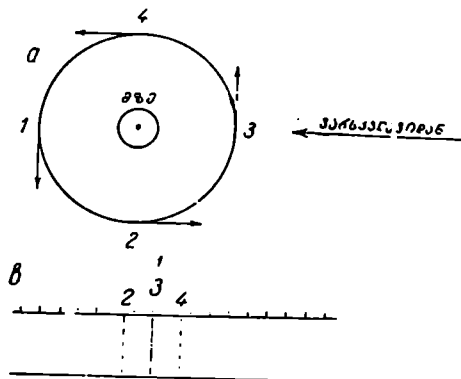


ნახ. 1.4.5.3.

1.4.6. ასტრონომიული ერთეულის განსაზღვრა ლოპლერის ფორმულით

ვთქვათ, რომ უძრავი ვარსკვლავი იმყოფება მზისადმი დედამიწის გარე-
პოქცევის ორბიტის სიბრტყეში (ნახ. 1).

ეს ვარსკვლავი თავისი ატმოსფეროს მოლეკულებისა და ატომების შე-
საბამისად აფრქვევს გარკვეული სიგრძის სინათლის ტალღებს. ამ ტალღების



ნახ. 1. 4. 6. 1.

სიგრძეს ზომავენ და გამო-
სახავენ რაიმე სკალაზე ვერ-
ტიკალური ხაზების საშუა-
ლებით ისე, როგორც ეს
ნაჩვენებია (1^o) ნახაზზე.
ასეთ გაზომვებს თუ ვაწარ-
მოებთ დედამიწაზე განუ-
წყვეტლივ მთელი წლის გან-
მავლობაში, შეიმჩნევა ტალ-
ღის სიგრძეების პერიოდუ-
ლად გადაადგილება. მაგა-
ლითად, 1 მდებარეობა შე-
ესაბამება იმ შემთხვევას, რო-
ცა დედამიწა მოძრაობს
ვარსკვლავიდან წარმოგზავ-
ნილი სხივის მართობულად,
ანუ როცა მათი ფარდობი-

თა სიჩქარე ნულია. განაგრძობს რა დედამიწა მზისადმი გარემოქცევას, უახ-
ლოვდება ვარსკვლავს, რის გამო სხივის ტალღა მოკლდება და გადაიხრება
იისფერ მხარეზე (2 მდებარეობა). შემდეგ 3 მდებარეობა ისევე 1 მდებარეობა-
ში დაბრუნების შესაბამისია; ბოლოს დედამიწის ვარსკვლავიდან დაშორების
გაზრდის შესაბამისად, სხივები გადაადგილდება წითელ მხარეზე და მიაღწევს
თავის ულიდეს გადაადგილებას, როცა ვარსკვლავიდან დედამიწის დაშორების
სიჩქარე იქნება მაქსიმუმი (4 მდებარეობა). შემდეგ კი ისევ თავის 1 მდებარე-
ობას დაუბრუნდება. აღნიშნული გაზომვების შედეგად განსაზღვრეს, რომ
2 მდებარეობის დროს $\lambda = 5153,6 \text{ \AA}$, ხოლო ხაზის გადაადგილება, ანუ შეკუ-
მშვის სიდიდე, $\Delta\lambda = 0,51 \text{ \AA}$. მაშასადამე, დედამიწის სიჩქარე ლოპლერის (2)
ფორმულით

$$v_{\text{ლ}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{0,51}{5154} \cdot 3 \cdot 10^8 = 30 \text{ კმ/სეკ.} \quad (1.4.6.1)$$

ამის შემდეგ შეგვიძლია გავიგოთ წელიწადში ($365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,15 \times 10^7$ სეკ.) დედამიწის მიერ განვლილი მანძილი, ანუ ორბიტის სიგრძე =
= სიჩქარე \times დროზე = $30 \text{ კმ/სეკ} \times 3,15 \cdot 10^7 = 9,4 \cdot 10^8 \text{ კმ}$.

თუ დავუშვებთ, რომ დედამიწის ორბიტა არის წრეხაზი და ამავე დროს
მასზე თანაბრად გადაადგილდება დედამიწა, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\text{ორბიტის სიგრძე} = 2\pi d \text{ ასტრ. ერთ}^{\circ}$$

ანუ

$$9,4 \cdot 10^8 \text{ კმ} = 6,28 d \text{ ასტრ. ერთ.}$$

მაშასადამე, ასტრონომიული ერთეული უდრის

$$1,5 \cdot 10^8 \text{ კმ.}$$

(1.4.6 2)

ვარსკვლავი რომ მოძრაობდეს მიზნების ხაზის მიმართულებით, (¹) ნახაზი მხოლოდ მთლიანად გადაადკიდდება, ე. ი. შედეგი იგივე იქნება. აქ აღწერილი წესით სწორ პასუხს ვიგებთ იმ შემთხვევაში, როცა ვარსკვლავი ორბიტის სიბრტყეში იმყოფება. პოლუსის ახლო ვარსკვლავების საშუალებით მიზანს ვერ მივალწევთ, რადგანაც ვარსკვლავების მიმართ დედამიწა მზისადმი გარემოქცევის პერიოდში უცვლელ მანქილზეა, ხოლო დანარჩენი ვარსკვლავებისათვის, ანუ როცა ვიყენებთ შუალედ სივრცეებში არსებულ ვარსკვლავებს, დობლერის ფორმულაში შეტანილი უნდა იქნეს შესწორება ეკლიპტიკის სიბრტყისაგან ვარსკვლავების ამოღებისათვის, რადგანაც ეს ვარსკვლავები ვერ ავლენს სინათლის სხივის სიჩქარის ამპლიტუდის პერიოდულ ცვალებადობას ისე, როგორც ეკლიპტიკაზე არსებული ვარსკვლავები.

1.4.7. ნიუტონის მემანიქისა, მსოფლიო მიზიდულობის კანონისა და აინშტაინის ეკვივალენტურობის პრინციპის შესახებ

აინშტაინის ფარდობითობის თეორიის გაგებისათვის პირველი ნაბიჯია ნიუტონის მექანიკაში მოძრაობის ცნების ზუსტი წარმოდგენა. ნიუტონის აზრით, დიდი მასების მქონე სხეულების მოძრაობების ტრაექტორია შეიძლება ავწეროთ წმინდა გეომეტრიულად. ვთქვათ, ჭურვი გავისროლოთ იმ დროს, როცა ძლიერი ქარი ქრის გასროლის მიმართულების მართობულად, ვნახაეთ, რომ ქარის ძალის გამო ჭურვი გადაიხრება საწყისი მიმართულებიდან ქარის მიმართულებით, ე. ი. ჭურვი მიიღებს აჩქარებას. რაც უფრო მძიმე (მასიური) იქნება ჭურვი, მით ნაკლები იქნება ქარის გავლენა, ანუ აჩქარება. შეიძლება მივალწვიოთ ჭურვის მასის ისეთ ოდენობას, რომ ქარის ძალამ მის მიმართულებაზე ვერ მოახდინოს გავლენა და ჭურვის აჩქარებას ადგილი არ ექნება. მაშასადამე, უსასრულოდ დიდი ოდენობის მასის, ანუ უსასრულოდ მცირე გარეშე მოქმედი ძალის (ქარის), შემთხვევაში აჩქარება იქნება ნულის ტოლი და მასა (ჭურვი) იმოძრაეებს თანაბრად, ანუ მუდმივი სიჩქარით და მუდმივი მიმართულებით, რის მიზეზითაც მატერიის ამ თვისებას ეწოდა ინერცია. რადგანაც ყველა სხეული ფლობს რაღაც ინერციას, ისინი მისწრაფებიან თანაბრად იმოძრაონ, მაგრამ მათი მასები არ შეიძლება იყოს უსასრულოდ დიდი და ამიტომ მათზე მოქმედი ნებისმიერი გარეშე ძალა იწვევს აჩქარებას და ამიტომ ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, რაც დიდია F გარეშე ძალა, მით მეტია a აჩქარება, ხოლო რაც დიდია m მასა, მით ნაკლები იქნება a აჩქარება, ე. ი. მართებულია (1.4.4.10) ტოლობა:

$$a = \frac{F}{m}.$$

როგორც ვხედავთ, ნებისმიერი სხეულის მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ინერციული და დინამიკური კომპონენტების

¹ რადიოლოკაციური გაზომვების საუქმველზე საერთაშორისო ასტრონომიულმა კავშირებმა 1963 წელს ასტრონომიულ ერთეულად მიიღო $1,496 \cdot 10^8$ კმ = 149,6 მილიონი კმ.

ერთობლიობა. ინერციული კომპონენტი ახასიათებს უსასრულოდ დიდი მასის მქონე სხეულებს, ანუ იგი საწყისი (გასროლის) ძალის გამო თანაბარ მოძრაობას წარმოადგენს; დინამიკური კომპონენტია შეცვლილი საწყისი სიჩქარე. რომელიც მიზეზია არასაწყისი ძალის ქმედებისა (ქარი). დედამიწის ზედაპირზე გასროლილი ჭურვის გადახრა მაშინაც ხდება, როცა ქარი არ ქრის. მაშასადამე, ჭურვზე არავითარი გარეშე გადამხრელი ძალა არ მოქმედებს და ეს მოვლენა ახსნილ იქნა (1.4.1) პარაგრაფში დედამიწის ბრუნვით თავისი ღერძის გარშემო. დედამიწაზე, რომ ვაწარმოთ გაზომვები, მოძრაობის ინერციული კომპონენტი სწორხაზოვანი არ იქნება. მტკიცება იმისა, რომ ინერციული კომპონენტი სწორხაზოვანია, უმართებულოა მანამ, სანამ განხილავთ მოძრაობა არ იქნება შედარებული კოორდინატთა გარკვეულ სისტემასთან. დედამიწის მიმართ მოძრაობის ინერციული კომპონენტი არ არის სწორხაზოვანი. კოორდინატების ათვლის იმ სისტემას, რომლის მიმართ მოძრაობის ინერციულ კომპონენტს აქვს თანაბარი და სწორხაზოვანი მიმართულება, ეწოდება ინერციული სისტემა. ამ სისტემაში ქანქარა ირხევა გარკვეულ ფიქსირებულ სიბრტყეში და შესრულდება ნიუტონის მძებ და დგენილი მოქრათობის კანონები.

როდესაც სხეულების მოძრაობა იზომება არაინერციულ (მაგალითად დედამიწასთან დაკავშირებულ) სისტემაში, მაშინ მოძრაობის ინერციული კომპონენტები აღმოჩნდება არათანაბარი და ზოგჯერ წარმოიშობა ფსევდო (ცრუ) ძალა, რომელიც იწვევს შენიშნულ აჩქარებებს (გადახრებს). ასე, მაგალითად, როგორც ცნობილია (1.4.1. პარაგრაფი), ჭურვის გადახრის მიზეზია დედამიწის ბრუნვითი მოძრაობა, ხოლო ამბობენ თითქოს ჭურვის გადახრის მიზეზია მასზე კოროლისის ძალის მოქმედება (ფრანგი მეცნიერის სახელობის ძალა). ნათელია, რომ ჭურვის საწყისი მოძრაობიდან გადახრისათვის რაიმე რეალური ძალა საჭირო არ არის: უბრალოდ, აქ გადახრა განპირობებულია იმით, რომ დედამიწა არ წარმოადგენს ათვლის ინერციულ სისტემას (ეკვატორზე არსებულ პოლიგონზე დგომისას თვით მიეყვებით დედამიწის ჩქარ ბრუნვას ნელა მბრუნავ ჩრდილოეთ პარალელზე არსებულ სამიზნესთან შედარებით).

ვარდნილი სხეულების შემთხვევაში წარმოიშობა ახალი ამოცანა. ამ შემთხვევაში მოძრაობა ინერციულ და დინამიკურ კომპონენტებად არ დაიშლება. აქ ადგილი ექნება მხოლოდ ინერციულ კომპონენტს, რადგანაც როგორც დიდი, ისე მცირე მასის მქონე სხეული ერთნაირი აჩქარებით ვარდება. ეს მოვლენა პირველად გალილეიმ დაადგინა იმით, რომ მან პიზანის კოშკიდან თანადროულად გადმოავდო ხისა და რკინის ერთნაირი ზომის სფეროები; რომლებიც თანადროულადვე დაეცნენ მიწაზე.

ნიუტონმა ზემოთ აღწერილი ახსნა იმაზე დაყრდნობით, რომ მიზიდულობის ძალა პროპორციულია მიზიდული სხეულის მასისა, ანუ რაც მეტია სხეულის მასა, მით მეტი ძალა იმოქმედებს მასზე. ნიუტონის მეორე კანონის შესაბამის (1.4.4.10) ფორმულაში F ძალა პროპორციულია m მასისა, ე. ი. მკიცხველში და მნიშვნელში m მასა იკვეცება. მაშასადამე, ვარდნილი სხეულის აჩქარება არაა დამოკიდებული მის მასაზე. ზემოხსენებულის შედეგად შეიძლება დაეასკვნათ, რომ მიზიდულობის ველში მყოფი მასა იქცევა ისე, თითქოს მასზედ არ მოქმედებდეს რაიმე გარეშე ძალა, მაგრამ იგი ფლობს ინერციას, ხოლო რამდენადაც გას-

როლილი კურვი (მასა) ვერ ინარჩუნებს თანაბარ და სწორხაზოვან მიმართულებას და პარაბოლის ტრაექტორიით ეცემა მიწაზე, ვიტყვით, რომ სხეული იქცევა ისე, როგორც სხეული, მორჩილი ინერციის კანონისა ა რ ა ი ნ ე რ - ც ი უ ლ ი ს ი ს ტ ე მ ი ს მ ი მ ა რ თ. საერთოდ უნდა შევნიშნოთ, რომ დედამიწის პირობებში ინერციის კანონი პრაქტიკულად არასდროს არ სრულდება ზუსტად მის შესაბამისად, რადგანაც დედამიწაზე მოძრავი ნებისმიერი სხეული ურთიერთგავლენაშია სხვა რაიმე სხეულთან, მაგალითად, იგი განიცდის წინააღმდეგობას პაერისაგან, წყლისაგან, ხაუნისა ან მიზიდულობისაგან და სხვა. კოსმოსში მოძრაობა მხოლოდ და მხოლოდ განიცდის შედარებით მცირე წინააღმდეგობას მიზიდულობისაგან, როცა მოძრაობა რაიმე ციური ორბიტის ახლო ხდება.

ვთქვათ, გალაქტიკაში დედამიწა არის არამბრუნავი სტაციონარული სხეული. უსასრულო დიდი მასის მქონე გასროლილ კურვზე რომ სხვა რაიმე ძალამ არ იმოქმედოს, იგი სულ იმოძრაეებს სწორხაზოვნად და თანაბრად, მაგრამ ს ი მ მ ი მ ი ს ძ ა ლ ი ს ა ჩ ქ ა რ ე ბ ა, რომელსაც სიმარტივისათვის მთელი დედამიწის ზედაპირისათვის მუდმივად ვგულისხმობთ, კურვს, მიუხედავად მისი მასისა, აიძულებს იმოძრაოს პ ა რ ა ბ ო ლ ი ს ტ რ ა ე ქ ტ ო რ ი ი თ - ნ ი უ ტ ო ნ მ ა ეს მოვლენა განმარტა როგორც 'შედევნი მიზიდულობის ძალის ზემოქმედებისა, რომელიც პროპორციულია სხეულის მასისა და მქონის აჩქარებას, რომელიც არ არის დამოკიდებული მასაზე.

აინშტაინმა 1912 წელს გვიჩვენა, რომ სიმძიმის ძალის აჩქარება განხილავი ვარდნილი სხეულების მიმართ შეიძლება განვმარტოთ როგორც შედეგი ათვლის სისტემის ზემოთ მიმართული აჩქარებისა, ე. ი. ანათვლის სისტემა მოძრაავია. სხეულის მოძრაობის ინერციული კომპონენტი, რომელიც დაკავშირებულია კ ე შ მ ა რ ი ტ ი ნ ე რ ც ი უ ლ ს ი ს ტ ე მ ა ს თ ა ნ, მოძრაე სისტემასთან შედარებისას გვეჩვენება ქვევით მიმართულ აჩქარებულ მოძრაობად. ათვლის ამ მოძრაევი სისტემის მიმართ გვეჩვენება, რომ სხეული მიწაზე ვარდება აჩქარებით, რომელიც არ არის დამოკიდებული მის მასაზე. ესაა აინშტაინის ეკვივალენტურობის პრინციპი. ამ პრინციპით ვარდნილი სხეულების მოძრაობის ორივე ზემოხსენებული გაგება ერთნაირად გამოიყენება დანაკვირვებთა ასახსნელად.

დედამიწის მოძრაობებით გამოწვეული მოვლენები

თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ დღედამური ბრუნვის შედეგად გ ვ ე ჩ ვ ე ნ ე ბ ა, რომ ციური სხეულები იმავე პერიოდით ბრუნავენ აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ. ამიტომ ციური სხეულების ხილულ (მოჩენებით) მოძრაობას უწოდებენ დ ლ ე დ ა მ უ რ მ ო ძ რ ა ო ბ ა ს.

დედამიწის მეორე სახის მოძრაობის პერიოდს ერთი წელია და იგი გვევლინება მზის ირგვლივ ელიფსურ ორბიტაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ა რ ა თ ა ნ ა ბ ა რ ი გარემოქცევითი მოძრაობის სახით. ამ ელიფსის ერთ-ერთ ფოკუსში მზე იმყოფება. დედამიწიდან დამკვირვებელს კი ეჩვენება, რომ თვით მზე მოძრაობს ვარსკვლავების მიმართ დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით დედამიწის ორბიტის სიბრტყის ცის სფეროსთან გადაკვეთით მიღებულ წრეხაზზე, რასაც ეკლიპტიკა ეწოდება.

დედამიწის ღერძი ორბიტის სიბრტყესთან ადგენს $66^{\circ} 33' \approx 66\frac{1}{2}^{\circ}$ კუთხეს; მაშასადამე, თვით ორბიტის სიბრტყე დედამიწის ეკვატორის სიბრტყესთან დახრილია $23^{\circ} 27' \approx 23\frac{1}{2}^{\circ}$. ცხალა, ეკლიპტიკის სიბრტყესაც იგივე დახრა ექნება ცის ეკვატორის სიბრტყესთან.

როგორც ვხედავთ, მოჩვენებით აღმოსავლეთისაკენ მიმართული ნელი, არათანაბარი, გადატანითი მოძრაობა მზისა შეთავსებულია აღმოსავლეთისაკენ მიმართულ მისივე უფრო ჩქარ ბრუნვითს მოძრაობასთან. მზესთან შედარებით დედამიწიდან უაღრესად სიშორის ვაშო ვარსკვლავები აღმოსავლეთისაკენ მოჩვენებით გადატანითს მოძრაობებში მონაწილეობას არ იღებენ. აქ განიხილება მხოლოდ მზისადმი დედამიწის მოძრაობისა და მასთან დაკავშირებული ფაქტების საკითხები.

ზემოხსენებული ორი სახის მოჩვენებითი მოძრაობის შესაბამისად ცის სფეროზე მზე შემოწერს ორ წრეხაზს: ერთს ყოველ დღე-ღამეში (მზისმიერი დღედამური პარალელები), რომლის მდებარეობა ცის სფეროზე წლის განმავლობაში ცვალებადია (ყოველი ვარსკვლავის დღედამური პარალელი კი უცვლელია); მეორე წრეხაზს შემოწერს ყოველ წელს (ეკლიპტიკა), რომლის მდებარეობა ცის სფეროზე თითქმის უცვლელია (ვარსკვლავებს ასეთი გზა არა აქვთ) და ეს წრეხაზი გაივლის უძრავ ვარსკვლავებით მოქედელ ცაზე.

1.5.1. კაშპაშაშვარსკვლავმზიანი ცის რუკა და ცხრილი.

თანავარსკვლავმდებარეობაზე გაზნება. წელიწადის ჭეშმარიტი

დროები. სინოდური და სიდერული წელიწადი.

დედამიწის არათანაბარი გარემოცვითი

მოძრაობა

A. კაშპაშვარსკვლავმზიანი ცის რუკა და ცხრილი.

თანავარსკვლავმდებარეობაზე გაზნება

პირველ თავში მოკლედ იყო დახასიათებული ვარსკვლავიერი ცა. აქ იგივე საკითხს შევხვით იმ თვალთახედვით, რომ ცის თაღზე შევძლოთ გამოცნობა დაკვირვებებისათვის საჭირო კაშპაშა ვარსკვლავებისა.

ვარსკვლავიერი ცის სურათი უწყვეტლივ იცვლება ცის სფეროს დღე-ღამური მოჩვენებითი ბრუნვისა და ასევე მზის წლიური მოჩვენებითი მოძრაობით.

დადგენილია, რომ ცის სფეროზე, რასაც მისი სრული ხილული ბრუნვის შესაბამისად ვიხილავთ, შეუთარაღებელი თვალთ შეგვიძლია დავინახოთ დაახლოებით 6000 ვარსკვლავი.

როგორც ცნობილია, ცაზე აღვიღალ ორიენტირებისათვის ვარსკვლავები დაყოფილია ჯგუფებად, რასაც თანავარსკვლავედებს უწოდებენ. აქამად განხილად ცაზე ითვლება 88 თანავარსკვლავედი, რომელთაგანაც ასტრონომიული განედების, გრძედებისა და აზიმუტების განსაზღვრების დროს იყენებენ 30 თანავარსკვლავედს. ამ თანავარსკვლავედებში შედის შედარებით უფრო კაშკაშა და დაკვირვებისათვის მოხერხებული ვარსკვლავები (ცხრილი და რუკა 1.1.1). პირველ თავში აღნიშნული იყო, რომ თანავარსკვლავედებისა და მათში შემავალი ვარსკვლავების სიკაშკაშის შესაბამისად მათ არქმევენ სახელებს.

ვარსკვლავებისა და სხვა ციური მნათობების მიერ დედამიწის ატმოსფეროს საზღვარზე შექმნილ სიკაშკაშეს არჩევენ მათი ხილული ბრწყინვალეობით, რომელიც ხასიათდება განათების ხარისხით. ბრწყინვალეობის ზომის ერთეულად მიღებულია ვარსკვლავური სიდიდე, რომელსაც აჩვეთარი კავშირი არა აქვს მნათობების ნამდვილ ზომებთან.

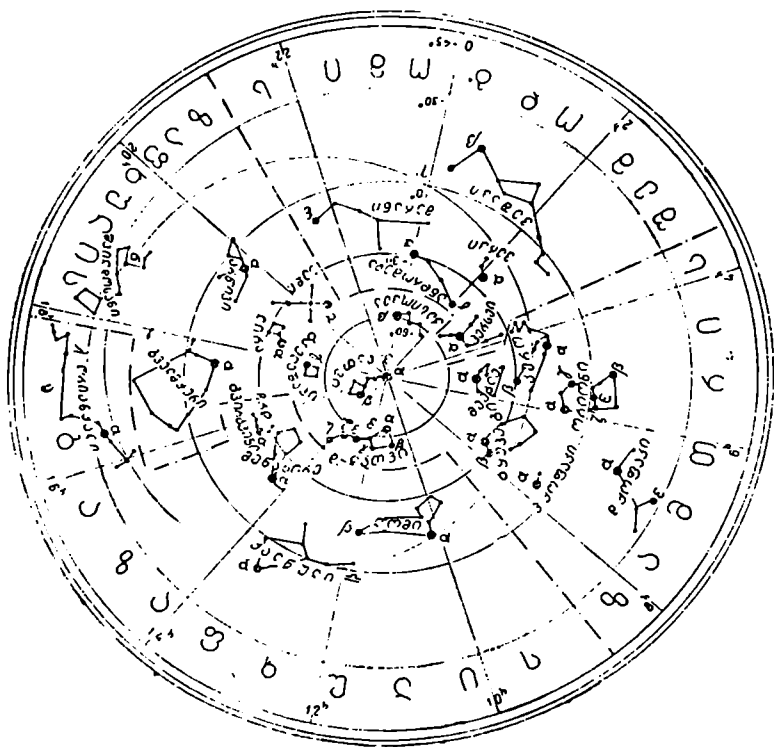
ვარსკვლავური სიდიდის მიხედვით შეუთარაღებელი თვალთ დაკვირვებისათვის გამოსადეგი ვარსკვლავები ექვს ჯგუფად არის დაყოფილი. პირველ ჯგუფში შედის ყველაზე უფრო კაშკაშა ვარსკვლავები (ასეთებია, დაახლოებით, 20) და ეწოდება პირველი სიდიდის ვარსკვლავები, ხოლო ყველაზე ნაკლები სიკაშკაშის, მაგრამ ვარგისი შეუთარაღებელი თვალთ დაკვირვებისათვის, მეექვსე ჯგუფშია შეყვანილი და ეწოდება მეექვსე სიდიდის ვარსკვლავები. $6-1=5$ ინტერვალს შეესაბამება ბრწყინვალეობის ფარდობა 100; ერთი ვარსკვლავიერი სიდიდის ინტერვალს კი შეესაბამება ფარდობა, რომელიც

ტოლია $\sqrt[5]{100} = 2,512 \approx 2,5$; ე. ი. ჯგუფებში განაწილება ხდება 2,5-ზე ჯერადობის საფუძველზე. ის ვარსკვლავები, რომელთაც აქვთ პირველი სიდიდის (პირველი ჯგუფის) ვარსკვლავების ბრწყინვალეობასთან შედარებით 2,5-ჯერ ნაკლები ბრწყინვალეობა, შედის მეორე ჯგუფში და ეწოდება მეორე სიდიდის ვარსკვლავებად. ასევე, მეორე სიდიდის ვარსკვლავებთან შედარებით 2,5-ჯერ ნაკლები ბრწყინვალეობის ვარსკვლავები მესამე სიდიდისა და ა. შ. მნათობები, რომელთაც აქვთ პირველი სიდიდის ვარსკვლავებთან შედარებით 2,5-ჯერ მეტი ბრწყინვალეობა, შეყვანილია 0 სიდიდის ჯგუფში, ე. ი. ნულთან სიდიდისა; კიდევ უფრო კაშკაშა ვარსკვლავებს აქვს უარყოფითი სიდიდე. მაგალითად, ცის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი α (ვეგა), რომელიც შედის ლირის თანავარსკვლავედში, არის 0,14 სიდიდის; დიდი ქოფაქის თანავარსკვლავედში შემავალი α (სირიუსი), რომელიც მთელი ცის სფეროზე ხასიათდება ყველაზე დიდი სიკაშკაშით, აქვს მინუს 1,58 სიდიდე; მზის სიდიდეა მინუს 26,7, სრული მთვარისა კი მინუს 12,7.

აქვეა დართული კაშკაშა ვარსკვლავების რუკა (ნახ. 1, ცხრილი 1), რომლებითაც ცის თალზე შეგვიძლია შევარჩიოთ დაკვირვებებისათვის მოხერხებული და საჭირო ვარსკვლავები. ცხრილში და რუკაზე კაშკაშა ვარსკვლავებისათვის გაგნება ხუთ ჯგუფად არის წარმოდგენილი.

1. პოლუსის ახლო თანავარსკვლავედების გაგნება

ცაზე ვარსკვლავების მოძებნა უმჯობესია დავიწყოთ პირველ რიგში დიდი დათვის თანავარსკვლავედის მოძებნით, რომელიც ყოველთვის ჩრდილოეთის მხარეს უნდა ვეძიოთ. მისი ოთხი α , ϵ , ζ და η ვარსკვლავი შედარებით კაშკაშაა (1 ცირილი); სულ კი მის ფიგურას ახსიათებს შვიდი ვარსკვლავი (α , β , γ , δ , ϵ , ζ , η). დიდი დათვის თანავარსკვლავედის მოძებნა ყოველთვის ჯობია საღამოობით, წლის ნებისმიერ დროს. კარგია გვახსოვდეს, რომ გაზაფხულზე დიდი დათვი არის ჩრდილო პოლუსის ზემოთ, თარაზულად



ნახ. 1.5.1.1.

ისე, რომ მისი კუდი აღმოსავლეთისკენაა; ზაფხულში იგი მდებარეობს პოლუსის დასავლეთით შვეულად და კუდი ზევითაა მიმართული; შემოდგომაზე — პორიზონტთანაა ახლო და კუდი დასავლეთისკენ არის მიმართული; ზამთარში — პოლუსის აღმოსავლეთით არის შვეულად. კუდით ქვევით, ჩვენ კი ყოველთვის სახით ჩრდილოეთისკენ ვართ. როგორც ვიცით, დიდი დათვის β გაგრძელებაზე α -დან β მანძილს, თუ თვალთ ხუთჯერ გადავ-

ზომავთ, მოცეხებით პატარა დათვის კაშკაშა ა ვარსკვლავს, რომელსაც პოლარული ვარსკვლავი ეწოდება. პოლარული ვარსკვლავი სამყაროს P_N პოლუსიდან, დაახლოებით, დაშორებულია $1^{\circ} 3'$. იგი ცის სფეროს ხილული ბრუნვის დროს უძრავი გვეჩვენება. პატარა დათვის თანავარსკვლავედში შედის კიდევ ერთი β კაშკაშა ვარსკვლავი, რომლიდანაც მისი ჯგუფის მეზობელ ვარსკვლავებზე გატარებული ხაზების გაგრძელებით, დაახლოებით, ერთი და იმავე მანძილზე მონიხება თანავარსკვლავედები კასიოპეა და გველეშაპი. ამით მთავრდება პოლუსის ახლო თანავარსკვლავედების ჯგუფების გაგნება, რომლებიც საბჭოთა კავშირის შესაბამის განედების მიმართ ჩაუსვლელები არიან.

2. გაზაფხულის თანავარსკვლავედების გაგნება

ა პოლარული ვარსკვლავიდან დიდი დათვის აჰ გვერდის გაგრძელებაზე თანავარსკვლავედი ლომი; ა პოლარული ვარსკვლავიდან მისი ჯგუფის (პატარა დათვის) β ვარსკვლავზე გატარებული ხაზი ჰკვეთს მენახირის თანავარსკვლავედს; ლომის β და მენახირის ა ვარსკვლავების შემაერთებელი ხაზის ქვემოთ არის ქალწულის თანავარსკვლავი; მენახირეს გვერდით იქვეა ჩრდილოეთ გვირგვინი; ა პოლარული ვარსკვლავიდან ჩრდილოეთ გვირგვინის ყველაზე ნაკლებად კაშკაშა ვარსკვლავზე გატარებული ხაზის გაგრძელება გადაკვეთს ღრიანკალს.

3. ზაფხულის თანავარსკვლავედების გაგნება

ა პოლარული ვარსკვლავიდან გველეშაპის γ ვარსკვლავზე გატარებული ხაზის გაგრძელება კვეთს გველმჭერს; ამ ხაზსა და ა პოლარული ვარსკვლავიდან კასიოპეას β ვარსკვლავზე გატარებულ ხაზს შორის არის ღირა, გედი, არწივი და შვილდოსანი.

4. შემოდგომის თანავარსკვლავედების გაგნება

ა პოლარული ვარსკვლავიდან კასიოპეას β ვარსკვლავზე გატარებული ხაზი კვეთს ჯერ ანდრომედას და შემდეგ მერანს; ა პოლარული ვარსკვლავიდან ანდრომედას γ ვარსკვლავზე გატარებული ხაზი კვეთს ჯერ ვერძს და შემდეგ ვეშაპს; ხოლო იგივე ხაზის გვერდით, ანდრომედას γ ვარსკვლავის ახლოს, არის თანავარსკვლავი პერსეი.

5. ზამთრის თანავარსკვლავედების გაგნება

ა პოლარული ვარსკვლავიდან პერსეის ა ვარსკვლავზე გატარებულ ხაზსა და ა პოლარული ვარსკვლავიდან დიდი დათვის აჰ ვარსკვლავებზე გატარებულ ხაზებს შორის არის თანავარსკვლავები: მეეტლე, კურო, ორიონი, დიდი ქოფაკი, პატარა ქოფაკი და ტყუპები.

ფუნქციონირების კოდი	თანაერსკვლავების დასახელება		ფუნქციონირების კოდი	თანაერსკვლავების დასახელება		ფუნქციონირების კოდი	თანაერსკვლავების დასახელება	
	ქართულად	რუსულად		ქართულად	რუსულად		ქართულად	რუსულად
278	α U Ma	ლოდი დათვი	1,95	Б. Медведица	592	α Per	პერანი	2,54
316	β "	"	1,68	"	2	α And	ანდრომედა	2,15
325	γ "	"	2,40	"	53	γ Per	პერსი	2,28
343	η U Mi	პატარა დათვი	1,91	М. Медведица	48	α And	ანდრომედა	1,90
360	β Cas	კასიოპეა	2,12	Кассиопеа	54	β Cen	ცენტორი	2,23
434	γ Dra	დრაკონი	2,42	Дракон	15			2,24

ბოლუხის ახლო თანაერსკვლავები

შენიღვრების თანაერსკვლავები

ფუნქციონირების კოდი	სახელი	ფუნქციონირების კოდი	სახელი	ფუნქციონირების კოდი	სახელი		
261	α Leo	ლომი	1,34	Лев	143	α Aur	აურის
294	β Boo	გუნახი	2,23	Волпас	110	α Tau	ტაურის
345	α Cr R	ხრდილოეთის ვერცხვი	0,24	Сев. Корона	149	β Ori	ორიონის
374	α Vir	ქალწული	2,31	Лева	167	γ "	
326	α Sco	ორიონის	1,21	Скорпион	142	δ "	
646	λ "	"	1,22	"	148	ε "	
674			1,71	"	167	ζ "	

გაზფხულის თანაერსკვლავები

ზამთრის თანაერსკვლავები

ფუნქციონირების კოდი	სახელი	ფუნქციონირების კოდი	სახელი	ფუნქციონირების კოდი	სახელი		
261	α Leo	ლომი	1,34	Лев	143	α Aur	აურის
294	β Boo	გუნახი	2,23	Волпас	110	α Tau	ტაურის
345	α Cr R	ხრდილოეთის ვერცხვი	0,24	Сев. Корона	149	β Ori	ორიონის
374	α Vir	ქალწული	2,31	Лева	167	γ "	
326	α Sco	ორიონის	1,21	Скорпион	142	δ "	
646	λ "	"	1,22	"	148	ε "	
674			1,71	"	167	ζ "	

ზამთრის თანაერსკვლავები

ფუნქციონირების კოდი	სახელი	ფუნქციონირების კოდი	სახელი	ფუნქციონირების კოდი	სახელი		
453	α Iir	ლირა	0,14	Лира	214	α CMi	კომპარის
506	α Cyg	ციცი	1,43	Лебиль	211	α GMi	გემის
482	α gl	არქი	0,89	Орел	215	β "	
424	α Oph	ვარსკვლავი	2,14	Змеисоци	216		
682	ε Sgr	ვარსკვლავი	2,14	Стрелец			

ბ. წელიწადის ზემოთაბიტი დროები. ხინდუური და ხილდჰალი შტრიქადი. დელამიწის არათანაბარი გარემოდში მდებარეობა

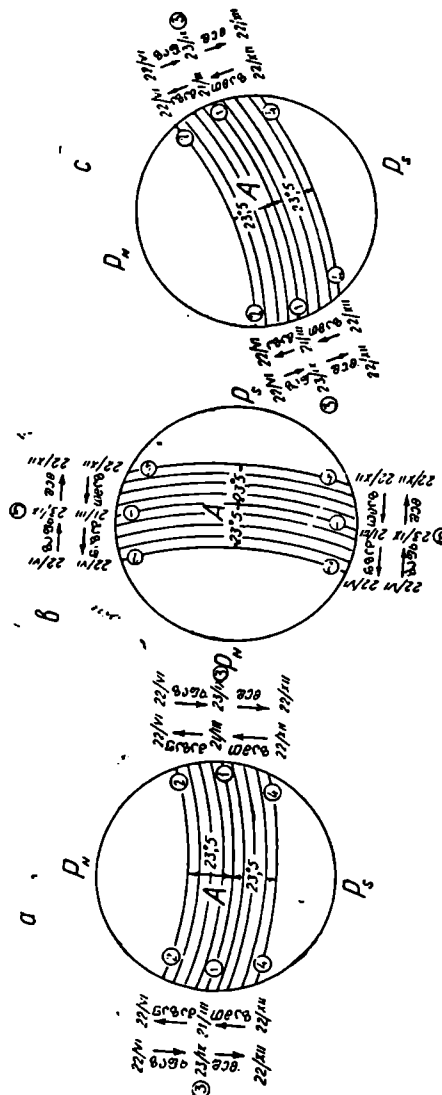
მზის ხილული დელამური ბრუნვითი მოძრაობა წლის განმავლობაში ხასიათდება პერიოდის მიმართ აღმოსავლეთის მხრიდან ამოსვლისა და დასავლეთის მხარეზე ჩასვლის წერტილების განუწყვეტელი გადაადგილებით პერიოდის როგორც ჩრდილოეთისა, ისე სამხრეთისა (თვით ეკვატორის ჩათვლით) (ნახ. 2). ამ მოვლენის მიზეზია ეკვატორის მიმართ ეკლიპტიკის დახრა $23\frac{1}{2}^{\circ}$ (ნახ. 3).

(2a, b, c) ნახაზზე ისრებით ნაჩვენებია წლის განმავლობაში მზის მოჩვენებითი დელამური მოძრაობა პოლუსზე, ეკვატორსა და საშუალო ჩრდილო განედზე მყოფი დამკვირვებლისათვის.

მზისადმი გარემოქცევის ყოველ პერიოდში (წელიწადში) დელამიწის ღერძის დახრა ორბიტის მიმართ არ იცვლება. ამავე დროს, ვინაიდან მზე იმყოფება ელიფსური ორბიტის ერთ-ერთ ფოკუსში, თანახმად კეპლერის კანონებისა, გარემოქცევის სიჩქარე ცვალებადია (1.4.4.—*ჰ* მუხლი).

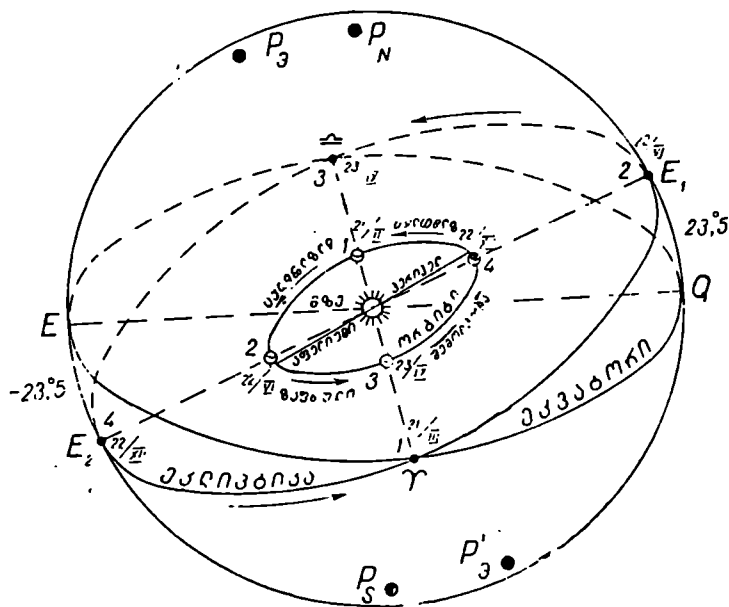
მზის ირგვლივ დელამიწის გარემოქცევის სურათი და მასთან დაკავშირებით წელიწადის დროები უნდა წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად: ვიგულისხმობთ, რომ ვდგავართ მზეზე და ვაკვირდებით დელამიწის გარემოქცევითსა და ბრუნვითს მოძრაობას (ნახ. 3).

21/III დელამიწა იმყოფება თავისი ორბიტის სი-



ნახ. 1.5.1.2.

ბრტყისა და ცის ეკვატორის სიბრტყის გადაკვეთის წერტილში (1 მდებარეობა). ამ დროს დედამიწის ბრუნვის შესაბამისად პოლუსზე სულ დღეა, ეკვატორზე და საშუალო განედზე დღე და ღამე ტოლია. ამიტომ ამ წერტილს ეწოდება გაზაფხულის დღე და მტოლობის (ბუნიობის) წერტილი. მზის პირდაპირი აღლენა (ა), დაბრლობა (ბ) ნულია (კოორდინატების მნიშვნელობას ვიხილავთ ჩრდილო ნახევარსფეროს მიმართ). დედამიწაზე მზისკენ მოქცეულ მხარეში დღეა, სოლო მის უკან — ღამე. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში იწყება გაზაფხული (ცის თალის აღმოსავლეთ მხარეზე სადამოს, სამხრეთ მხარეზე შუალამისას და დასავლეთ მხარეზე გათენებისას ჩანს გაზაფხუ-



ნახ. 1. 5. 1. 3.

ლის თანეარსკვლევედები, სხ. (1) ცბრილი და რუკა) და სამხრეთ ნახევარსფეროში კი შემოდგომა. გადაადგილდება რა დედამიწა ისრით ნახვენები მიმართულებით გაზაფხულის პერიოდში (21/IV, 21/V, 22/VI), დედამიწის ბრუნვის შესაბამისად პოლუსებზე სულ დღე იქნება, ეკვატორზე დღე და ღამე ტოლია, მხოლოდ დედამიწის გადაადგილების შესაბამისად საშუალო განედზე დღე უფრო ხანგრძლივი ხდება, ვიდრე ღამე. მზის დღეღამური პარალელები ადგილდება ჩრდილოეთისაკენ (ნახ. 2). 22/VI (2 მდებარეობა) არის ზაფხულის დასაწყისი, მზის $\alpha = 90$, $\delta = 23 \frac{1}{2}^\circ$, მზის δ დაბრლობის ოდენობა რამდენიმე დღის განმავლობაში თითქმის არ იცვლება და გვეჩვენება, რომ იგი ეკვატორის ზემოთ უძრავად დგას, რის გამო მზის ამგვარ მდებარეობას ეწოდება ზაფხულის მზებულობა. პოლუსზე სულ დღეა, ეკვატორზე დღე-

ღამე ტოლია, ხოლო საშუალო განედზე დღე უდიდესია, ღამე კი უმცირესი (ნახ. 2^ე). ამავე დროს $+66\ 1/2^\circ$ განედიდან ჩრდილო პოლუსამდე სულ დღეა, მაგრამ ვინაიდან მზის სხივები ამ სარტყელს ეცემა ირიბად, ვერ ათბობს და ამიტომ ამ სარტყელს ჩრდილო პოლარული (ცივი) სარტყელი ეწოდება. $-66\ 1/2^\circ$ განედიდან სამხრეთ პოლუსამდე სივრცეზე სულ ღამეა და ცივა, ამიტომ ამ სარტყელს სამხრეთ პოლარული (ცივი) სარტყელი ეწოდება. აგრეთვე $+33\ 1/2^\circ$ და $-33\ 1/2^\circ$ შორის სივრცეზე არის დიდი სიციხე, რადგანაც მზის სხივები თითქმის მართობულად ეცემა მას და ამიტომ ამ სივრცეს უწოდებენ ცხელ სარტყელს, ხოლო ამ სარტყელსა და პოლარულ სარტყელს შორის მოქცეულ სივრცეს ზომიერი სარტყელი ჰქვია. მაშასადამე, 22/VI ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე იწყება ზაფხული (ცის თალის აღმოსავლეთ მხარეზე საღამოს, სამხრეთ მხარეზე შუალამისას და დასავლეთ მხარეზე გათენებისას ჩანან ზაფხულის თანავარსკვლავედები, იხ. (1) ცხრილი და რუკა) და სამხრეთ ნახევარსფეროზე კი ზამთარი. გადაადგილდება რა დედამიწა ისრით ნაჩვენები მიმართულებით ზაფხულის პერიოდში (22/VII, 22/VIII, 23/IX), ბრუნვის შესაბამისად პოლუსებზე სულ დღე იქნება, ეკვატორზე კი დღე და ღამე ტოლი (მზის პირდაპირი აღვლენა იზრდება, დახრილობა მცირდება, სიმაღლე მცირდება). დღელამური პარალელები ისევე ეკვატორისაკენ ადგილდება (ნახ. 2). დედამიწის გადაადგილების მიხედვით საშუალო განედზე დღე იკლებს და ღამე მატულობს (ნახ. 2^ე). ამავე დროს ტემპერატურის სხვადასხვაობა პოლარულ, ზომიერ და ცხელ სარტყლებში ზემოთ აღწერილის შესაბამისად დატოლია. 23/IX (3 მდებარეობა) ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში იწყება შემოდგომა (ცის თალის აღმოსავლეთ მხარეზე საღამოს, სამხრეთზე შუალამისას და დასავლეთ მხარეზე გათენებისას ჩანს შემოდგომის თანავარსკვლავედები) და სამხრეთ ნახევარსფეროში გაზაფხული. დედამიწის ბრუნვის შესაბამისად ჩრდილოეთ პოლუსზე სულ დღეა, ეკვატორზე და საშუალო განედზე კი დღე და ღამე ტოლია (მზის $\alpha=180$, $\delta=0$). ამიტომ ამ წერტილს ეწოდება შემოდგომა (მზის α მ ბ ი ს (დღე და ღამე ტოლია) წერტილი). გადაადგილდება რა დედამიწა ისრით ნაჩვენები მიმართულებით შემოდგომა (მზის α მ ბ ი ს პერიოდში (23/X, 23/XI, 22/XII), ჩრდილოეთ პოლუსზე ღამეა, ეკვატორზე დღე და ღამე ტოლია, საშუალო განედზე დედამიწის გადაადგილების მიხედვით დღე იკლებს და ღამე კი მატულობს. მზის დღელამური პარალელები ადგილდება სამხრეთისაკენ (ნახ. 2), მზის პირდაპირი აღვლენა მატულობს, დახრილობა უარყოფითია და იზრდება (მზე გადის ცის სფეროს სამხრეთში), 22/XII — (4 მდებარეობა) მზის $\alpha=270^\circ$, $\delta=23\ 1/2^\circ$, მზის δ დახრილობა რამდენიმე დღე თითქმის არ იცვლება და ამიტომ მზის ამგვარ მდებარეობას უწოდებენ ზამთრის მზებუდობას. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში იწყება ზამთარი (ცის თალის აღმოსავლეთ მხარეზე საღამოთი, სამხრეთზე შუალამისას და დასავლეთ მხარეზე გათენებისას ჩანს ზამთრის თანავარსკვლავედები) და სამხრეთ ნახევარსფეროში კი ზაფხული. დედამიწის ბრუნვის შესაბამისად ჩრდილო პოლარულ სარტყელში სულ ღამეა, სამხრეთ პოლარულ სარტყელში კი სულ დღეა, ეკვატორზე დღე და ღამე ტოლია პლუს საშუალო განედებზე დღე ნაკლებია (უპოკლეისა) ღამესთან (უდიდესია) შედარებით (ნახ. 2). გადაადგილდება რა დედამიწა ისრით ნაჩვენები მიმართულებით ბრუნვის შესაბამისად ზამთარი (მზის α მ ბ ი ს პერიოდში (22/I, 22/II, 22/III), ჩრდილო პოლუსზე სულ ღამე იქნება, სამხრეთზე კი დღე, ეკვატორზე დღე

და ღამე ტოლი, მხოლოდ, დედამიწის გადაადგილების მიხედვით საშუალო განედზე დღე იმატებს, ღამე კი იკლებს. მზის დღელამური პარალელები იწყებს გადაადგილებას ისევ ეკვატორისაკენ (ნახ. 2). α მატულობს და — δ დიდდება ნულამდე. 21/III დედამიწა უბრუნდება რა საწყის მდებარეობას, ს რ უ ლ დ ე ბ ა ტ რ ო პ ი კ უ ლ ი (ს ი ნ ო დ უ რ ი) წ ე ლ ი წ ა დ ი და ყ ო ვ ე ლ ო ვ ე განმეორდება ისევ ისე, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი.

მოდენად, რამდენადაც წელიწადის დროები ისახლერება მზისაღმე მობიტაზე დედამიწის მდებარეობის მიხედვით, როგორც ვთქვით, ტროპიკული წელიწადი ეწოდება წლის ოთხივე დროის შესაბამის პერიოდს. ასეთია ფაქტობრივი მდგომარეობა. მაგრამ, ისე როგორც საერთოდ, აქაც უნდა მივმართოთ ცის სფეროს, რადგანაც მხოლოდ ის გვაძლევს საშუალებას ციური წერტილები ურთიერთდაეკავშიროთ. გაზაფხულის დღელამტოლობის ო წერტილი ცის სფეროზე ცნობილია როგორც წერტილი ეკლიპტიკისა და ცის ეკვატორის გადაკვეთისა, სადაც მზე 21/III სამხრეთ ნახევარსფეროდან გადადის ჩრდილო ნახევარსფეროში, ეს კი დედამიწის (1) მდებარეობის შესაბამისია, რაც უფლებას გვაძლევს, თუ აქამდე წარმოდგენით ვიდექით მზეზე და ვაკვირდებოდით დედამიწის მოძრაობას, ახლა დედამიწიდან დაეკვირდეთ მზის (მოჩვენებით) მოძრაობას. ვნახავთ, რომ (1) მდებარეობაში ყოფნისას მზე დავეგმილდება ცის სფეროზე გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილთან ერთად. ცის წელიწადის დროების თანამიმდევრობა ზუსტად ისეთივე იქნება, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი (ნახ. 3). ასე რომ, შეიძლება განვმარტოთ: ტ რ ო პ ი კ უ ლ ი წ ე ლ ი ა ის პ ე რ ი ო დ ი, რ ო მ ე ლ ი ც და ს კ ი რ დ ე ბ ა მ ზ ე ს ო რ ჯ ე რ ზ ე დ ი ზ ე დ გა ი ა ო ს გა ზ ა ფ ხ უ ლ ის ბ უ ნ ი ო ბ ის წ ე რ ტ ი ლ შ ი.

როგორც ვიცით, ამ ინტერვალში დედამიწის პ რ ე ც ე ს ი უ ლ ი მოძრაობა იწყებს ეკლიპტიკაზე გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის დასავლეთისაკენ გადაადგილებას $50^{\circ}, 24$ ანუ $0^{\circ}, 014$. მაშასადამე, მზემ რომ განმეორებით მიადწიოს ო წერტილს, უნდა გაიაროს ეკლიპტიკაზე $360^{\circ} - 0^{\circ}, 014 = 359^{\circ}, 986$ ნაცვლად სრული (360°) გარემოქცევისა. მზის 1° -ით მოჩვენებითი (ხილული) გადაადგილებისათვის საჭიროა 24° . მაშასადამე, გაზაფხულის დღელამტოლობისმიერი, ტროპიკული (სინოდური) წელიწადი $0,014 \times 24 \approx 0,3$ საათით (დაახლოებით $20'$), ანუ $0,014$ დღე-ღამით ნაკლები იქნება, ვიდრე ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ი ე რ ი, ა ნ უ ს ი დ ე რ უ ლ ი წ ე ლ ი წ ა დ ი, რ ო მ ე ლ ი ც შე ე ს ა ბ ა მ ე ბ ა დ რ ო ს პ ე რ ი ო დ ს მ ზ ის ზ ე დ ი ზ ე დ ო რ ჯ ე რ ნ ე ბ ის მ ი ე რ თ ი და ი მ ა ვ ე ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ზ ე გ ა ვ ლ ის ა თ ვ ის (რადგანაც ვარსკვლავებს ზემოსხენებულ პრეცესიული გადაადგილება არა აქვს). ამიტომ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილის მიმართ მზის მიერი წელიწადი, რასაც ტროპიკული, ანუ სინოდური წელი ვუწოდებთ, ტოლია $365,242$ დღე-ღამისა, ხოლო ნებისმიერი ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ის მ ი მ ა რ თ მ ზ ის მ ი ე რ ი (ს ი დ ე რ უ ლ ი) წელი — $365,256$ დღე-ღამისა.

დედამიწის მზისაღმე გარემოქცევის ორბიტის სიგრძეა დაახლოებით $9,6 \times 10^8$ კმ. მზე იმყოფება ამ ორბიტის ერთ-ერთ ფოკუსში; ამჟამად, წელიწადში ერთჯერ (3 იანვარს) დედამიწიდან მზემდე უახლოესი მანძილია ($14,7 \times 10^7$ კმ), რასაც პერიჰელიუმი ეწოდება (ნახ. 3), ხოლო უშორეს მანძილზეა ($15,0 \times 10^7$ კმ) ოთხ ივლისს და აპოჰელიუმი (აფელიუმი)

ქვია. პირველ ნახევარ წელს (ორბიტის 1 ნახევარი), ანუ გაზაფხულისა და ზაფხულის გავლას დედამიწა ანდომებს 186 დღე-ღამეს (21 მარტიდან 23 სექტემბრამდე), ხოლო მეორე ნახევარ წელს (ორბიტის მეორე ნახევარი), ანუ შემოდგომისა და ზამთრის გავლას ანდომებს 179 დღე-ღამეს (23 სექტემბრიდან 21 მარტამდე). მაშასადამე: კეპლერის მეორე კანონის შესაბამისად, დედამიწა რაც უფრო ახლოა მზესთან (შემოდგომა ზამთარი), მით უფრო ჩქარა მოძრაობს (მისი სიჩქარეა 30,3 კმ/სეკ, მაქსიმუმი 3 იანვარს), ხოლო რაც უფრო შორს არის (გაზაფხული, ზაფხული), მით უფრო ნელა მოძრაობს (მისი სიჩქარეა 29,3 კმ/სეკ. მინიმუმი 4 ივლისს). დედამიწა დღე-ღამეში პირველ შემთხვევაში, ანუ პერიპელიუმში, გადაადგილდება 1°6,6, ხოლო მეორეში, ანუ აფელიუმში, კი 1°2'.5. მზესა და დედამიწას შორის მანძილების ზემოხსენებული განსხვავება წელიწადის დროებზე გავლენას არ ახდენს, მაგრამ იგი იწვევს მზისმიერი დღე-ღამის ცვალებადობას (იხ. შემდეგი პარაგრაფი).

დედამიწის პერიპელიუმ-აპოკელიუმის ხაზის ორიენტაცია საუკუნეთა განმავლობაში ცვალებადია. მაგალითად, პერიპელიუმის ცვალებადობა 2—5 იანვრამდეა, ხოლო აპოკელიუმისა 1—4 ივლისამდე (ნახ. 3); დედამიწის ბრუნვის ღერძის მის ორბიტასთან დახრა კი უმნიშვნელოდ ცვალებადობს, ხოლო პრეცესიის გამო 13000 წლის პერიოდში დედამიწის ღერძი მისი ორბიტის მიმართ დიამეტრალურად საწინააღმდეგოდ გადაიხრება ისე, რომ ორბიტასთან ისევ 66 1/2° კუთხით იქნება დახრილი, რის გამო წელიწადის დროები ჩრდილო და სამხრეთ ნახევარსფეროში შეიცვლება. მაგალითად, ჩრდილო ნახევარსფეროში, სადაც ამჟამად გაზაფხულია, იქნება შემოდგომა და გაზაფხული კი — ზამთრით შეიცვლება.

1.5.2. დროის განსაზღვრა. ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე.

ვარსკვლავთმომიერი დრო. ზეშპარიტი მზისმომიერი დღე-ღამე.

ზეშპარიტი მზისმომიერი დრო. საშუალო მზისმომიერი დღე-ღამე.

საშუალო მზისმომიერი დრო. ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამისა და საშუალო მზისმომიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობის შედარება

დროის გაზომვის საფუძვლად იღებენ დედამიწის გარემოქცევითი და ბრუნვითი მოვლენების შესაბამის შედარებით მყარ ბუნებრივ პერიოდებს წელიწადისა და დღე-ღამის სახით. დღე-ღამის უფრო მცირე ნაწილების (საათი, მინუტი, სექუნდი) გასაზომად იყენებენ ისეთ ხელსაწყოებს, რომლებიც ხელოვნურად იმეორებენ გარკვეულ პერიოდულ პროცესებს დროში. ასეთ ხელსაწყოებს მიაკუთვნებენ: ქანქარაიან საათს, ქრონომეტრს, ჯიბის საათებს და სხვა.

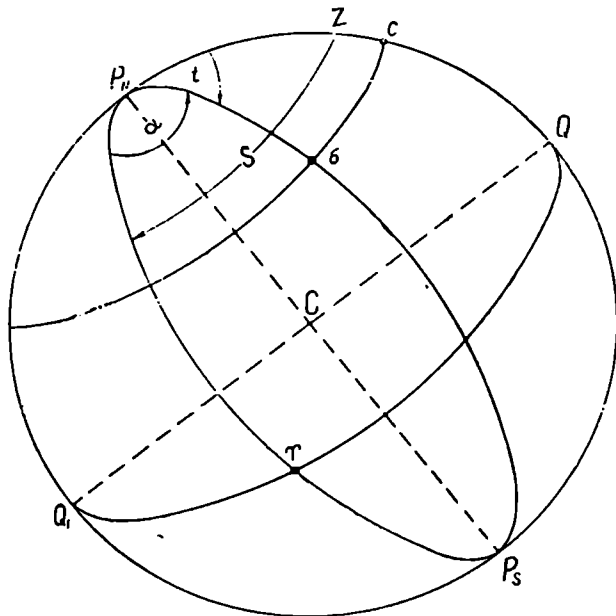
წელიწადის, როგორც დროის მსხვილი საზომის, შესაბამე წინა პარაგრაფში იყო მოხსენებული, მცირე დროის საზომის (დღე-ღამის) შესაბამისად, ძირითადად არჩევენ ვარსკვლავთმომიერ და მზისმომიერ დროს.

A. ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე. ვარსკვლავთმომიერი დრო

ვარსკვლავთმომიერი დღე-ღამე ეწოდება დროის იმ პერიოდს, რომელიც საჭიროა ადგილის ცენტრი მერიდიანის მიერ რომელიმე ვარსკვლავზე ორჯერ ზედი-

ზედგავლისათვის, ანუ ამ ვარსკვლავის მიმართ დედამიწის ერთი სრული ბრუნვისათვის. ჩვეულებრივ, საწყისად იღებენ ვაზაფხულის ბუნიობის ორწერტილს, რადგანაც ცნობილია პრეცესიის გამო მისი ყოველწლიური გადაადგილება ცის სფეროზე. მაშასადამე, ვარსკვლავთმცერი დღე-ღამეა დროის ის პერიოდი, რომელიც საჭიროა ვაზაფხულის დღედამტოლობის ორწერტილის ორი თანამიმდევრო ზედაკუმინაციისათვის.

ადგილის ვარსკვლავთმცერი დრო ეწოდება იმ ადგილის ციური მერიდიანის პირდაპირ აღვლენას, რომელიც გამოისახება ვარსკვლავთმცერ დღე-ღამეებსა.



ნახ. 1.5 2.1.

დამისნაწილებში, ანუ ადგილის ვარსკვლავთმცერი დრო ვაზაფხულის დღედამტოლობის ორწერტილის საათ-კუთხეა.

ადგილის ვარსკვლავთმცერი დრო აღნიშნოთ s -ით (ნახ. 1); σ მნათობის პირდაპირ აღვლენა α -თი და საათ-კუთხე t -თი. მაშინ (1) ნახაზიდან მარტივად ჩანს, რომ $s = \alpha + t$ და ამოკიდებულეება. ერთი და იმავე მნათობის α პირდაპირ აღვლენასა, t საათ-კუთხესა და დაკვირვების მომენტისათვის ადგილის s ვარსკვლავთმცერ დროს შორის გამოისახება ტოლობით:

$$s = \alpha + t. \quad (1.5.2.1)$$

როცა α მ ნ ა თ ო ბ ი ზედა კულმინაციაშია, მაშინ გვექნება:

$$s = \alpha, \quad (1.5.2.2)$$

ე. ი. ვარსკვლავთმცირი დრო α შემოხვევაში რიცხობრივად ტოლია σ მნათობის პირდაპირი ალვლენისა.

ახლა აღნიშნოთ ვახფხულის ბუნიობის Υ წერტილის საათ-კუთხე f_{Υ} სიმბოლოთი, C ადგილის ციურ მერიდიანზე მდებარე ნებისმიერი ϵ მნათობის პირდაპირი ალვლენა — α_{ϵ} -თი, მაშინ ზემო განსაზღვრებების შესაბამისად დაეწერთ:

$$\left. \begin{aligned} s &= f_{\Upsilon} \\ s &= \alpha_{\epsilon} \end{aligned} \right\}. \quad (1.5.2.3)$$

ვარსკვლავთმცირი დრო ძოხერბებულია მნათობთა მდებარეობის განსაზღვრის დროს, უფრო იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა მათი α პირდაპირი ალვლენის დადგენა, რადგანაც ვარსკვლავთმცირი დღე-ღამე ხასიათდება მდგრადობით (მუდმივობით), როგორც დროის ერთეული. ამავე დროს, ეს ერთეული შეიძლება მარტივად გაისინჯოს უშუალო დაკვირვებით. ამიტომ ვარსკვლავების საშუალებით პუნქტების აზიმუტების, განედებისა და გრძედების განსაზღვრის დროს სარგებლობენ ვარსკვლავთმცირი დროით.

მაგრამ ყოველდღიურ ცხოვრებაში დროის განსაზღვრისათვის პრაქტიკული უზერხულობის გამო ვარსკვლავთმცირ დროს არ იყენებენ. ვთქვათ, სამუშაო დღეს ვიწყებთ ვარსკვლავთმცირი დროით n საათზე. შემოდგომის ბუნიობის დროს (23/IX), როცა დედამიწა თავის ორბიტაზე (ნახ. 1.5.1.3) მე-3 მდებარეობაშია და დედამიწიდან დამკვირვებელს ეჩვენება, რომ მზე ეკლიპტიკაზე მე-3 მდებარეობაშია, ადგილის მერიდიანის მიმართ ვახფხულის ბუნიობის—დედამტოლობის Υ წერტილის საათ-კუთხესა და მზის საათ-კუთხეს შორის განსხვავება იქნება 180° , ანუ 12 საათე. მაშასადამე, დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მბრუნავი დედამიწის ადგილის მერიდიანი ვარსკვლავთმცირი 6 საათიდან დაიწყებს დაშორებას მე-3 წერტილიდან და შებრუნდება მზისაკენ. ეს სურათი მორენიარად ასე წარმოგვიდგება: აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ ცის თალის მოჩვენებითი ბრუნვის შესაბამისად 6 საათიდან დედამიწის მიმართ Υ წერტილი იწყებს ჩასვლას და მზე ამოსვლას, ე. ი. სამუშაო დღე დაიწყება განთიადისას. ექვსი თვის შემდეგ, ანუ როცა დედამიწისა და მზეს ექნება I მდებარეობა (Υ წერტილისა და მზის საათ-კუთხე ტოლია), ზემოხსენებულის ანალოგიური მსჯელობით ვნახავთ, რომ სამუშაო დღის დაწყებისას როგორც Υ წერტილი, ისე მზე იწყებს ჩასვლას, ე. ი. სამუშაო დღე დაიწყება ღამე. მაშასადამე, თუ სამუშაო დღის დასაწყისად მივიღებთ 6 საათს ორბიტის სხვადასხვა მხარეზე დედამიწის მდებარეობის მიხედვით, ანუ ეკლიპტიკაზე მზის მოჩვენებითი სხვადასხვა მდებარეობის შესაბამისად, დედამიწის დედამტური ბრუნვის (მზისა და Υ წერტილის მოჩვენებითი დედამტური ბრუნვის) შესაბამისად, ვარსკვლავთმცირი დროთი სამუშაო დღე დაიწყება ხან მზის ამოსვლისას და ხან მზის ჩასვლის დროს, რაც პრაქტიკული საქმიანობისათვის მეტად უზერხულია. ამიტომ სამოქალაქო ცხოვრებაში დროის აღრიცხვისათვის იყენებენ მზისმცირ დროს (მზის ამოსვლა-ჩასვლით არის დღე-ღამე განპირობებული).

ქვეშმარტი მზისმიერი დღე-ღამე ეწოდება დროის იმ პერიოდს, რომელიც საპირობად გილის ციური მერიდიანის მიერ მზეზე ორჯერ ზედიზედ გავლისათვის. ანუ მზის მიმართ დედამიწის ერთი სრული ბრუნვისათვის. ხილულობის თვალთახედვით ქვეშმარტი მზისმიერი დღე-ღამე დროის ის პერიოდია, რომელიც საპირობად ფოტოსფეროს ორი თანამიმდევარი ქვედა კულმინაციისათვის. პრაქტიკული მოხერხებულობის გამო დღეს იწყებენ შუალა-

დროის ერთეულად იყენებენ რა ქვეშარტი მზისმიერ დღე-ღამეს, ამავე დროს გულისხმობენ, რომ დედამიწა თავისი ღერძის გარშემო საკუთრივ ბრუნავს თანაბრად.

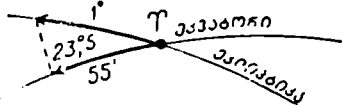
პრაქტიკული საქმიანობისათვის კაცობრიობა დროის საზომად იყენებს მექანიკურ ხელსაწყოს — საათს. მაგრამ ისეთი მექანიკური საათის შექმნა, რომლის სვლა იქნებოდა შესაბამისი მზისმიერი დღე-ღამისა, შეუძლებელია, რადგანაც, მიუხედავად იმისა, რომ საკუთრივ დედამიწის დედამიწის ბრუნვა მუდმივად იგულისხმება, წლის განმავლობაში მზისმიერი დღე-ღამეები ცვალებადობს შემდეგი ორი მიზეზის გამო: პირველი მიზეზი, როგორც ეს აღწერილი იყო წინა პარაგრაფში, ის არის, რომ პერიპელიუმში ყოფნის დროს დედამიწა ჩქარა მოძრაობს და გვეჩვენება, რომ მზე მისი პირდაპირი აღლენის მიმართულებით, ანუ აღმოსავლეთისაკენ, დღე-ღამეში გადაადგილდება $1^{\circ} 6'$, ხოლო როცა დედამიწა აპოქელიუმშია, მაშინ იგი უფრო ნელა მოძრაობს, ე. ი. გვეჩვენება, რომ მზე დღე-ღამეში აღმოსავლეთისაკენ გადაადგილდება $1^{\circ} 2',5$. პერიპელიუმსა და აპოქელიუმში ეკლიპტიკაზე მზის მოჩვენებითი გადაადგილება დაახლოებით შესაბამისია ციურ ეკვატორზე მისი გადაადგილებებისა. მაშასადამე, ციურ ეკვატორზე მზისმიერი ხილული დღე-ღამე პირველ შემთხვევაში იქნება შესაბამისი დედამიწის ($360^{\circ} + 1^{\circ} 6'$) ბრუნვისა, ხოლო მეორე შემთხვევაში — ($360^{\circ} + 1^{\circ} 2',5$) ბრუნვისა. რეალურ სხვაობას $4'$ -ს შეესაბამება დროის 16 სეკუნდი. როგორც ვხედავთ, აღნიშნული მიზეზით მზის ხილული დღე-ღამეები იანვრის თვეში (პერიპელიუმში) მეტია 16 სეკუნდით, ვიდრე ივლისში (აპოქელიუმში).

მეორე მიზეზი მზისმიერი დღე-ღამეების ცვალებადობისა ის არის, რომ დედამიწის ორბიტის სიბრტყე მისივე ეკვატორის სიბრტყესთან არის $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ -ით დახრილი. ეკლიპტიკაზე მზის გადაადგილება რომ თანაბარი იყოს, მაშინაც მზისმიერი დღე-ღამეები ცვალებადი იქნება, რადგანაც მზისმიერი დროის ნაზრდებს ვსაზღვრავთ ციურ ეკვატორზე (როგორც უდიდეს დედამიწურ პარალელზე). დავეუვათ, რომ ორბიტაზე დედამიწა მოძრაობს თანაბრად, დღეღამეში საშუალოდ 1° , რის შედეგადაც გვეჩვენება, რომ მზე აღმოსავლეთისაკენ გადაადგილდება თანაბრად საშუალოდ 1° -ით. ვთქვათ, 21 მარტს მზე არის ორწერტილში (ნახ. 1.5.1.3), I მდებარეობა. ერთი დღის შემდეგ მზე ეკვატორს ზემოთ ეკლიპტიკაზე გადაადგილდება 1° -ით. ვინაიდან მზისმიერი ხილული დღე-ღამური გზა იანვარში ეკვატორის მიმართულებით, უნდა გამოვითვალოთ მზის დღე-

ლამური გადაადგილების კუთხური სიდიდე გაზაფხულის დღედამტოლობის წერტილიდან ეკვატორის მიმართულებით, რომელიც სფერული ტრიგონომეტრიის ფორმულების გამოყენებით გამოითვლება და ტოლი იქნება (ნახ. 2) $55'$. მაშასადამე, მზისმიერი ხილული დღე-ღამე 21—22 მარტს შეესაბამება დედამიწის ($360^\circ + 55'$)-ით ბრუნვას.

სამი თვის შემდეგ მზე იქნება ზაფხულის მზებუდობის წერტილში (ნახ. 1.5.1.3. მე-2 მდებარეობა) და დღე-ღამეში როგორც ეკლიპტიკაზე, ისე ეკვატორზე მოძრაობა ერთნაირი იქნება (ნახ. 3).

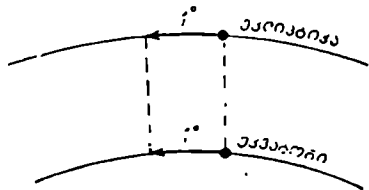
მაშასადამე, 22—23 ივნისს მზისმიერი ხილული დღე-ღამე იქნება შესაბამისი დედამიწის ($360^\circ + 1^\circ$)-ით ბრუნვისა, ე. ი. განსხვავება ორ მზისმიერ დღე-ღამეს შორის, რომელიც განპირობებულია ეკვატორისადმი ეკლიპტიკის დახრით, უდრის რკალურ



ნახ. 1.5.2.2.

$5'$, ანუ დროის 20 სეკუნდს. ასე რომ, ზემოაღწერილი მიზეზებით ქვეშარიტი მზისმიერი დღე-ღამის ცვალებადობის გამო მას დროის ერთეულად არ იღებენ.

ადგილის ქვეშარიტი მზისმიერი დრო აღინიშნება T_{\odot} სიმბოლოთი და უდრის მზის საათ-კუთხეს მისი ქვედა კულმინაციი-



ნახ. 1.5.2.3.

იდან. ჩვეულებრივ, როგორც ცნობილია, მნათობების საათ-კუთხეს ითვლიან ზედა კულმინაციიდან; მაშასადამე, თუ ქვეშარიტი მზის საათ-კუთხეს აღვნიშნავთ t_{\odot} სიმბოლოთი, განსაზღვრების თანახმად T_{\odot} ადგილის ქვეშარიტ მზისმიერ დროსა და t_{\odot} ქვეშარიტი მზის საათ-კუთხის რიცხვით ოდენობებს შორის იქნება 12 საათი განსხვავება, ე. ი. დავწერთ:

$$t_{\odot} = T_{\odot} \pm 12^h, \quad (1.5.2.4)$$

სადაც 12^h პლუსია, როცა ადგილი დედამიწის აღმოსავლეთ ნაწილშია, და მინუსი, როცა იგი დასავლეთით იქნება.

ადგილის ქვეშარიტი მზისმიერი დრო ისაზღვრება მზეზე ასტრონომიული დაკვირვებებით და შემდეგ (4) ფორმულით ანგარიშობენ ქვეშარიტი მზის საათ-კუთხეს.

ც. საშუალო მზისმიერი დღე-ღამე. საშუალო მზისმიერი დრო

ქვეშარიტი მზისმიერი დღე-ღამის ცვალებადობის ზემოხსენებული ორი მიზეზის აცილების მიზნით სარგებლობენ საშუალო მზისმიერი დღე-ღამით, რომელთა ხანგრძლივობა მუდმივია და მცირე ოდენობით ვანსხვავდება ქვეშარიტი მზისმიერი დღე-ღამეებისაგან.

საშუალო მზისმიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობის განსაზღვრის მიზნით სარგებლობენ „საშუალო მზით“, რომელიც წარმოადგენს ფიქტიურ წერტილს მოძრავე ციკლიკატორზე და არა ეკლიპტიკაზე, ჰემისფეროიდი მზის საშუალო სიჩქარით ისე, რომ ამ წერტილისა და ჰემისფეროიდი მზის პერიოდული უმნიშვნელო და აპოკელიკური გავლის მომენტები ურთიერთს ემთხვეოდეს. მაშასადამე, ფიქტიური წერტილი, მოძრაობს რა ეკვატორზე, შემოუვლის ეკვატორს იმავე პერიოდით, რომელიც სპირდება ეკლიპტიკაზე მოძრავე ჰემისფეროიდი. ამის შემდეგ შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ შემდეგი განსაზღვრება: საშუალო მზითური დღე-ღამეა დროის ის პერიოდი, რომელიც საჭიროა ფიქტიური მზის ორი თანმიმდევრული ქვედა კულმინაციისათვის. მოკლედ, საშუალო მზითური დღე-ღამე უწოდებენ საშუალო დღე-ღამეს. საათს აყენებენ საშუალო დღე-ღამის შესაბამისად ისე, რომ საშუალო დღე-ღამე შეიცავს 24 საშუალო საათს, საშუალო საათი — 60 საშუალო მინუტს და საშუალო მინუტი — 60 საშუალო სეკუნდს. საშუალო დღე-ღამეს აღნიშნავენ (d), საათს (h), მინუტს (m), სეკუნდს (s) სიმბოლოებით. მაგალითად, 5^h 14^m 13^s 08^o. როგორც ითქვა, ვინაიდან უმჯობესია სამუშაო დღე იწყებოდეს არა შუადღიდან, არამედ შუადღიდან, მსოფლიო შეთანხმების საფუძველზე საშუალო დღე-ღამის დასაწყისად მიღებულია მომენტი, როცა ფიქტიური მზე გავლის ქვედა კულმინაციაზე.

ადგილის (ნებისმიერი წერტილის) ნამდვილი საშუალო მზისმიერი დრო აღინიშნება T_m სიმბოლოთი და ეწოდება ფიქტიური მზის საათ-კუთხეს ქვედა კულმინაციიდან. მაშასადამე, თუ ფიქტიური მზის საათ-კუთხეს, ანუ საშუალო მზისმიერ საათ-კუთხეს აღვნიშნავთ t_m სიმბოლოთი, განსაზღვრებების თანახმად, T_m -სა და t_m რიცხვით ოდენობებს შორის იქნება 12 საათი განსხვავება, ე. ი.

$$t_m = T_m \pm 12^h. \quad (1.5.2.5)$$

T_{\odot} ჰემისფეროიდი მზისმიერი დროისა და T_m საშუალო დროის სხვაობას აღნიშნავენ η -თი და უწოდებენ დროის განტოლებას. მაშასადამე, (4) და (5) ტოლობების შედარებით დავწერთ:

$$\eta = T_{\odot} - T_m = t_{\odot} - t_m. \quad (1.5.2.6)$$

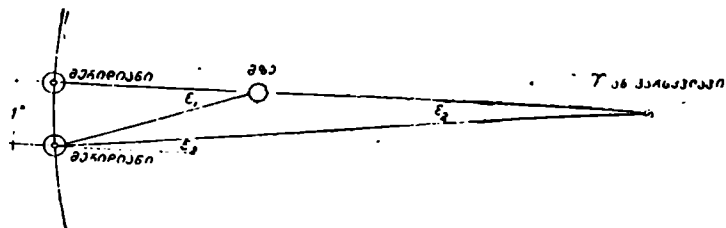
η -ს რიცხვითი ოდენობები, გაზრდილი 12^h-ით, გამოთვლილი სათანადო ფორმულებით, ყოველი კალენდარული თარიღის შესაბამისად გრინვიჩისათვის შეტანილია მზისა და კაშპაშა ვარსკვლავების კოორდინატების კატალოგებში. η ოდენობების უდიდესი მნიშვნელობა 16 მინუტია.

მზის საშუალებით პუნქტების ასტრონომიული კოორდინატებისა და მიმართულებების განსაზღვრისათვის უფრო მოხერხებულია საშუალო მზისმიერი დროის გამოყენება.

D. ვახსპვლავთმხიერი დღე-ღამისა და საშუალო მზისმიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობის შედარება

საშუალო დღე-ღამის მიხედვით დაყენებული საათით რომ შევამოწმოთ ვარსკვლავთმხიერი დღე-ღამე, ვნახავთ, რომ იგი (24^h) უფრო მოკლე იქნება 3^m 56^s, 555 \approx 4 მინუტით, ვიდრე საშუალო მზისმიერი დღე-ღამე. მართლაც

(ნახ. 4), დედამიწა, რომ მზისადმი არ გარემოქცევოდეს, მაშინ როგორც ვარსკვლავთმთიერი, ისე საშუალო მზისმთიერი დღე-ღამე ურთიერთ ტოლი იქნება. მაგრამ, ვინაიდან დედამიწა ორბიტაზე დღე-ღამეში დაახლოებით 1° გადაადგილდება, ადგილის მერიდიანმა რომ ისევე მზეზე გაიაროს, უნდა შემობრუნდეს ($360^\circ + 1^\circ$) კუთხით, რაც მოითხოვს $3^\circ.56'$, $555 \approx 4$ მეტ დროს; მაგრამ,



ნახ. 1. 5. 2. 4.

რადგანაც ვარსკვლავი უაღრესად შორს არის დედამიწიდან (ϵ_1 უაღრესად დიდია ϵ_2 შედარებით), მისი ეს გარემოქცევითი გადაადგილება გავლენას არ ახდენს და ვარსკვლავთმთიერი დღე-ღამე თითქმის უცვლელი იქნება. როგორც ვხედავთ, საშუალო მზისმთიერი დღე-ღამის ხანგრძლივობა ტოლი იქნება $24^h 3^m 56^s, 555$.

1.5.3. ადგილობრივი, ზოლური, მსოფლიო, დეკრეტული და მოსკოვის დრო

ა. ადგილობრივი დრო და მისი კავშირი ადგილის გრძედთან

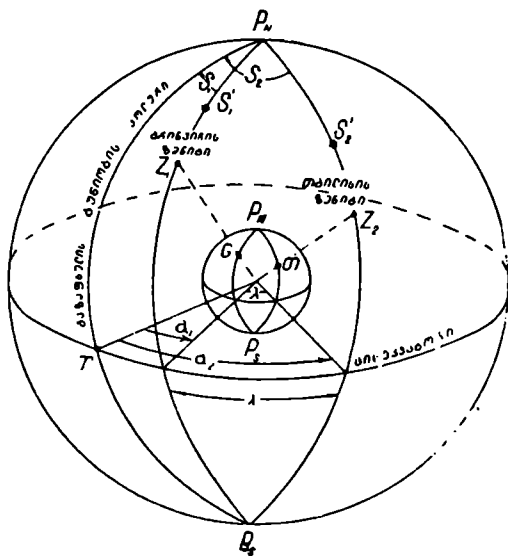
გარდა ვარსკვლავთმთიერი და მზისმთიერი დროისა, ათვლის საწყისის მიხედვით ასხვავებენ ადგილობრივ, ზოლურ, მსოფლიო, დეკრეტულ და მოსკოვის დროს.

წინა პარაგრაფში განხილული ვარსკვლავთმთიერი, ქეშმარიტი და საშუალო მზისმთიერი დრო, რომელთა საწყისებად მიღებულია დაკვირვების ადგილის ცენტრი მერიდიანი, შესაბამისად იწოდება α — ადგილობრივ ვარსკვლავთმთიერ, T_{\odot} — ადგილობრივ ქეშმარიტ მზისმთიერ და T_m — ადგილობრივ საშუალო მზისმთიერ დროდ. საგანგებოდ, ადგილობრივის სახელწოდება ხაზს უსვამს იმ გაუმოგებას, რომ ერთი და იმავე მომენტში დედამიწის სხვადასხვა წერტილში განსაზღვრული ადგილობრივი დრო იქნება სხვადასხვა. მაშასადამე, მხოლოდ იმ წერტილებს, რომლებიც განლაგებული იქნება ადგილის ერთი და იმავე მერიდიანზე, ექნებათ ერთი და იგივე ადგილობრივი დრო. დაკვირვებების ადგილის გრძედის ცვალებადობის შესაბამისად იცვლება ადგილობრივი დრო. აღნიშნული გარემოება საშუალებას გვაძლევს ერთმანეთს დაეუკავშიროთ ადგილობრივი დრო და ადგილის გრძედის რიცხვითი მნიშვნელობები (ნახ. 1).

როგორც ცნობილია (1.3.5. პარაგრაფი), საერთოდ, ადგილის ცის მერიდიანები, განხილად შემთხვევაში კი P_N, Z, P_S გრინვიჩისა და

$P_N Z_1 P_S$ თ ბ ი ს ი ს მერიდიანები უძრავად ითვლება, ხოლო P_N ორ P_S გაზაფხულის ბუნიობის კოლური ანუ Υ წერტილის დახრილობის სიბრტყე სამყაროს $P_N P_S$ ღერძის გარშემო დღე-ღამურ ბრუნვითს მოძრაობაშია.

აქედან გამომდინარე (ნახ. 1), უშუალოდ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ერთი და იმავე მომენტში ათვლილი გრინვიჩის (ადგილობრივი)



ნახ. 1.5.3.1.

α_1 ვარსკვლავთმცერი დრო, ათვლილი გრინვიჩის ციური $P_N Z_1 P_S$

მერიდიანიდან, და თბილისის (ადგილობრივი) α_2 ვარსკვლავთმცერი

დრო, ათვლილი თბილისის ციური $P_N Z_2 P_S$

მერიდიანიდან, იქნება სხვადასხვა რიცხვითი ოდენობებისა.

ამავე დროს, ცნობილია, რომ ადგილის გრძედი არის კუთხე, შექმნილი მისი მერიდიანის სიბრტყის

მეორე გრინვიჩის მერიდიანის სიბრტყესთან.

ასე რომ, თუ გრინვიჩის გრძედს აღვნიშნავთ λ_1 (ცხადია, $\lambda_1 = 0$) და თბილისისას

λ_2 , შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ განსაზღვრე-

ბა: დროის ერთ და იმავე მომენტში სხვადასხვა (გრინვიჩი და თბილისი) წერტილში ათვლილი ადგილობრივი ვარსკვლავთმცერი დროთა ($\alpha_2 - \alpha_1$) სხვაობა ტოლია ამ წერტილებს გრძედების ($\lambda_2 - \lambda_1$) სხვაობისა. ე. ი. დავწერთ:

$$\alpha_2 - \alpha_1 = \lambda_2 - \lambda_1. \quad (1.5.3.1)$$

მოკლედ ასე ამბობენ: ორი წერტილის დროთა სხვაობა ტოლია მათი გრძედების სხვაობისა. განხილად შემთხვევაში α_1' და α_2' ვარსკვლავების ξ_1 და ξ_2 საათ-კუთხეები ნულებია, ამიტომ, თანახმად (1.5.2.2) დამოკიდებულებისა, $\alpha_2 = \alpha_2$, ხოლო $\alpha_1 = \alpha_1$. მაშასადამე, შეგვიძლია (1) ტოლობა დავწეროთ ასე:

$$\alpha_2 - \alpha_1 = \lambda_2 - \lambda_1. \quad (1.5.3.2)$$

გრძედებს შორის სხვაობის დასადგენად პრაქტიკულად (2) ფორმულა უფრო გამოიყენება. რადგანაც ცაზე Υ გაზაფხულის ბუნიობის წერტილი არავითარი ნიშნით არ არის აღნიშნული, რაც აძნელებს მასთან დაკავშირებას, ამიტომ

იღვილის გრძედების განსაზღვრისათვის ვსარგებლობთ იმ ვარსკვლავებით, რომელთა α_1 და α_2 პირდაპირი აღვლენა ცნობილია.

მაგალითი 1.5.3.1. ვთქვათ, რომელიმე მომენტში (რომელსაც რადიოკავშირით ადგენენ) გრინვიჩის და თბილისის ცის მერიდიანის სიბრტყე შესაბამისად გადის α_1' და α_2' ვარსკვლავებზე, რომელთა პირდაპირი აღვლენა $\alpha_1 = 2^{\circ} 04' 44''$ და $\alpha_2 = 5^{\circ} 04' 00''$, მაშასადამე, თბილისის გრძედი დროის ერთეულებში (2) ფორმულით იქნება

$$5^{\circ} 04' 00'' - 2^{\circ} 04' 44'' = 2^{\circ} 59' 16'',$$

ანუ რკალურ განზომილებაში $44^{\circ} 49'$.

ცხადია, განხილად შემთხვევაში მიღებული ოდენობა არის თბილისის გრძედი, რადგანაც გრინვიჩის გრძედი $\lambda_1 = 0$. ასე, რომ (1) და (2) ფორმულა საშუალებას გვაძლევს ნებისმიერი ადგილის გრძედის განსაზღვრისას.

მოვიყვანოთ მაგალითი (1) ტოლობის გამოყენების შესახებ. ვთქვათ, ერთი და იმავე მომენტში თბილისში და გრინვიჩში ადგილობრივი ვარსკვლავთმიერი დრო, შესაბამისად, არის $\alpha_2 = 16^{\circ} 20' 28''$, $\alpha_1 = 13^{\circ} 21' 12''$. მაშინ (1) ფორმულით $\alpha_2 - \alpha_1 = \lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2 - 0 = 16^{\circ} 20' 28'' - 13^{\circ} 21' 12'' = 2^{\circ} 59' 16''$, ე. ი. თბილისის გრძედი $\lambda = 44^{\circ} 49'$ (ამჟამად თბილისის გრძედი დროის განზომილებაში არის $3^{\circ} 00' 16''$).

B. ზოლური დრო. მსოფლიო დრო

ადგილობრივი საშუალო მზისმიერი დროის გამოყენებას სამოქალაქო ცხოვრებაში დიდი ნაკლი აქვს იმ მხრივ, რომ ყველა იმ წერტილს ღედამიწაზე, რომლებიც სხვადასხვა მერიდიანზე იმყოფებიან, ერთი და იმავე ფიზიკურ მომენტში, სხვადასხვა ადგილობრივი დრო შეესაბამება. მხოლოდ იმ წერტილებს აქვს ერთი და იგივე თარიღი, რომლებიც ეკუთვნიან ერთ და იმავე მერიდიანს. მაშასადამე, ერთი და იმავე ან მეზობელი ქალაქის სხვადასხვა წერტილის თარიღები იქნება სხვადასხვა, რაც ყოველდღიურ ცხოვრებაში დიდ უხერხულობას იწვევს. ამ უხერხულობის თავიდან აცილების მიზნით საერთაშორისო შეთანხმების საფუძველზე ღედამიწა გრძედების გასწვრივ დაყვეს ტოლი სიგანის ზოლებად და მიიღეს, რომ გრძედის მიმართულებით ყოველ ზოლში ერთ და იმავე მომენტში დრო პირობით ითვლებოდეს ერთნაირი. ამ ზოლებს უწოდებენ საათობრივ ზოლებს და ამ ზოლში მიღებული ერთი და იგივე დრო მისი ყველა წერტილისათვის იწოდება ზოლურ დროდ.

ზოლურ დროის მოხერხებულად გამოყენების მიზნით მთელი ღედამიწა გრძედის მიმართებით დაყვეს 24 ზოლად, დაახლოებით, მერიდიანების გასწვრივ. მაშასადამე, ყოველი ზოლის სიგანე არის 15° . საათობრივი ზოლები დანომრეს 0—XXIV-მდე. ნულოვანი ზოლის ღერძა (საშუალო) მერიდიანად მიღებულია გრინვიჩზე გამავალი მერიდიანი, რომლის გრძედი $\lambda = 0^{\circ}$. მაშასადამე, I სარტყლის ღერძა მერიდიანის გრძედი იქნება 15° ; II— 30° ; III— 45° და ა. შ. (ნახ. 2).

საბჭოთა კავშირის ტერიტორია მოქცეულია თერთმეტ (II—XII) საათობრივ ზოლში, რომელთა საზღვრები გატარებულია ბუნებრივი, სახელმწიფოს ადმინისტრაციული დაყოფისა და მოხერხებულობის მხედველობაში მიღებით. მაგალითად, მეორე საათობრივი ზოლის აღმოსავლური სასაზღვრო

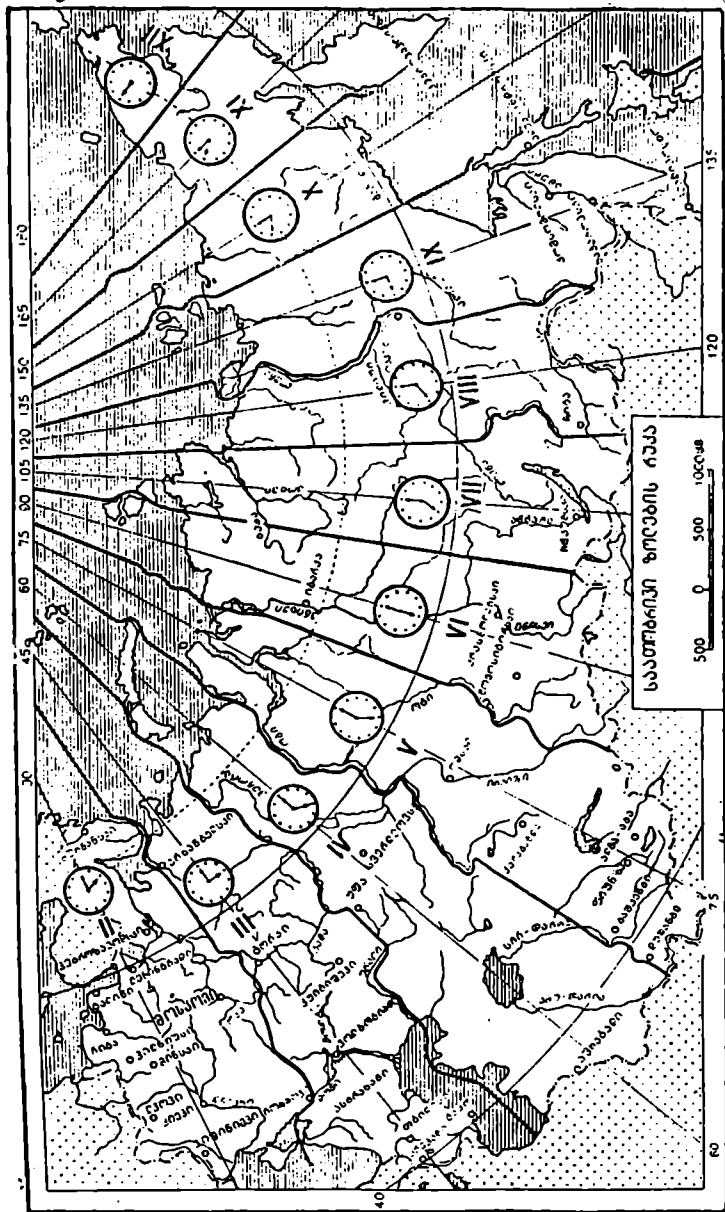


Рис. 1532.

მერიდიანი გადახრის გარეშე რომ გაეტარებინათ, ის გადაჭრიდა ქალაქ მოსკოვს და ქალაქის ნაწილი III ზოლში მოჰყვებოდა; მაშასადამე, მოსკოვში იქნებოდა ორი ზოლური დრო, რაც დიდ უხერხულობას გამოიწვევდა.

ზოლური დროის ანგარიში იწყება ზოლის ღერძა მერიდიანებიდან. მაშასადამე, ნებისმიერი საათობრივი ზოლის ღერძა მერიდიანის ადგილობრივი საშუალო მზისმიერი დრო ითვლება ზოლურ დროდ ყველა იმ პუნქტისათვის, რომელიც შედის ამ ზოლში. N ნომერი გვიჩვენებს, რომ ერთი და იმავე მომენტში რამდენი საათით იქნება მეტი ამ ნომრის შესაბამისი ზოლის T_N ადგილობრივი დრო ნულოვანი (გრინვიჩის) ზოლის T_0 ადგილობრივ დროსთან შედარებით, ე. ი. დავწერთ

$$T_N = T_0 + N, \quad (1.5.3.4)$$

სადაც $N=0, I, II, \dots, XXIV$.

ცხადია, ყველა ზოლში მინუტები და სეკუნდები იქნება ერთი და იგივე, განსხვავება იქნება მხოლოდ საათებში.

ნულოვანი ზოლის ღერძა მერიდიანის (გრინვიჩის) T_0 ადგილობრივი საშუალო მზისმიერი დრო საერთაშორისო შეთანხმების საფუძველზე მიღებული მსოფლიო დროდ.

რადგანაც საერთაშორისო შეთანხმებით ადგილის გეოგრაფიული გრძედების ათვლა იწყება გრინვიჩის მერიდიანიდან, (1) დამოკიდებულების საფუძველზე დავასკვნით, რომ დედამიწის ნებისმიერა, ვთქვათ m წერტილის ნამდვილი ადგილობრივი საშუალო მზისმიერი T_m დრო შეიძლება დავაკავშიროთ T_0 მსოფლიო დროსთან ფორმულით:

$$T_m = T_0 + \lambda_m, \quad (1.5.3.5)$$

სადაც λ_m — ნებისმიერი m წერტილის გრძედი დროის განზომილებაში, რომელიც დადებითია, როცა m წერტილი გრინვიჩიდან აღმოსავლეთით არის, ხოლო უარყოფითია, როცა იგი დასავლეთითაა.

მაგალითი 1.5.3.2. ვთქვათ, A წერტილში, რომლის გრძედი $\lambda_A = 44^\circ 49' = 2^h 59^m 16^s$ (საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ნებისმიერი წერტილის გრძედი პლუსია), მზეს აკვირდებოდნენ ნამდვილი (არაზოლურ) საშუალო ადგილობრივი დროით $T_A = 16^h 44^m 48^s$. საჭიროა გავიგოთ A წერტილზე დაკვირვების ამ მომენტში T_0 მსოფლიო დრო? პასუხი (5) ფორმულიდან:

$$T_0 = T_A - \lambda_A = 16^h 44^m 48^s - 2^h 59^m 16^s = 13^h 45^m 32^s.$$

მაშასადამე, როცა A წერტილიდან მზეს ვაკვირდებოდით, მაშინ T_0 მსოფლიო დრო იყო $13^h 45^m 32^s$.

პრაქტიკული მუშაობის დროს ხშირად გვიხდება გადასვლა T_N ზოლური დროიდან იმავე ზოლის ნებისმიერ, ვთქვათ, m წერტილის T_m ნამდვილ ადგილობრივ საშუალო მზისმიერ დროზე; აგრეთვე T_N ზოლურ დროდან T_0 მსოფლიო დროზე და პირიქით.

განსაზღვრებების შესაბამისად, ნებისმიერი m წერტილის T_m ნამდვილი ადგილობრივი საშუალო მზისმიერ დროსა და T_N ზოლურ საშუალო მზის-

მიერ დროს შორის განსხვავება იგივე იქნება, რაც m წერტილის λ_m გრძელსა და ზოლის ღერძა მერიდიანის λ_N გრძელს შორის. მაშასადამე, დავწერთ:

$$T_m - T_N = \lambda_m - \lambda_N,$$

ანუ

$$T_m = T_N + (\lambda_m - \lambda_N). \quad (1.5.3.6)$$

მაგალითი 1.5.3.3. A წერტილის გრძელი $\lambda_A = 2^{\circ} 59' 16''$, მაშასადამე, იგი იმყოფება მესამე საათურ ზოლში, რომლის ღერძა მერიდიანის გრძელი $\lambda_N = 3^{\circ} = 45'$, ხოლო ზოლური დრო $T_N = 16^{\circ} 45' 32''$. განვსაზღვროთ A წერტილის ნამდვილი ადგილობრივი საშუალო მზისმიერი T_A დრო.

პასუხი (6) ფორმულის მიხედვით:

$$T_A = 16^{\circ} 45' 32'' + (2^{\circ} 59' 16'' - 3^{\circ}) = 16^{\circ} 44' 48''.$$

m წერტილის ცნობილი T_m ადგილობრივი საშუალო მზისმიერი დროის მიხედვით T_N საშუალო მზისმიერ ზოლურ დროზე გადასასვლელად (6) ფორმულიდან დავწერთ:

$$T_N = T_m - (\lambda_m - \lambda_N). \quad (1.5.3.7)$$

იმისათვის, რომ გადავიდეთ T_N ზოლურ დროდან T_0 მსოფლიო დროზე, საჭიროა ზოლის N ნომრის ცოდნა და (4) ტოლობის მიხედვით გამოვიტვიტოთ:

$$T_0 = T_N - N. \quad (1.5.3.8)$$

მაგალითი 1.5.3.4. დაკვირვებას ვაწარმოებდით მესამე ($N=3$) საათურ ზოლში $T_N = 16^{\circ} 45' 32''$. საჭიროა გავიგოთ ამ მომენტში მსოფლიო T_0 დრო.

პასუხი (8) ტოლობის მიხედვით

$$T_0 = 16^{\circ} 45' 32'' - 3^{\circ} = 13^{\circ} 45' 32''.$$

C. დეკრეტული დრო. მოსკოვის დრო

ელექტროენერჯის რაციონალურად გამოყენების მიზნით, ანუ იმისათვის, რომ უფრო მეტად იქნეს გამოყენებული დღე-ღამის ნათელი ნაწილი (სამუშაო დღის ადრე დაწყების მიზნით), მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში საათის ისრები ხელოვნურად გადასწიეს ერთი საათით წინ ზოლურ დროსთან შედარებით. საბჭოთა კავშირის 1930 წლის დეკრეტის მიხედვით მის მთელ ტერიტორიაზე ყოველ საათურ ზოლში საათის ისარი გადაწეულ იქნა ერთი საათით წინ, ე. ი. ყოველ ზოლზე ვრცელდება მისი აღმოსავლეთით მოსაზღვრე ზოლის დრო. ასეთ დროს ჩვენში უწოდეს დეკრეტული დრო და აღნიშნეს T -თი. ცხადია, რომ T დეკრეტული დროდან გადასვლა T_N ზოლურ დროზე შეიძლება ფორმულით:

$$T_N = T - 1^{\circ}, \quad (1.5.3.9)$$

ხოლო შემდეგ T_0 მსოფლიო დროზე (8) ფორმულის გამოყენებით გადავალთ

$$T_0 = T_N - N = T - (N + 1). \quad (1.5.3.10)$$

მაგალითი 1.5.3.5. მესამე ზოლში ($N=3$) ვარსკვლავს ვაკვირდებით პოვრით, როცა დეკრეტულ დროთი $T=21^h 45^m 48^s$. მსოფლიო დროის სისტემაში რას ედრება დაკვირვების დრო?

პასუხი (10) ფორმულის მიხედვით:

$$T_0 = 21^h 45^m 48^s - (3+1) = 17^h 45^m 48^s.$$

მეორე ზოლის დეკრეტულ დროს უწოდებენ მოსკოვის დროს. საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე რკინიგზის, კავშირგაბმულობისა და სამხედრო საქმეში მიღებულია მოსკოვის დრო. მაგალითად, მოსკოვში ზოლური დროით იქნება 2^h , რადგანაც მოსკოვი მეორე ზოლშია, ხოლო მოსკოვის დროით იქნება 3^h . ასევე, თბილისში ზოლური დროით იქნება 3^h , ხოლო დეკრეტული დროით 4^h .

ზემოხსენებული ფორმულები მრავალნაირ შესაძლებლობას გვაძლევს განვსაზღვროთ ადგილის გრძედო.

(1) ცხრილში მოცემულია დროის ათვლის სისტემები, რომლებიც პრაქტიკულად გამოიყენებიან.

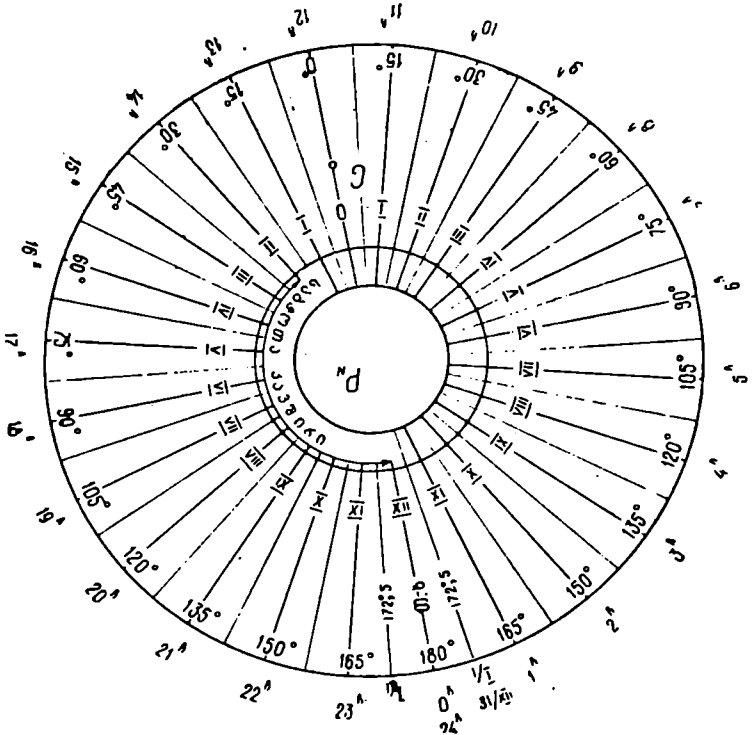
ცხრილი 1.5.3.1.

დროის ათვლის სისტემის დასახელება	დროის ათვლის საწყისი	დროის ერთეული
δ ადგილობრივი ვარსკვლავთმომერი დრო	დაკვირვების ადგილის ციურ მერიდიანზე გაზაფხულის ბუნიობის ორწერტილის ზედა კულმინაციის მომენტი	ვარსკვლავთმომერი დღე-ღამე
δ_0 მსოფლიო (გრინვიჩის) ვარსკვლავთმომერი დრო	საწყის (გრინვიჩის) ციურ მერიდიანზე გაზაფხულის ბუნიობის ორწერტილის ზედა კულმინაციის მომენტი	იგივე
m წერტილის ნამდვილი T_m ადგილობრივი საშუალო მზისმომერი დრო	ადგილის ციურ მერიდიანზე საშუალო (ფიქტიური) მზის დაკვირვების ქვედა კულმინაციის მომენტი	საშუალო მზის მომერი დღე-ღამე
T_0 მსოფლიო (გრინვიჩის) საშუალო მზისმომერი დრო	საწყის (გრინვიჩის) ციურ მერიდიანზე საშუალო (ფიქტიური) მზის ქვედა კულმინაციის მომენტი	იგივე
T_N ზოლური საშუალო მზისმომერი დრო	სათობრივი სარტყლის ღერძა მერიდიანზე საშუალო (ფიქტიური) მზის ქვედა კულმინაციის მომენტი	იგივე
T დეკრეტული (მოსკოვის) საშუალო მზისმომერი დრო	აღმოსავლეთით მოსაზღვრე საათობრივი სარტყლის ღერძა მერიდიანზე საშუალო (ფიქტიური) მზის ქვედა კულმინაციის მომენტი	იგივე

1.5.4. თარიღის ცვლა (თარიღთა ცვლის ხაზი)

წინა პარაგრაფში ზოლური დროის შესაბამისად ნულოვანი ზოლიდან აღმოსავლეთისაკენ მოგზაურობისას ყოველ ზოლიდან გადასვლის დროს თითო საათით დაგვიკვირდება საათის ისრის წინ გადაწევა. მაშასადამე, ყოველი სრული შემოვლის შესაბამისად 24-ჯერ დაგვიკვირდება საათის ისრის წინ გადაწევა, მაგრამ თარიღის შეცვლის დროს გაუგებრობაში ვეარდებით:

როგორც ცნობილია, სავრთაშორისო შეთანხმების საფუძველზე საშუალო მზისმიერი დღე-ღამის დასაწყისად მიღებულია გრინვიჩის მერიდიანის ქვედა კულმინაციაზე საშუალო მზის გავლის მომენტი. მაშასადამე, თუ მზის დღელამური ხილული (მოჩენებითი) ბრუნვის ნაცვლად ნამდვილი თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის დღელამურ ბრუნვას განვიხილავთ, დღე-ღამის დასაწყისი იქნება გრინვიჩის მერიდიანის მეორე მხარე, რომლის გრძელი გრინვიჩიდან 180° უდრის. მსოფლიო შეთანხმების თანახმად, თარიღის ცვლის ხაზს დაახლოებით ამთხვევენ მერიდიანის ამ მხარეს და მას თვლიან საშუალო მზისმიერი დღე-ღამის დასაწყისად და ბოლოდ (0^h-24^h). როგორც აღვნიშ-



ნახ. 1.5.4.1.

ნეთ, თარიღის შეცვლის ხაზი მერიდიანს არ ემთხვევა, მიხვეულ-მოხვეულია, გადის წყნარ ოკეანეში და არასდროს კვეთს დასახლებულ ადგილებს.

(1) ნახაზზე ნაჩვენებია, რომ ნებისმიერი თარიღის შესაბამისი დღე-ღამის საათები (მაგალითად, 31 დეკემბერს) განაწილებულია თარიღის ხაზის ზოლიდან აღმოსავლეთისაკენ 0-დან 24 საათამდე. ეს იმას ნიშნავს, რომ 31 დეკემბერი ამოიწურა და გახდა 1 იანვრის 0 საათი. მაშასადამე, თარიღის ხაზის აღმოსავლეთი მხარე დღე-ღამის დასაწყისია ($31/XII$) და დასავლეთი მხარე კი დღე-ღამის ბოლო ($1/1$). მაშასადამე, თუ ამ ხაზს აღმოსავლეთიდან დასავლ-

თისაკენ გადაკვეთთ, თარიღი წინა რიცხვით შეიცვლება (თ. ხ. დასავლეთ ზონაში 1 იანვარია, ხოლო მის აღმოსავლეთ ზონაში 31/XII). XII ზონის შესაბამისად 172 1/2° და 172 1/2° იქნება 0 საათი 1 იანვრისა, ანუ შემდეგი რიცხვისა (ნახ. 1). საბჭოთა კავშირის ტერიტორია მოქცეულია II და XII ზონის შორის, ე. ი. დედამიწაზე ახალი წელი ყველაზე ადრე საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე იწყება.

ზემოთ აღნიშნეთ, რომ დედამიწის გარშემოვლის დროს თარიღის დადგენისას გაუგებრობაში ვვარდებით. ამ შემთხვევაში თარიღის ცვლის ხაზს იყენებენ დედამიწის ბრუნვა-გარემოქცევის შესაბამისად დროის მოსაწესრიგებლად. ვთქვათ, თარიღის ხაზიდან აღმოსავლეთით, ანუ დედამიწის ბრუნვის მიმართულებით ვიწყებთ მოგზაურობას და ყოველ დღე-ღამეში ვახდენთ გადაადგილებას 15°-ით, რის გამოც შესაბამისად დაგვეკირდება საათის ისრის წინ გადაწევა თანდათანობით თითო საათით. როგორც ვხედავთ, დედამიწის სრულ შემოვლას დასჭირდება 24 დღე-ღამე, ხოლო საათის საშუალებით და მზის ამოსვლის აღრიცხვის რაოდენობით (25-ჯერ ამოვა მზე). თითქოს დედამიწის გარშემო სრულ შემოვლას დასჭირდება არა 24 დღე-ღამე, არამედ 25 დღე-ღამე. მაშასადამე, საწყის წერტილში დაბრუნებისას ნაცვლად 25 იანვრისა მოგვეჩვენება, რომ ერთი დღე-ღამე წაგვემატა 26 იანვრის სახით. აღნიშნული მოვლენის მიზეზია ის, რომ თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის 24 შემობრუნების შესაბამისად ჩვენ ვიხილეთ 24-ჯერ მზის ამოსვლა და ამავე დროს ჩვენ თვით შემოვუარეთ დედამიწას ამ ხნის განმავლობაში ზედმეტად ერთჯერ, რის გამოც ოცდამეხუთეჯერ ვიხილეთ მზის ამოსვლა, რაც მხედველობაში არ უნდა მიგვეღო. ასე რომ, საჭიროა, როცა მოგზაურობის დროს თარიღის ხაზს ვკვეთთ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ (აზიიდან — ამერიკისაკენ), სათვალავიდან ერთი დღე უნდა ამოვაგროთ. მაგალითად, მიღებულთ 26 იანვარი ჩავთვალოთ 25 იანვრად და გავჯარჯლოთ თარიღები, ხოლო თუ აღნიშნულ ხაზს გადაკვეთთ აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ (ამერიკიდან — აზიისაკენ), ე. ი. თუ მოგზაურობა დედამიწაზე დავიწყეთ მისი ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ზემოთ განხილული შემთხვევის შესაბამისად ერთ დღე-ღამეს დავკარგავთ და თითქოს საწყის წერტილზე დავბრუნდით 23 იანვარს, ნაცვლად 25 იანვრისა. მაშასადამე, სწორი ანგარიშისათვის ანგარიშით მიღებულ 23 იანვრის შემდეგი 24 იანვარი უნდა გამოვტოვოთ და მის ნაცვლად პირდაპირ ჩავეწეროთ თარიღი 25 იანვარი და გავჯარჯლოთ იანვრის თვის დღეები.

1.5.5. წელთაღრიცხვა

წლების აღრიცხვის სისტემას კალენდარს უწოდებენ. როგორც ცნობილია, საერთოდ დროის საზომ ძირითად (ბუნებრივ) ერთეულად იყენებენ დედამიწის ბრუნვისა (საშუალო მზისმიერი დღე-ღამე) და მზისაღმამი გაოგმოქცევის (ტროპიკული წელი) შესაბამის პერიოდებს. აგრეთვე გამოიყენება დედამიწისაღმამი მთვარის გარემოქცევის პერიოდი, რასაც სინოლურა, ანუ მზისმიერი (გარემოქცევის საწყისში და ბოლოში მთვარე, დედამიწა და მზე გასწვრიობაშია) თვე ეწოდება. ურთიერთდამოკიდებული ამ ძირითადი ერთეულების ერთმანეთთან დაკავშირება მათი უთანაზომობის გამო მეტად რთულია, რადგანაც დროის მსხვილი ერთეულები. გამოსახულნი წვრილ ერთეულებში,

წარმოადგენს უსასრულო არაპერიოდულ წილადებს, ანუ ირაციონალურ რიცხვებს. მაგალითად, სინოლური (ტროპიკული, მზისმიერი) წელიწადი = $365^{\circ} 5' 48''$, $045 = 365,2422\dots$ დღე-ღამეს. სინოლური (ტროპიკული, მზის-მიერი) თვე = $29^{\circ} 12' 44''$, $2,9 = 29,53059$ დღე-ღამეს.

აღნიშნული სირთულის გამო კაცობრიობამ დროის აღრიცხვის სხვადასხვა სისტემა შეიფუშავა. ჩვენში და მრავალ სხვა ქვეყანაში მიღებულია წლის პერიოდი განისაზღვროს საშუალო მზისმიერი დღე-ღამეების საშუალებით. მხოლოდ, დროის მსხვილ ძირითად ერთეულად ტროპიკული (მზისმიერი) წელის მიღება სამეურნეო საქმიანობისათვის უხერხული და პრაქტიკულად თითქმის შეუძლებელია, რადგანაც ყოველი ახალი წელი დაიწყებოდა არა შუალამისას, არამედ ყოველ ჯერზე დაახლოებით 6 საათით გვიან: მაგალითად, შუალამისას, შემდეგ წელს დილის 6 საათზე, შემდეგ — დღის 12 საათზე და ა. შ. აღნიშნული მიზეზით, წელთაღრიცხვის სისტემა როგორც არ უნდა იყოს მიღებული, სთვლიან, რომ სამოქალაქო წელი შეიცავს საშუალო მზისმიერ დღე-ღამეების მთელ რიცხვს. რომ არ დაიბრუნოს წელიწადის დროები, სამოქალაქო წლის ხანგრძლივობას ამთხვევენ ბუნებრივ (ტროპიკულ) წელს შემდეგნაირად: ყოველ სამოქალაქო წელს სთვლიან 365 დღე-ღამედ (თებერვალი 28 დღე-ღამეა), ხოლო მეოთხე სამოქალაქო წელს სთვლიან ნაკიანად, ანუ 366 დღე-ღამედ (თებერვალი 29 დღე-ღამეა). ამ ღონისძიებით სამოქალაქო წლის საშუალო ხანგრძლივობა გამოვა 365, 25 დღე-ღამე. მაშასადამე, საშუალო სამოქალაქო წელიწადი მეტი იქნება ტროპიკულ წელიწადზე დაახლოებით 0,0078 დღე-ღამით. ეს კი 400 წლის განმავლობაში იწყვეს წლის დროებისადმი ჩამორჩენას დაახლოებით 3 დღე-ღამით. ამიტომ არ უნდა ვაპყნობთ გრიგოლ XIII 1582 წელს შემოიღო წელთაღრიცხვის ახალი წესი, რომელსაც ჩვენც შევეუბრთდით და ზუსტი გამოთვლების შესაბამისად საბჭოთა მთავრობის დეკრეტით 1918 წლის 1 თებერვალი გამოცხადებულ იქნა 14 თებერვლად, რასაც ახალი სტილი ეწოდა. როგორც ვხედავთ, ახალი სტილით სამოქალაქო წელი, რომლის დასაწყისად მოხერხებულობის გამო დანიშნულია პირველი იანვარი (გაზაფხული 1 აპრილით იწყება), უფრო ახლოა ტროპიკულ წელთან, რომლის წელიწადის დროების (გაზაფხული, ზაფხული, შემოდგომა, ზამთარი) დასაწყისია 21/III.

იმისათვის, რომ მომავლისათვის აღარ დაგვეპირდეს კიდევ ახალი სტილის შემოღება, ანუ აღარ დაგროვდეს დღეები, შემოღებულ იქნა შემდეგი წესი წელთაღრიცხვისა: ნაკიანად (366 დღე-ღამე) ითვლება ის წელიწადი, რომლის გამომსახველი რიცხვი იყოფა უნაშთოდ ოთხზე, გარდა იმ წლებისა, რომლებიც შეიცავენ ისეთ მთელ საუკუნეებს, რომელთა საუკუნეების გამომსახველი რიცხვი არ იყოფა ოთხზე. მაშასადამე, 1600, 2000, 2400 და ასე ოთხი საუკუნის ჯერადი წლები ითვლება ნაკიანად (თებერვალი 29 დღე-ღამე), მხოლოდ 1700, 1800, 1900 წლები ითვლება ჩვეულებრივ სამოქალაქო წლებად (365 დღე-ღამე). ამ წესით კალენდარის წარმოება ძლიერ ახლოა ბუნებრივ წელთაღრიცხვასთან. დაახლოებით 400 წლის პერიოდში განსხვავება $2^{\circ} 53''$ იქნება, რაც 3300 წლის მანძილზე 1 დღე-ღამეს უდრის.

ზემოხსენებული წესით წელთაღრიცხვას მხოლოდ ის ნაკლი აქვს, რომ თვეებში და მის შემდეგად კვარტალებში (წელიწადის დროებში) დღეთა რაოდენობა სხვადასხვაა. ამ ნაკლის გამოსწორების მიზნით დამუშავებული სხვადასხვა პროექტებისაგან უფრო მიზანშეწონილია შემდეგი პროექტი:

I კვარტალი, ზამთარი.	II კვარტალი, გაზაფხული	III კვარტალი, ზაფხული	IV კვარტალი, შემოდგომა
იანვარი 3' დღე	აპრილი 31	ივლისი 31	ოქტომბერი 31
თებერვ. 30 „	მაისი 30	აგვისტო 30	ნოემბერი 30
მარტი 30 „	ივნისი 30	სექტემბერი 30	დეკემბერი 30
91 დღე=13 კვირა	91 დღე=13 კვ.	91 დღე=13 კვ.	91 დღე=13 კვ.

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: 1. დეკემბერსა და იანვარს შუა ყოველწლიურად ჩაემატება ერთი უთარილო დღე. რომელიც ჩათვლება ახალი წლის არასამუშაო საერთაშორისო დღედ. 2. ნაქიან წელიწადში კი დამატებით ივნისსა და ივლისს შორის ჩაემატება ერთი უთარილო დღე, როგორც საერთაშორისო არასამუშაო დღე.

1.5.6. საშუალო მზისმიერი დღე-ღამის ცვალებადობა და ზუსტი საათის საკითხი

ციურ მერიდიანზე საშუალო მზის ზედიზედ ორჯერ გავლის დაკვირვებით დედამიწის ბრუნვის პერიოდი უდრის 24^h , ანუ 86400^s . ეს პერიოდი უკანასკნელ დრომდე ითვლებოდა მტკიცედ უცვლელად და ამიტომ ასტრონომიული საათებისაგან მოითხოვებოდა დაკვირვებებისათვის ხელსაყრელ დამუშავებში ადგილის ცის მერიდიანზე ვარსკვლავების გავლის დანაკვირვები ზუსტი დროის დაცვა. იმის გამო, რომ დაკვირვებებით დრო ისაზღვრებოდა 0,01 სექუნდის შეცდომით, საათებსაც მოეთხოვებოდა დღე-ღამეში, ანუ 86400 სექუნდში, ემუშავებინა ამავე ოდენობის შეცდომით, ანუ დაახლოებით $1/10^7$ სიზუსტით. რომ დაცულიყო ყოველივე მოთხოვნილი სიზუსტე, საათის ქანქარას სიგრძე უნდა ყოფილიყო უცვლელი და ამიტომ იგი მზადდებოდა ინვარიანსაგან, (ნიკელისა და ფოლადის შენადნობი), რომელსაც გაფართოების კოეფიციენტი ძლიერ მცირე აქვს, აგრეთვე საათს მასზე წნევისა და ტემპერატურის უცვლლობის მიზნით ინახავენ გერმეტულად და სხვა. იმის შედეგად, რაც შეიქმნა ისეთი საათი, რომელიც რამდენიმე დღით უცვლელად ინარჩუნებს თავის სვლას, შენიშნულ იქნა, რომ დედამიწის კუთხური ბრუნვის სიჩქარე, ანუ დღე-ღამური პერიოდი, ცვალებადია. მზის სისტემის სხეულების მოძრაობის თანამედროვე თეორია შესაძლებლობას გვაძლევს ზუსტად დავადგინოთ დაბნელებანი წარსულში და აწმყოში. უძველესი დროებისა და თანამედროვე დაბნელების ურთიერთშედარებით პირველად დადგინდა, რომ დღე-ღამის ხანგრძლივობა იცვლება. გამოირკვა, რომ ჩვენს დროსთან ახლო დაბნელებები უფრო ადრე ხდებოდა, ვიდრე ეს გამოთვლებით იყო მოსალოდნელი და ფიქრობდნენ, რომ ამის მიზეზი იყო თავის ორბიტაზე მთვარის აჩქარება. მაგრამ, ვინაიდან მთვარის მოჩვენებითი აჩქარების ახსნა ვერ მოხერხდა, როგორც შედეგი მზის სისტემის სხვა პლანეტების გრავიტაციული გავლენისა, დღე-ღამის ხანგრძლივობის ცვლა ახსნილ იქნა თვით დედამიწის ბრუნვითი მოძრაობის შენელებით, ანუ დროის ერთეულის გააგრძელებით. ამ შენელების მიზეზი ახსნილი იყო (1.4.3. პარაფრაფის 4 მუხლი), როცა განვიხილეთ მოქცევების საკითხი და აღვნიშნეთ, რომ მისი მიზეზია მთვარის მიზიდულობის ძალით გამოწვეული მოქცევითი ხახუნისა და სხვა, რომლებიც საუკუნეში ახანგრძლივებენ დღე-ღამეს დაახლოებით $0,0016$ სექუნ-

დით, ანუ დღე-ღამე გახანგრძლივებულია $5 \cdot 10^{-8}$ სეკუნდით. საუკუნეთა მანძილზე დღე-ღამის ეს მცირე გახანგრძლივება გროვდება და საათის ჩვენებასთან მნიშვნელოვან განსხვავებას იწვევს, რომლის აღმოჩენა ზუსტი სისტემატური დაკვირვებებით ძნელი არ არის. მაართადაც, რომელიმე საუკუნის დასაწყისში დამკვირვებელმა რომ შეარჩიოს მექანიკური თვალსაზრისით ისეთი იდეალური საათი, რომელიც პირველი ორი დღე-ღამის შესაბამისად გვიჩვენებდეს ზუსტად 86400 სეკუნდს, საუკუნის ბოლოს ეს საათი აღმოჩნდება არა-ზუსტი იმ მხრივ, რომ ამ საათით მეორე საუკუნის პირველი დღე-ღამის ხანგრძლივობა გამოვა 86400,0016 სეკუნდი. საათის საშუალო შეცდომა დღე-ღამეში პირველი საუკუნის მანძილზე, ანუ საუკუნის შუა შეიძლება მივიღოთ $0,0008$ სეკუნდი, ხოლო პირველ საუკუნეში საათის მთელი შეცდომა იქნება $365,25 \cdot 100 \cdot 0,0008 = 29$ სეკ. მეორე საუკუნის დასაწყისში საათის სვლის დღე-ღამური შეცდომა იქნება $0,0016$ სეკ, ხოლო ამ საუკუნის ბოლოს საათი დღე-ღამეს გამოხატავს $86400,0032$ სეკუნდის ჩვენებით. მეორე საუკუნის შუა წლებში საათის სვლის შეცდომა იქნება $\frac{0,0016 + 0,0032}{2} = 0,0024$ სეკ, ხო-

ლო მეორე საუკუნის მანძილზე საათი თავის შეცდომას გაზრდის $365,25 \times \times 100 \cdot 0,0024 = 88$ სეკუნდით, მაშასადამე, საათის შეცდომა ორივე საუკუნის ბოლოს იქნება $29 + 88 = 117$ სეკუნდი. მესამე საუკუნის დასაწყისში საათის სვლის დღე-ღამური შეცდომა იქნება $0,0032$ სეკ, ხოლო ამ საუკუნის ბოლოს საათი დღე-ღამეს გამოხატავს $86400,0048$ სეკუნდის ჩვენებით და მესამე საუკუნის შუა წლებში საათის სვლის დღე-ღამური შეცდომა იქნება $\frac{0,0032 + 0,0048}{2} = 0,0040$ სეკ, ხოლო მესამე საუკუნის მანძილზე საათის

შეცდომა გაიზრდება $365,25 \cdot 100 \cdot 0,0040 = 146$ სეკუნდით; მაშასადამე, საათის საერთო შეცდომა მესამე საუკუნის დამლევს იქნება $117 + 146 = 263$ სეკ და ასე თუ გავაგრძელებთ გამოთვლებს, მივიღებთ (1) ცხრილს.

ცხრილი 15.6.1.

წლები	სწრაფმავალი საათის შეცდომები		წლები	სწრაფმავალი საათის შეცდომები	
0	0	0	600	1 052 სეკ	17 ^m 32 ^s
100	29 სეკ	29 ^s	700	1 432	23 52
200	117	1 ^m 57 ^s	800	1 870	31 10
300	263	4 23	900	2 367	39 27
400	468	7 48	1000	2 922	48 40
500	730	12 10	2000	11 688	3 ^h 14 ^m 48 ^s

(1) ცხრილში და საერთოდ ტექსტში ნახსენებია საათის შეცდომა იმ გაგებით, რომ საათს მოეთხოვება მისი სვლა ზუსტად შესაბამისად დღე-ღამის ხანგრძლივობას. მაშასადამე, საათი დღე-ღამური ბრუნვის შესაბამისად უნდა ანელებდეს სვლას, ე. ი ყოველ დღე-ღამეში მისი ჩვენება მულამ უნდა იყოს 86 400 სეკუნდი, რის მიღწევაც შეუძლებელია. ამიტომ ფაქტობრივად ზუსტად მავალ საათს ეწოდება სწრაფმავალი საათი და მის გამო დედამიწის დღე-ღამური ბრუნვის შენელების გამოვლინების სიდიდეს უმართებულოდ უწოდებენ სწრაფმავალი საათის შეცდომას. (1) ცხრილი მო-

მაგალ საუკუნეებში მომუშავე მეცნიერთა საშუალებას მისცემს ზუსტად დაამ-
თხვიონ თავიანთი საათის ჩვენება ამჟამად მეცნიერთა მიერ ნაწინასწარმეტყვე-
ლებ მოვლენებს, რომელნიც დაკავშირებული არიან დროის აღრიცხვის სა-
კითხთან. მაგალითად, საშუალო მზის გავლის შესაბამისად ამჟამად, რომ ვი-
წინასწარმეტყველოთ მზის დაბნელება 100 წლის შემდეგი დროისათვის დღეს-
დღობით მოპართული ზუსტი მექანიკური საათით და ასი წლის შემდეგ მეც-
ნიერებმა მოისურვონ ჩვენს მიერ ნაწინასწარმეტყველები დაბნელების შემოწ-
მება, მათ თუ თავიანთი საათი არ გადასწიეს უკან 29 სექტდით (იხილეთ
ცხრილი 1), დაბნელება მოეკლინებათ 29^ე უფრო ადრე, რადგანაც მათი სა-
ათის სვლა შესაბამება 100 წლის ბოლოს, ანუ მათი საათი 29 სექუნდის
დაგვიანებით იმუშავეს, ვიდრე ჩვენი საათი, რომლითაც იყო ნაანგარიშები
მზის დაბნელება 100 წლის შემდეგ. ასე რომ, (1) ცხრილის ანალოგიურ
ცხრილს აუცილებლად უნდა ჰქონდეს შედგენის თარიღი.

მთვარის მიზიდულობის ძალით გამოწვეული მოქცევითი ხახუნის გამო
დღე-ღამის თანაბარი ცვალებადობის გარდა ადგილი აქვს დღე-ღამის არა-
თანაბარ ცვალებადობას, რომლის შედეგად გვეჩვენება, თითქოს მთვარის
მოძრაობა რამდენიმე წელი იმატებს აჩქარებას და მერე ანელებს. ეს შემთხვე-
ვითი გადახრები დღე-ღამეში იწვევს საათის შეცდომას ± 30 სექუნდით. ამ
შეცდომების მიზეზად ზოგი სთვლის წიაღში მასების გადაადგილებას. კვარ-
ცისა და ატომის ზუსტი საათების შექმნის შემდეგ, რომელთა სვლის მუდმი-
ვობა წელიწადზე მეტია, აღმოჩენილ იქნა დღე-ღამის ხანგრძლივობის ცვალე-
ბადობის კიდევ ერთი ფაქტი, რომლის მიზეზია დედამიწის ფიზიკურ ზედა-
პირზე ატმოსფეროს მასებისა და თოვლის გადაწარმოება.

როგორც ვხედავთ, დედამიწის ბრუნვის სიჩქარე აბსოლუტურად მუდ-
მივი არაა, მაშასადამე, თუ გვინდა დრო დიდი სიზუსტით განვსაზღვროთ, უნ-
და უარყოფით წარმოდგენა იმის შესახებ, თითქოს ყველაზე იდეალური საათი
არის მბრუნავი დედამიწა. ნაცვლად ამისა შეიძლება დავეყრდნოთ რაიმე პე-
რიოდულ პროცესს, რომლის სვლის თანაბრობა მეტი იქნება, ვიდრე დედამი-
წის ბრუნვის თანაბრობა. ასეთ მოვლენებს შეესაბამება ამი აქის მოლე-
კულები და ცეზიუმის ატომების რხევითი ცვალებადობა, რომ-
ლებიც საშუალებას გვაძლევენ აღვრიცხოთ დრო დაახლოებით $1/10^8$ სიზუს-
ტით. მაშასადამე, ასეთი საათი 300 წლის პერიოდში მოგვეცემს-ერთ სეკუნდ
შეცდომას, მაშინ როდესაც ამ პერიოდში $1/10^7$ სიზუსტის შესაბამისად დედა-
მიწის ბრუნვით მიღებული შეცდომა დაახლოებით 100 სეკუნდი იქნებოდა.
როგორც ვხედავთ, ატომის საათის შექმნამ საშუალება მოგვცა შებრუნებული
ამოცანის გადაწყვეტისა. თუ წინათ დედამიწის ბრუნვით წყდებოდა საკითხი
საათების მუშაობის თანაბრობის შესახებ, ახლა, პირიქით, ატომის საათით
დგინდება და ისაზღვრება დედამიწის ბრუნვის უთანაბრობის ოდენობები. გარ-
და ამისა, ატომის საათი იძლევა საშუალებას გაიზომოს სინათლის ტალღების
შენელება, როცა ისინი გასცდებიან მიზიდულობის ძლიერ ველს, რომლის
ეფექტი დიდი ხანია იწინასწარმეტყველა ფარდობითობის თეორიამ და რომე-
ლიც აქამდე მოწმდებოდა მხოლოდ იმ სინათლის ტალღებზე, რომელსაც ას-
ხივებდა მზე და ზოგიერთი ვარსკვლავები. ამჟამად ამ რელატიური ეფექტის
გაზომვის მიზნით ატომის საათს ათავსებენ დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავ-
რებზე.

1.5.7. ძრონომეტრი და საათი. საათის შესწორების განსაზღვრა და მისი ხარისხის შემოწმება

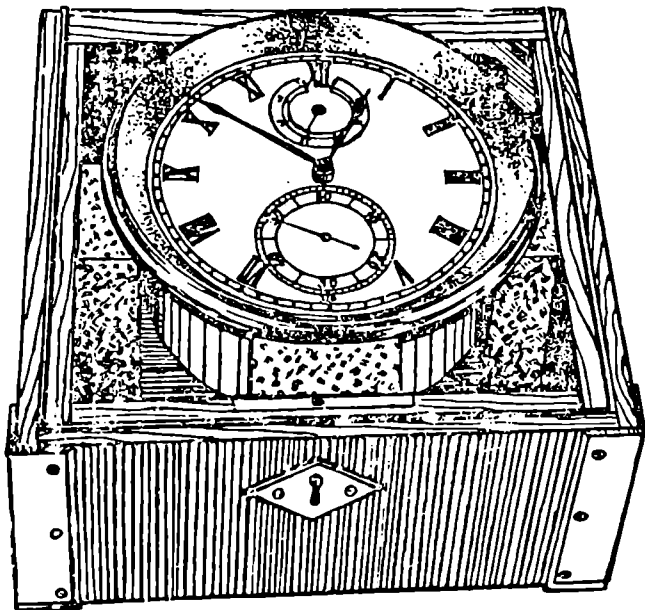
А. ძრონომეტრი და საათი

ასტრონომიული გაზომვების შესრულებას მიუხედავად იმისა, რომ უკვე არსებობს წინა პარაგრაფში განხილული ზუსტი საშუალებანი, დროის საზომად ჯერ კიდევ ხმარობენ ქრონომეტრსა და საათს.

კონსტრუქციის მიხედვით ქრონომეტრები არის ვარსკვლავთმომიერი და საშუალო.

ვარსკვლავთმომიერი ქრონომეტრები დროის მიმდინარეობას გვიჩვენებს ვარსკვლავთმომიერი დროის ერთეულებში (დღე-ღამე = 24^h) და გამოიყენება ვარსკვლავებზე დაკვირვების დროს.

საშუალო ქრონომეტრები გვიჩვენებს საშუალო მზიური დროის ერთეულებს და გამოიყენება როგორც მზეზე, ისე ვარსკვლავებზე დაკვირვების დროს. ზომების მიხედვით ქრონომეტრები არის მაგიდისა და ობიის.



ნახ. 1. 5. 7. 1.

მაგიდის ქრონომეტრი (ნახ. 1) წარმოადგენს ზუსტ საათს, რომელიც გამოირჩევა სვლის დიდი მუდმივობით. ქრონომეტრის მექანიზმი იძლევა ნახევარსეკუნდიან სვლის ცემას, რომელიც შეიძლება გვესმოდეს რამდენიმე მეტრ მანძილზე.

ქრონომეტრის ჩვენება სრულდება საათის, მინუტებისა და სექუნდების ისრით. პირველი ორი დამაგრებულია ციფერბლატის ცენტრში, ხოლო სექუნდის ისარს კი აქვს ქვემოთ თავისი ციფერბლატი. სექუნდის ციფერბლატის (ზემოთ), საწინააღმდეგო მხარეზე, მოთავსებულია საათის მომართვის ციფერბლატი, რომელზეც წარწერებია 8 საათის ინტერვალებით 0—56. მომართვის დროს ისარს მიიყვანენ 8-ზე, შემდეგ ამ ისარის გადაადგილების ჩვენებით არკვევენ რამდენი საათი გავიდა მომართვის შემდეგ. მიუხედავად იმისა, რომ მომართვა ორ დღე-ღამეს ყოფნის, მაინც საჭიროა ქრონომეტრი მომართოს ყოველ დღე რაც შეიძლება ერთსა და იმავე დროს. მინუტის ისარის გადაადგილება ხდება ქრონომეტრის მოსამართი გასაღებით, მხოლოდ ამ დროს მიღწეული უნდა იქნეს მინუტიანი და სექუნდიანი ისარის შეთანხმებულობა ისე, რომ სექუნდიან ისარს ხელი არ ვახლოთ (მისი გადაადგილება არ შეიძლება). საერთოდ, მინუტის ისარი ყოველთვის უნდა ვამოძრაოთ ისარის ბრუნვის მიმართულებით.

ქრონომეტრი მოთავსებული უნდა იყოს ხის ბუდეში (ფუტლარში) ისე, რომ ციფერბლატი მუდამ თარაზულად იყოს. ბუდიდან ქრონომეტრის ამოღება არ შეიძლება. იგი დაცული უნდა იქნეს ყინვებისა და მზის გავლენისაგან.

ჯიბის ქრონომეტრებიდან აზიმუტების შედარებით მაღალი სიზუსტით გაზომვების დროს იყენებენ მაჯის საათებს, რომელთაც აქვთ სექუნდების ცენტრალური ისარი.

როგორც გულმოდგინებითაც უნდა იყოს ქრონომეტრი თუ საათი დამზადებული, მაინც ირღევეა საათის სვლის მუდმივობა, რის მიზეზიცაა: ჰაერის ტემპერატურისა და წნევის ცვალებადობა, ხახუნის ძალისა და მექანიზმის ძალის ცვლა და სხვა. ამის გამო ასტრონომიული დაკვირვებების მომენტისათვის საჭიროა საათის შესწორებისა და გარკვეულ პერიოდში მისი სვლის ცვალებადობის, ანუ მისი ხარისხის, შემოწმების ცოდნა.

B. საათის შესწორების განსაზღვრა. საათის ხარისხის შემოწმება

საათის შესწორებას უწოდებენ მოცემულ ფიზიკურ მომენტში T საათის ზუსტ დროსა და T' საათის ჩვენებას შორის სხვაობას და აღნიშნავენ μ -თი. მაშასადამე,

$$\mu = T - T'. \quad (1.5.7.1)$$

შენიშვნა. საერთოდ (ზოგადად), მოცემულ ფიზიკურ მომენტში ზუსტ დროს აღნიშნავენ T -თი, ხოლო საათზე ანათვალს T' -ით.

საათის μ შესწორება ისაზღვრება დროის რიტმული სიგნალებით, რომლებსაც ყოველი საათის ბოლოს გადმოცემს რადიომათყულებელი სადგურები. ხმოვანი სიგნალების სერია შედგება ექვსი წერტილისაგან. მეექვსე წერტილის გადმოცემის T ზუსტ მომენტში, რომელიც შეესაბამება შემდეგი საათის ზუსტ საწყისს, საათზე აითვლიან ჯერ სექუნდებს, ხოლო შემდეგ მინუტებს და საათებს.

მაგალითი 1.5.7.1. სიგნალით გადმოცემულ ზუსტ $T = 20^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}}$ მომენტში საათზე ავითვალეთ $T' = 19^{\text{h}} 58^{\text{m}} 49^{\text{s}}$. რას ედრება საათის შესწორება. პასუხი — (1) ფორმულით

$$\mu = 20^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}} - 19^{\text{h}} 58^{\text{m}} 49^{\text{s}} = 1^{\text{m}} 11^{\text{s}},$$

ცხადია, საათის μ შესწორება იქნება დადებითი, როცა საათი ჩამორჩება, და უარყოფითია, როცა საათი წინ მიდის.

იმ შემთხვევაში, როცა საათის მექანიზმი არათანაბრად მუშაობს, მისი შესწორება განუწყვეტლივ ცვალებადია. საათის შესწორების ცვალებადობის დროს, გარკვეულ ინტერვალში (დღე-ღამეში, საათში), ეწოდება საათის სვლა (დღეღამური ან საათიერი). ცხადია, რომ საათის სვლა, რაც ω -თი აღინიშნება, შეიძლება დადგინდეს ტოლობით:

$$\omega = \frac{\mu_2 - \mu_1}{T_2 - T_1}, \quad (1.5.7.2)$$

სადაც μ_1 და μ_2 — საათის შესწორებებია, გამოთვლილი (1) ფორმულით, რომელშიც შეგვაქვს T_1 და T_2 ზუსტი დრო და შესაბამის მომენტებში საათზე T_1' და T_2' ანათვლები.

როდესაც გვინდა გავიგოთ საათის დღეღამური სვლა, მაშინ $T_2 - T_1$ სხვაობას გამოსახვენ დღე-ღამეებში, ხოლო როცა საჭიროა საათის საათიერი სვლა, მაშინ $T_2 - T_1$ სხვაობის წევრებს გამოსახვენ საათებში.

თუ ცნობილია ω საათის სვლა და μ_1 საათის შესწორება T_1 მომენტი-სათვის (ან μ_2 და T_2), მაშინ მნათობზე კოგრიით დაკვირვების T' დროის μ შესწორება შეიძლება გამოვითვალოთ ფორმულით:

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \mu_1 + \omega(T' - T_1) \\ \mu &= \mu_2 + \omega(T' - T_2) \end{aligned} \right\}, \quad (1.5.7.3)$$

სადაც T' შეაქვთ $0^h, 0^m$ დამრგვალებული.

ბოლოს, (1) ფორმულით გამოვითვალოთ მნათობზე კოგრიით დაკვირვების ზუსტი T მომენტი:

$$T = T' + \mu, \quad (1.5.7.4)$$

სადაც T' შეაქვთ დამრგვალების გარეშე.

სავალდებულოა კოგრიით მნათობზე დამიზნება და T' დროის საათზე აღება მოხდეს მუშა საათის (ან ქრონომეტრის) μ_1 და μ_2 შესწორებების განსაზღვრებებს შორის.

მაგალითი 1.5.7.2. წესისამებრ პოლარულ ვარსკვლავზე კოგრიით დამიზნებას წინ სიგნალით გადმოცემულ ზუსტ $T_1 = 22^h 00^m 00^s$ მომენტში საათზე ავიღეთ $T_1' = 22^h 01^m 16^s,6$ ანათვალი; შემდეგ კოგრი დავუმიზნეთ პოლარულ ვარსკვლავს და ამ მომენტში საათზე ავიღეთ $T' = 23^h 47^m 56^s$ ანათვალი და ბოლოს სიგნალით გადმოცემულ ზუსტ $T_2 = 1^h 00^m 00^s$ მომენტში საათზე ავიღეთ $T_2' = 1^h 01^m 17^s,8$ ანათვალი. საჭიროა გავიგოთ პოლარულ ვარსკვლავზე დამიზნებისას ზუსტი T დრო.

ამოხსნა.

1. განვსაზღვროთ μ_1 და μ_2 საათის შესწორებები (1) ფორმულის გამოყენებით:

$$\mu_1 = T_1 - T_1' = 22^h 00^m 00^s - 22^h 01^m 16^s,6 = -1^m 16^s,6,$$

$$\mu_2 = T_2 - T_2' = 1^h 00^m 00^s - 1^h 01^m 17^s,8 = -1^m 17^s,8;$$

2. გამოვითვალოთ ω საათის საათიერი სვლა (2) ფორმულით:

$$\omega = \frac{\mu_2 - \mu_1}{T_2 - T_1} = \frac{-1^m 17^s,8 - (-1^m 16^s,6)}{(1^h + 24^m) - 22^h} = -0^s,4;$$

3. განესაზღვროთ T' დროის u შესწორება (3) ფორმულით, სადაც T' შეაქვთ $0^h, 01$ დამრგვალებით:

$$u = u_1 + w(T' - T_1) = -1^m 16^s,6 + (-0^s,4) \times (23^h,8 - 22^h) = -1^m 17^s,3.$$

(3) ფორმულის შედგენის კონტროლი:

$$u = u_2 + w(T' - T_2) = -1^m 17^s,8 + (-0^s,4) \times (23^h,8 - 25^h) = -1^m 17^s,3.$$

მნათობზე დამიზნების ზუსტი T' მომენტი განისაზღვრება (1) ფორმულით, მხოლოდ აქ T' შეაქვთ დაუმრგვალებლად:

$$T = T' + u = 23^h 47^m 56^s + (-1^m 17^s) = 23^h 46^m 39^s.$$

საათის ხარისხი მაღალია, როცა მისი სვლა თანაბარია. მაშასადამე, საათის ხარისხის დასადგენად საჭიროა მისი სვლის დღელამური ცვალებადობის შემოწმება. სანამ მნათობებზე დაკვირვებას დაიწყებენ, მანამდე ხდება საათის დღელამური სვლის შემოწმება 6-10 დღე-ღამის მანძილზე (1) სქემის მიხედვით, შემდგენიარად:

1. ექვს დღე-ღამეს (სქემის 1 სვეტი) ერთი და იმავე ზუსტი T_1 მომენტების (2 სვეტი) შესაბამისად საათზე T_1' ანათელების (3 სვეტი) საშუალებით (1) ფორმულით გამოითვლება u_1 საათის შესწორებები (4 სვეტი);

2. (2) ფორმულით გამოითვლება სათანადო საათის u_2 დღელამური სვლები. მაშასადამე, (2) ფორმულის მნიშვნელში ყველგან იქნება 1^d (სქემის 5 სვეტი). მათი საშუალებით ისაზღვრება w საშუალო (5 სვეტი, ქვევით 8,3) განაზომთა შეცდომების თეორიის ფორმულით [28] და $u_2 = w_2 - w$, უალბათესი გადახრებით შეივსება სქემის 6 სვეტი, რომელთა ჯამი ნული უნდა იყოს და ასეც არის;

3. u_2 უალბათესი გადახრების კვადრატებით შეივსება სქემის 7 სვეტი;

4. იმავე განაზომთა შეცდომების თეორიის ფორმულით [28] გამოითვლება საათის საშუალო კვადრატული მერყეობა (მეშვიდე სვეტის ჯამი 0,56);

სქემა 1.5.7.1.

1968 წელი, ხაათი № 89/156

თარიღი და თვე	დღერტული ზუსტი დროები, T_1'	საათე ანათელები, T_1'	საათის შესწორებები, u_1	დღელამური სვლები, u_2	უალბათესი კვადრატული მერყეობა, w_2	u_2	კონტროლი, $u_2 \times w_2$	შენიშვნა
22 ივნისი	22 ^h 00 ^m 00 ^s	22 ^h 00 ^m 40 ^s ,0	-40 ^s ,0		+0 ^s ,1	0,01	+0,84	
23	22 00 00	22 00 31,5	-31,6	+8 ^s ,4	+0,3	0,09	+2,59	
24	22 00 00	22 00 23,0	-23,0	+8 ^s ,4	-0,1	0,01	-0,82	
25	22 00 00	22 00 14,8	-14,8	+8 ^s ,2	+0,3	0,09	+2,58	
26	22 00 00	22 00 06,2	-6,2	+8 ^s ,6	-0,6	0,36	-4,62	
27	22 00 00	21 59 58,5	+1,5	+7,7	-	-	-	
				-8,3	კონტ. 0 ^s ,1	0,56 [u ²]	0,56	

5. სქემის 8 სვეტი საკონტროლოა (7 და 8 სვეტების ჯამები ტოლი უნდა იყოს);

6. ბესელის ფორმულით გამოვიტოვოთ ყოველი ცალკეული დღეღამური სვლის საშუალო კვადრატულ მერყეობას [28]

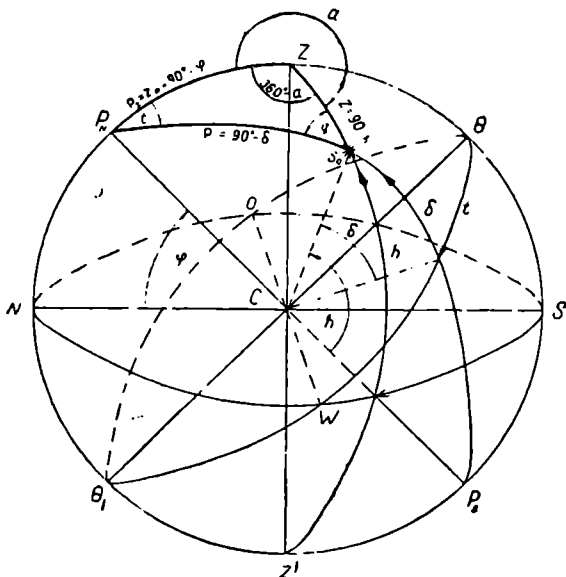
$$m = \pm \sqrt{\frac{[\sigma^2]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{0,56}{4}} = \pm 0,37$$

დღეღამური სვლის საშუალოთი არ ვსარგებლობთ, ამიტომ არც მისი საშუალო კვადრატული გადახრის გამოთვლაა საჭირო.

1.5.8. პარალაქსური სამკუთხედი. ცის სფეროზე კოორდინატთა სხვადასხვა სისტემებს შორის კავშირი

ერთი და იმავე მნათობის ციური კოორდინატების სხვადასხვა სისტემებს შორის მათემატიკური კავშირი ადვილად მყარდება თუ ყველა სისტემას ერთ ნახაზზე გამოვხაზავთ (ნახ. 1).

დაკვირვების ადგილის ციური $P_N Z P_S Z'$ მერიდიანისა და ნებისმიერი α_0 მნათობის $P_N \alpha_0 P_S$ დახრილობის (საათის) წრეხაზისა და $Z \alpha_0 Z'$ სიმაღ-



ნახ. 1. 5. 8. 1.

ღეთა (ვერტიკალის) წრეხაზების ურთიერთგადაკვეთით მიღებულ $P_N Z \alpha_0$ სფერულ სამკუთხედს ეწოდება პარალაქსური სამკუთხედი.

პარალაქსური სამკუთხედის წვეროებია: სამყაროს P_N პოლუსი, ადგილის Z ციური ზენიტი და α_0 მნათობი.

ამ სამკუთხედის გვერდებია ადგილის ციური მერიდიანის $P_N Z$, გერტიკალის (სიმაღლის წრეხაზის) $Z S_0$ და დახრილობის (საათ) წრეხაზის $P_N S_0$ რკალი, რომლებიც, შესაბამისად, გამოისახებიან შემდეგი დამოკიდებულებით (ნახ. 1):

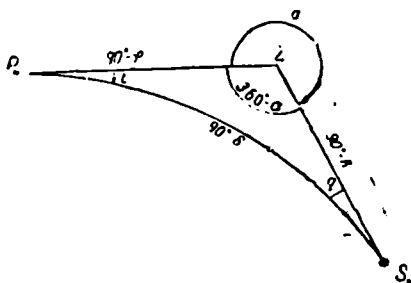
$$\left. \begin{aligned} P_Z = z_p = 90^\circ - \varphi \\ z = 90^\circ - h \\ p = 90^\circ - \delta \end{aligned} \right\} \quad (1.5.8.1)$$

სამკუთხედის კუთხეებია: $Z P_N S_0 = t$ საათ-კუთხე, ან მისი დამატება 360° -ზე, როცა მნათობი იმყოფება მერიდიანის მეორე მხარეზე. $P_N Z S_0 = 360^\circ - a$ ან $180^\circ - a$, როცა აზიმუტი აითვლება საშუალო ხაზის S — სამხრეთი მხარედან, და $P_N S_0 Z = q$ მნათობის პარალაქსური კუთხე, რომელსაც ციური ობიექტების გეომეტრიული ელემენტების განსაზღვრებში დამოუკიდებელი მნიშვნელობა არ აქვს.

როგორც ვხედავთ, პარალაქსური სამკუთხედის ორი $Z S_0$ და $P_N S_0$ გვერდი და ორი (t და $360^\circ - a$) კუთხე წარმოადგენს მნათობის ციურ კოორდინატებს, ხოლო ერთი გვერდი (p , ზენიტის პოლარული მანძილი, ანუ z_p პოლუსის ზენიტური მანძილი) არის დედამიწიდან დაკვირვების წერტილის φ გეოგრაფიული განედის ფუნქცია.

მისასადამე, როცა ცნობილია პარალაქსური სამკუთხედის სამი ელემენტი, სფერული ტრიგონომეტრიის ფორმულებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ მისი დანარჩენი ელემენტები, ანუ მნათობის ყველა კოორდინატები და ავრეთვე დაკვირვების ადგილის φ განედი.

დახრილობას, ჩვეულებრივ, იღებენ ასტრონომიული ყოველწლიურებიდან ან მზისა და კაშკაშა ვარსკვლავების კოორდინატების კატალოგებიდან მნათობზე დაკვირვების მომენტის მნიშვნელობის მიხედვით. h სიმაღლეს ან $Z S_0$, მოკლედ, z ზენიტურ მანძილს უშუალოდ ზომავენ კუთხზომი იარაღით, ხოლო სამკუთხედის მესამე ელემენტის, ანუ დედამიწიდან დაკვირვების ადგილის φ განედის, ან მნათობის t საათ-კუთხის ან a აზიმუტის უშუალოდ გაზომვის საშუალება ხშირად არა გვაქვს. ამიტომ ერთ-ერთი მთავანის ოდენობის დასადგენად ამოხსნიან პარალაქსურ სამკუთხედს, რისთვისაც დანარჩენი ორი უცნობიდან გამოსავლად იღებენ ერთ-ერთის მიხედვით მნიშვნელობას სხვა ორ ცნობილ ელემენტთან ერთად. მაგალითად, თუ გაზომვით მიღებული გვაქვს რომელიმე მნათობის h სიმაღლე და კატალოგიდან ამოვიღეთ მისი δ დახრილობის ოდენობა, შეგვიძლია დედამიწიდან დაკვირვების ადგილის φ განედის მნიშვნელობა ამოვიღოთ მსხვილმასშტაბიანი



ნახ. 1. 5. 8. 2.

რუკიდან (ცხადია ის იქნება მიახლოებითი) და განვსაზღვრავთ მნათობის a აზიმუტს (1.2.8.1) გვერდების კოსინუსების ფორმულის ამოხსნით:

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi)\cos(90^\circ - h) + \sin(90^\circ - \varphi)\sin(90^\circ - h)\cos(360^\circ - a),$$

ანუ

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos a. \quad (1.5.8.2)$$

მაშასადამე,

$$\cos a = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h}{\cos \varphi \cos h}. \quad (1.5.8.3)$$

ამ გზით მნათობის აზიმუტის განსაზღვრას უწოდებენ იმავე მნათობის სიმაღლის საშუალებით აზიმუტის განსაზღვრას.

მნათობის a აზიმუტის განსაზღვრა შეიძლება აგრეთვე ოთხი ელემენტის, ანუ კოტანგენტების (1.2.8.6) ტოლობებიდან მესამე ტოლობის გამოყენებით:

$$\cos(90^\circ - \varphi) \cos t = \operatorname{ctg}(90^\circ - \delta) \sin(90^\circ - \varphi) - \operatorname{ctg}(360^\circ - a) \sin t,$$

ანუ

$$\sin \varphi \cos t = \operatorname{tg} \delta \cos \varphi + \operatorname{ctg} a \sin t,$$

საიდანაც

$$\operatorname{ctg} a = \sin \varphi \operatorname{ctg} t - \frac{\cos \varphi \operatorname{tg} \delta}{\sin t} = \sin \varphi \operatorname{ctg} t - \frac{\cos \varphi \sin \delta}{\sin t \cos \delta} \quad (1.5.8.4)$$

ე. ო.

$$\operatorname{tg} a = - \frac{\cos \delta \sin t}{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t}. \quad (1.5.8.5)$$

მნათობის a აზიმუტის განსაზღვრის ამ წესს უწოდებენ მნათობის აზიმუტის განსაზღვრას იმავე მნათობის t საათ-კუთხის საშუალებით. (5) ფორმულის გამოყენება შეიძლება, თუ ზუსტი საათის საშუალებით გვექნება გაზომილი t საათ-კუთხე (დანარჩენების ცოდნა ზემოთ ნაჩვენებ გზით ზღვება). ამიტომ უდიდესი მნიშვნელობა აქვს დროის ვრთეულებისა და მათი გაზომვების საკითხების ცოდნას, რაც ვრცლად არის ახსნილი (1.5.2), (1.5.3) და (1.5.7) პარაგრაფებში.

მნათობის a აზიმუტის გაზომვა შეიძლება უშუალოდ. ამისათვის ორთოგონალურად, ანუ შევუღებით, დავაგვემილოთ $P_N Z \alpha_0$ პარალაქსური სამკუთხედის (ნახ. 1) წვეროები ჰორიზონტის სიბრტყეზე (ნახ. 2). ამ სამკუთხედის Z წვერო წარმოადგენს კუთხზომი იარაღის დაცენტრის ადგილს, ხოლო Z, P_N ხაზი მერიდიანის მიმართულება ჩრდილოეთისაკენ. მაშასადამე, განხილულ შემთხვევაში α_0 მნათობი იმყოფება დასავლეთისაკენ.

1.5.9. ხილული და ნამდვილი მიმართულება მნათობზე

მნათობების ნამდვილი მდებარეობა ხილულისაგან (მოჩვენებითისაგან) განსხვავდება იმის გამო, რომ მნათობებიდან წამოსული სინათლის სხივები დედაწიწის ატმოსფეროს ფენების მიმართ დახრილია და ატმოსფეროში შესილისას გადაიტეხება. ეს მოვლენა ჯაეღენას ახდენს მნათობთა მდებარეობისა

სადაც B არის ატმოსფეროს წნევა, მილიმეტრებში;

t — ჰაერის ტემპერატურა, გრადუსებში;

z — მნათობის ზენიტური მანძილი.

(1) ცხრილი შედგება ორი ნაწილისაგან. პირველ ნაწილში გაზომილი

z -სათვის მოთავსებულია r_0 საშუალო რეფრაქციის ოდენობა, გამოთვლილი

(2) ფორმულით, საშუალო $t=10^\circ$ და $B=760$ მილიმეტრისათვის. მეორე ნა-

წილში მოთავსებულია r_0 საშუალო რეფრაქციის შესწორებები Δr_1 ტემპერა-

ტურისა და Δr_B ატმოსფერული წნევებისათვის, შესაბამისად, გაზომილი t

ტემპერატურისა და B წნევისათვის. მაშასადამე, ასტრონომიული რეფრაქციის

ცხრილური შესწორება სამი ელემენტისაგან იქნება შემდგარი:

$$r = r_0 + \Delta r_1 + \Delta r_B. \quad (1.5.9.3)$$

ცხრილის I ნაწილი

ცხრილი 1.5.9.1.

რეფრაქცია (ხიზუბტე 1")
საშუალო რეფრაქცია ($T=10^\circ$; $B=760$ მმ)

z	r_0	z	r_0	z	r_0	z	r_0	z	r_0	z	r_0
0°	00'	$42^\circ 00'$	$0' 52''$	$60^\circ 00'$	$1' 41''$	$65^\circ 00'$	$2' 04''$	$70^\circ 00''$	$2' 38''$	$75^\circ 00'$	$3' 33''$
5	05	30	53	10	41	10	05	10	40	10	36
10	10	41 00	54	20	42	20	06	20	41	20	38
14	14	30	55	30	43	30	07	30	43	30	41
15	16	44 00	56	40	43	40	08	40	44	40	43
16	17	30	57	50	44	50	09	50	46	50	46
17	18	46 00	58								
18	19	30	59	61 00	1 45	66 00	2 10	71 00	2 47	76 00	3 49
19	20	46 00	1 00	10	45	10	11	10	49	10	51
20	21	30	01	20	46	20	12	20	50	20	54
21	22	47 00	02	30	47	30	13	30	52	30	57
22	24	30	03	40	47	40	14	40	53	40	4 00
23	25	48 00	05	50	48	50	15	50	55	50	03
24	26	30	06								
25	27	49 00	07	62 00	1 49	67 00	2 16	72 00	2 57	77 00	4 06
26	28	30	08	10	50	10	17	10	57	10	09
27	30	50 00	09	20	50	20	18	20	3 00	20	13
28	31	30	1 10	30	51	30	19	30	02	30	16
29	32	51 00	12	40	52	40	20	40	04	40	19
30	34	30	13	50	53	50	22	50	06	50	23
		52 00	14								
31	35	30	15	63 00	1 54	68 00	2 23	73 00	3 08	78 00	4 27
32	36	53 00	17	10	54	10	24	10	10	10	30
33	38	30	18	20	55	20	25	20	12	20	34
34	39	54 00	1 20	30	56	30	26	30	14	30	38
35	41	30	22	40	57	40	28	40	16	40	42
36	42	55 00	23	50	58	50	29	50	18	50	46
37	44	30	24								
38	45	56 00	26	64 00	1 59	69 00	2 30	74 00	3 20	79 00	4 50
39	47	30	27	10	2 00	10	32	10	22	10	55
40	49	57 00	1 29	20	01	20	33	20	24	20	69
		30	31	30	02	30	34	30	26	30	5 04
		53 00	33	40	02	40	36	40	29	40	08
$41^\circ 00'$	51	30	34	50	03	50	37	50	31	50	13
20	52	30	35								
42 00	52	59 00	36								
		30	1 38	65 00	2 04	70 00	2 38	75 00	3 33	80 00	5 18

Δ_Γ ტემპერატურისა და Δ_Γ B ბარიომეტრული წნეების შესწორებები

t		-20°	-15°	-10°	-5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	B	760	750	740	730	720	
B		z																		
0°	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0	0	0	0	0	0
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0	0	0	0	0	0
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30	0	0	0	0	0	0
40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	0	0	0	0	0	0
45	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45	0	0	0	0	0	0
50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	50	0	0	0	0	0	0
55	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	55	0	0	0	0	0	0
60	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	60	0	0	0	0	0	0
65	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	65	0	0	0	0	0	0
70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	70	0	0	0	0	0	0
71	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	71	0	0	0	0	0	0
72	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	72	0	0	0	0	0	0
73	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	73	0	0	0	0	0	0
74	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	74	0	0	0	0	0	0
75	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	75	0	0	0	0	0	0
76	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	76	0	0	0	0	0	0
77	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	77	0	0	0	0	0	0
78	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	78	0	0	0	0	0	0
79	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	79	0	0	0	0	0	0
80	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	80	0	0	0	0	0	0
81	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	81	0	0	0	0	0	0
82	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	82	0	0	0	0	0	0
83	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	83	0	0	0	0	0	0
84	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	84	0	0	0	0	0	0
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	85	0	0	0	0	0	0
86	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	86	0	0	0	0	0	0
87	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	87	0	0	0	0	0	0
88	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	88	0	0	0	0	0	0
89	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	89	0	0	0	0	0	0
90	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	90	0	0	0	0	0	0
91	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	91	0	0	0	0	0	0
92	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	92	0	0	0	0	0	0
93	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	93	0	0	0	0	0	0
94	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	94	0	0	0	0	0	0
95	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	95	0	0	0	0	0	0
96	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	96	0	0	0	0	0	0
97	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	97	0	0	0	0	0	0
98	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	98	0	0	0	0	0	0
99	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	99	0	0	0	0	0	0
100	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	100	0	0	0	0	0	0
101	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	101	0	0	0	0	0	0
102	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	102	0	0	0	0	0	0
103	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	103	0	0	0	0	0	0
104	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	104	0	0	0	0	0	0
105	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	105	0	0	0	0	0	0
106	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	106	0	0	0	0	0	0
107	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	107	0	0	0	0	0	0
108	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	108	0	0	0	0	0	0
109	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	109	0	0	0	0	0	0
110	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	110	0	0	0	0	0	0
111	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	111	0	0	0	0	0	0
112	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	112	0	0	0	0	0	0
113	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	113	0	0	0	0	0	0
114	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	114	0	0	0	0	0	0
115	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	115	0	0	0	0	0	0
116	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	116	0	0	0	0	0	0
117	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	117	0	0	0	0	0	0
118	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	118	0	0	0	0	0	0
119	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	119	0	0	0	0	0	0
120	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	120	0	0	0	0	0	0
121	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	121	0	0	0	0	0	0
122	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	122	0	0	0	0	0	0
123	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	123	0	0	0	0	0	0
124	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	124	0	0	0	0	0	0
125	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	125	0	0	0	0	0	0
126	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	126	0	0	0	0	0	0
127	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	127	0	0	0	0	0	0
128	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	128	0	0	0	0	0	0
129	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	129	0	0	0	0	0	0
130	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	130	0	0	0	0	0	0
131	71	71	71	71</																

მაგალითი 1.5.9.1. ეთქვათ, $h = 17^{\circ} 55'$, ანუ $z = 72^{\circ} 05'$; $t = +15^{\circ}$ და $B = 750$ მმ. (1) ცხრილის გამოყენებით გამოვითვალოთ r .

1. (1) ცხრილის პირველი ნაწილიდან $t = 10^{\circ}$ და $B = 760$ მმ. $z = 72^{\circ} 05'$ -სათვის ინტერპოლაციით ამოვიწეროთ

$$r_0 = 2' 58'';$$

2. მეორე ნაწილიდან გაზომილი $t = +15^{\circ}$ -სათვის $\Delta r_t = -3''$ და გაზომილი $B = 750$ მმ-სათვის $\Delta r_B = -2''$.

$$3. (3) \text{ ფორმულით } r = 2' 58'' - 3'' - 2'' = +2' 53''.$$

მაგალითი 1.5.9.2. $z = 76^{\circ} 23'$; $t = 22^{\circ} 07'$; $B = 745,2$ მმ.

1. პირველი ცხრილის პირველი ნაწილიდან ინტერპოლაციით $r_0 = 3' 55''$;

2. პირველი ცხრილის მეორე ნაწილიდან გაზომილი და დამრგვალებული $t = 22^{\circ}$ და $B = 745$ მმ ოდენობისათვის: $\Delta r_t = -10''$; $\Delta r_B = -4''$ (ორივესთვის

z მიიღება დამრგვალებული 76°).

3. (3) ფორმულით

$$r = 3' 55'' - 10'' - 4'' = +3' 41''.$$

დედამიწის ნამდვილი სახისა და მონათესაისი დედამიწის პრობლემა და მისი გადაწყვეტა

(დედამიწის ბუნებრივი ელემენტების ორგანიზებულად ექსპლოატაციის საწყისშივე კაცობრიობის წინაშე დაისახა პრობლემა დედამიწის ნამდვილი სახისა (ფიგურის) და ოდენობის, ანუ მისი გეომეტრიული ელემენტების, დადგენის შესახებ.)

(დედამიწის ნამდვილი სახის (ფიგურის) ქვეშ იგულისხმება მთლიანად მისი ხილული (რეალური) ზედაპირი. ამ ზედაპირის ნებისმიერი უბანი დედამიწის მოძრაობებისა, შედგენილობის სხვადასხვაობისა და გეოლოგიურს პროცესების გამო ურთულესი სახისაა და მუდამ ცვალებადია. მისი რელიეფი რაიმე მათემატიკური ფორმულებით ზუსტად გამოსახვა შეუძლებელია. ამიტომ დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისა და მისი ელემენტების გრაფიკულად რუკებისა და გეგმების სახით გამოსახვისათვის მიმართავენ გენერალიზაციის (განზოგადების) ხერხს.) მაგალითად, დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ნებისმიერი ხაზის მონაკვეთის განაზომი გამოსახავს არა ნამდვილ მანძილს ორ წერტილს შორის, არამედ უმოკლეს მანძილს მათ შორის; კავკასიონის მთაგრეხილი, რომელიც რუკებზეა წარმოდგენილი, გარკვეული სახის მიახლოებაა სინამდვილისა და სხვა. (გენერალიზაციის გამოყენებით დედამიწის ხილული ზედაპირის წერტილთა შდებარეობის, ანუ მათი სამივე კოორდინატის, უშუალოდ ამ ზედაპირზე განსაზღვრა შეიძლება საგანგებო ხერხებით, მაგრამ მეტად გართულდებოდა გამოთვლითი სამუშაოები. მაშასადამე, დედამიწის ხილული ზედაპირის უარესი სირთულის გამო მისი გამოყენება მანძილების, მიმართულებების, კუთხეების, ფართობების, წერტილების სიმალღეთა სხვაობებისა და სხვათა განსაზღვრისათვის თითქმის შეუძლებელია) აქვე დაეძინო, რომ ძრავალი ამოცანა დაკავშირებულია თვით ამ ზედაპირის შესწავლასთან, ე. ი. უცნობთა საშუალებით უცნობების განსაზღვრის შეუძლებლობის გამო ეს ზედაპირი არ შეიძლება ცნობილად ითვლებოდეს და, ცხადია, მას ვერ გამოვიყენებთ ზემოხსენებულ ელემენტების ოდენობების დასადგენად.)

, აღნიშნულმა დაბრკოლებამ გამოიწვია დედამიწის ხილულ ზედაპირზე ხაზების, მათი მიმართულებების, მიმართულებებს შორის კუთხეების, წერტილთა სიმალღეებისა და სხვა განაზომები რედუცირებული (დაყვანილი), ანუ საგანგებო ხერხებით დაგეგმილებული, ყოფილიყო თვით დედამიწიდან გამოყოფილ, მაგრამ დედამიწის ნამდვილი სახისადმი რაც შეიძლება ახლობელ ზედაპირზე. ამით, მართალია, იზრდება რედუცირებისათვის საჭირო გამოთვლითი სამუშაოები, მაგრამ გეგმილთ ზედაპირზე დაგეგმილებულ ელემენტებს შორის მათემატიკური გამოთვლების წარმოება შედარებით მნიშვნელოვნად მარტივდება და წერტილთა სამსამი კოორდინატის ერთობლივად განსაზღვრის ნაცვლად ისაზღვრება ორ-ორი (კოორდინატალური) კოორდინატი, ამ წერტილებს შორის უმოკლესი მანძილები, ანუ ე. წ. გეოდეზიური ხაზები და მათი აზიზუტები; ხოლო მესამე კოორდინატი კი განისაზღვრება ამ ზედაპირიდან საგანგებო ხერხებით. როგორც ვხედავთ, კაცობრიობა, ცხოვრობს რა ამ ურთულესი სახის ზედაპირზე და სარგებლობს დედამიწის ბუნებრივი ელემენ-

ტების სიკეთით, პრაქტიკის მოთხოვნის შესაბამისად, მრავალი საუკუნის მანძილზე ცდილობს რაიმე გზით შეისწავლოს ამ ურთულესი ზედაპირის გეომეტრიული სახე და იგი სხვადასხვა პრაქტიკული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით მთლიანად ან ნაწილ-ნაწილ შემცირებით, რუკების სახით, გამოსახოს სიბრტყეზე, რის გამო მეცნიერთა წინაშე დაისვა სამი ამოცანა: ერთის მხრივ, გამოიყოს ღეღამიწიდან მისი მთავარი ნაწილი მშვიდი ზედაპირის სახით, რომელიც ზედმიწევნით გამოსახავს ღეღამიწის საერთო (ზოგად) სახეს; მეორე მხრივ, მისი ზედაპირი გამოყენებულ იქნეს ღეღამიწის ხილულ ზედაპირზე მიღებულ განაზომთა რედუცირებისა და მათემატიკური დამუშავებისათვის და მესამე, ეს ზედაპირი გამოყენებულ იქნეს სიმალღეთა ათვისათვის, როგორც გამოსავალი (შესადარი), წერტილთა მესამე კოორდინატის (სიმალღების) დასადგენად.

ზემოხსენებულ დონისძიებათა სრულყოფილად შესრულება საშუალებას მოგვცემს ღეღამიწის ნამდვილი სახის გეომეტრიულად ასახვა-შემეცნებისას.

ღეღამიწის რეალური ტანიდან საერთო სახის გამოყოფას და მისი ფიგურისა და ზომების ზუსტად დადგენას, გარდა ზემოთ აღნიშნული — ღეღამიწის კეშმარტი ფიგურისა და ოდენობის განსაზღვრისა, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ასტრონომიაში, გეოლოგიაში, გეოფიზიკაში, დიდ მანძილებთან დაკავშირებულ თანამედროვე ტექნიკურ დარგებში, როგორცაა სარაკეტო ტექნიკა, ხელოვნური თანამგზავრების გაშვების საქმე და სხვა. მაგალითად, ასტრონომიაში ყველა ხაზოვანი მანძილები გამოსახულია ღეღამიწის საერთო სახის რადიუსის სიგრძის ერთეულებში; ასე რომ, ღეღამიწის საერთო სახის გამომსახველი პარამეტრები წარმოადგენს სამყაროს გეომეტრიული ელემენტების აღქმა-შემეცნებისა და შესწავლის საფუძველს.

ღეღამიწის საერთო სახის, მაშასადამე, ნამდვილი სახისა და ოდენობის დადგენას დიდი და საინტერესო წარსული აქვს. დასაბამიდანვე იგი იწყება საერთო სახის დადგენის ცდებით და მუდამ ითვლებოდა ბუნებათმეცნიერების ერთ-ერთ ძირითად პრობლემად.

გეოდეზიური თვალსაზრისით, როგორც ძველად, ისე ამჟამად ღეღამიწის საერთო სახის, ანუ საერთო ფიგურის, გამომსახველ ზედაპირად გულისხმობდნენ ისეთ იდეალურ პირეულს, რომელსაც მივიღებთ, თუ წყნარ მდგომარეობაში მყოფ მსოფლიო ოკეანეთა საშუალო დონეს (ანუ როცა მასზედ მხოლოდ სიმძიმის ძალა მოქმედებს და თავისუფალია მიმოქცევისა, ქარების გამო დღვისა და ატმოსფერული წნევების ცვალებადობის გავლენისაგან) აზრობრივ განვაგრძობთ წიადში ურთიერთ შეერთებამდე (შერწყმამდე) ისე, რომ ამ პირეულისადმი ყოველ წერტილში სიმძიმის ძალის (შვეულის) მიმართულება ნორმალს (მართობს) წარმოადგენდეს, ღეღამიწის საერთო სახის ამდაგვარად წარმოდგენას ის გამართლება აქვს, რომ მისი ხილული ზედაპირის უდიდესი ნაწილი (70,8%) მსოფლიო ოკეანეებს უჭირავს, რომლის დონის საშუალო მერყეობის (ერთი მეტრი) ოდენობა შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ; დანარჩენი კი (29,2%) ხმელეთის ზედაპირს წარმოადგენს (1.1.2.1 და 1.1.2.2 ცხრილი). ამავე დროს, როგორც იმავე ცხრილებიდან ჩანს, ღეღამიწის მყარი ტანის ფიზიკური ზედაპირის ვერტიკალური ამპლიტუდა მის საერთო სახესთან შედარებით 20 კილომეტრამდეა, ხოლო

ხმელეთის საშუალო ამაღლება კი 0,843 კმ აღწევს, რაც დედამიწის ოდენობასთან შედარებით შეიძლება უგულვებლევყოთ. მაგალითად, ერთი მეტრი დიამეტრის გლობუსზე მსოფლიოში ყველაზე მაღალი მწვერვალის ეკვრესტის სიმაღლე (8882 მ) დაახლოებით 0,7 მმ გამოისახება.

როგორც ცნობილია, სამყაროში ბუნებრივ მთავარ მიმართულებებს წარმოადგენს ადგილის ნებისმიერი წერტილებიდან გამოსული სიმძიმის ძალები, ანუ შვეული, მიმართულებები, რომელთაც უკავშირდება დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე ნებისმიერი სახის გაზომვები და, აგრეთვე, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მაგნიტური მთავარ მიმართულებებზე. მაშ. სადამე, ბუნებრივია, რომ ადგილის რუკების გამოსახვის მიზნით, გვემილთ ზედაპირად მივიღოთ დედამიწის საერთო სახის გამომსახველი ზემოხსენებული ზედაპირი, რადგანაც იგი განხორციელებს შვეული მიმართულებისადმი მუდამ მართობული, წყნარ მდგომარეობაში მყოფი სითხის (წონასწორობის, პორიზონტალური) პირეულისა.

ძირითადად, ზემოხსენებული მიდგომით, დედამიწის საერთო სახედ უძველესი დროიდან (ჩე. წელთაღმდე VI საუკუნიდან ჩვენი წელთაღრიცხვის XVII საუკუნის ბოლომდე) სთვლიდნენ სფეროს; შემდეგ XVII საუკუნის ბოლოდან XIX საუკუნის დასაწყისამდე — სფეროიდს; XIX საუკუნის დასაწყისიდან XX საუკუნის პირველ ნახევრამდე — გეოიდს და შემდეგ კი კვაზიგეოიდს. მაგრამ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომთა რელუციონებისა (დაყვანისა) და მათემატიკური დამუშავების ზედაპირად დღეისათვის მიღებულია, თანამედროვე გაზომვების შესაბამისად, განსაზღვრული პარამეტრების მქონე ე. წ. რეფერენც-ელიფსოიდი ან მისივე შესაბამისი სფეროს ზედაპირი (რასაც ქვემოთ ისტორიული თანამიმდევრობით გავაშუქებდ.)

1.6.1. დედამიწის საერთო სახე, როგორც სფერო

უძველესი დროიდან დედამიწის საერთო სახედ სფეროს აღიარებდნენ, რაც ამჟამად დედამიწის საერთო სახის პირველ მიახლოებად ითვლება. მაშ. სადამე, შვეულ ხაზებს დედამიწის საერთო სახის, როგორც სფეროს, ცენტრში გამავალ წრფეებად სთვლიდნენ. კაცობრიობის არსებობის სხვადასხვა პერიოდების შესაბამისად შეინიშნული დედამიწის საერთო სახის — სფეროსებურობის დამამტკიცებელი მრავალი მოვლენიდან მოვიყვანთ ზოგიერთს:

1. მთვარის დაბნელების დროს, ანუ როცა დედამიწა მოექცევა მზესა და მთვარეს შორის გასწვრივობაში, მაშინ მზის საწინააღმდეგო მხარედან დედამიწის ჩრდილი ეცემა მთვარის ზედაპირს და ეს ჩრდილი მუდამ წრიული ფორმისაა;

2. დედამიწის ხილული (გაშლილი ადგილის ან ღია ზღვის) ზედაპირის ნებისმიერი წერტილიდან გარემოს დამზერის დროს ნორმალურ ხილულ პორიზონტს აქვს წრიული ფორმა (1.3.1 პ);

3. ნებისმიერი მიმართულებით მოგზაურობისას დედამიწას გარს შემოვუვლით, რის გამოც ვკარგავთ ან ვიკებთ ერთ დღე-ღამეს (1.5.4. პ). მაგალითად, ამერიკის აღმოსავლეთ შედგება დედამიწის სფერულობის რწმენისა;

4. ტრიპოლ მინდორზე მოგზაურობის დროს საკნებთან მიახლოებისას პირველ რიგში მათი ზემო ნაწილი ჩნდება, დაშორებისას კი ქვემოთ უჩინარი ხდება. ზღვის პირას დგომისას ვიხილავთ, რომ გემის მოახლოებისას იგი ზე-

პოდან თანდათან სრულად გამოჩნდება და დაშორებისას ქვემოდან თანდათან უჩინარდება;

5. ეკვატორიდან ჩრდილოეთით (ასევე სამხრეთით) ტოლი სიჩქარით მერიდიანების მიმართულადაა გადაადგილებისას წერტილთა განედების ოდენობები ან რაც იგივეა სამყაროს პოლუსების სიმაღლეები, თანაბრად იზრდება; ამ დროს ვარსკვლავების სიმაღლეები თანაბრად მცირდება, რაც მერიდიანების მიმართულებით დედამიწის გამობურცულობას ნიშნავს; ან კიდევ, სხვადასხვა გრძედზე მზისა და ვარსკვლავების ამოსვლა-ჩასვლის დროებს შორის განსხვავებების ცვალებადობა ადასტურებს პარალელების მიმართულებით დედამიწის გამობურცულობას;

6. ამჟამად დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების საშუალებით დადგენილია, რომ დედამიწის ნამდვილი სახე ჩრდილო პოლუსისაკენ ამობურცულია და სამხრეთ პოლუსისაკენ კი შეზნეჭილი. ეს ამოზნეჭილ-შეზნეჭილობა დაახლოებით 25—30 მეტრის ფარგლებშია;

7. დედამიწის მსგავსება იმ პლანეტებთან, რომელთაც აქვთ სფეროსებური ფორმა.

ზემოხსენებულ (გარდა მე-3, მე-6 და მე-7 მოვლენისა) დაკვირვებათა შედეგად დედამიწის სფეროსებურობას აღიარებდნენ: ქალღებო, რომლებიც ფიქრობდნენ, რომ მთელ დედამიწას შეიძლება შემოვუაროთ ერთ წელიწადში; პითაგორას ფილოსოფიური სკოლა (ჩვ. წელთაღრიცხვამდე VI საუკ.) და ფილოსოფოსი არისტოტელე (ჩვ. წელთაღრიცხვამდე IV საუკ.); არქიმედე (ჩვ. წელთაღრიცხვამდე III საუკ.) კი ამტკიცებდა ოკეანეთა ზედაპირის სფერულობას, მანვე შემოიღო სფეროიდის ცნება.

A. დედამიწის სავითო ხანის, როგორც სფეროს რადიუსის განსაზღვრის პირველი ცდები

ალექსანდრიელმა (ეგვიპტე) მეცნიერმა ერატოსთენემ (ჩვ. წელთაღრიცხვამდე 276—195) ჩვ. წელთაღრიცხვამდე 230 წელს პირველმა გამოიყენა დედამიწაზე გაზომვები მისი (როგორც სფეროს) რადიუსის განსაზღვრისათვის. ამიტომ გეოდეზიის, როგორც სამეცნიერო დარგის, ფუძემდებლად ერატოსთენე ითვლება. მან წარმოადგინა, რომ ქალაქი სიენა (ამჟამად ქალაქი ასუანი) და ალექსანდრია ერთ მერიდიანზე მდებარეობდა (სინამდვილეში ასუანი ალექსანდრიის მერიდიანიდან აღმოსავლეთით 3°-თაა დაშორებული), რომელთა შორის 5 მანძილი ქარავენების მიმოსვლების სიჩქარისა და დროის დაკვირვებაზე დაყრდნობით 5000 სტადიის (დაახლოებით 792 კმ) ტოლად მიიღო, ხოლო ამ რკალის შესაბამისი კუთხე, ანუ ალექსანდრიის ფ⁰ განედსა და სიენას ფ⁰ განედს შორის ბ⁰ სხვაობა, მიაღო შუადღისას იმავე წერტილებიდან თანადროულად მზეზე დამზერილი ზენიტური მანძილების Z₁ და Z₂ სხვაობაზე გატოლებით (ნახ. 1). ეს სხვაობა განსაზღვრა შემდეგი მსჯელობით: ყოველი ზაფხულის 22 ივნისს (მზებუდობის დროს) სიენაში შუადღისას ღრმა კაში ჩანს მზე, ანუ მზე ზენიტში იმყოფება (χ₁⁰=0, η₁⁰=90°), ხოლო იმავე მომენტში ალექსანდრიაში უმარტივესი ინსტრუმენტის „სკაფისის“ გომონის (ან შვეული ლატანის) ჩრდილზე დაკვირვებით მზე გადახრილი იყო ზენიტიდან სრული წრეხაზის 1:50-ზე, ე. ი. მისი ზენიტური მანძილი χ₂⁰=360°:50=

ვარსკვლავ კანოპუსზე (α ARGUS) ასტრონომიული დაკვირვებით, რომლის Δ სიმაღლე თანადროულად ალექსანდრიაში $7^{\circ},5$, ხოლო როდოსზე 0° იყო. ეს გაზომვები უფრო ტლანქია, ვიდრე, ერასტოსთენესი, რადგანაც: როდოსზე მიღებულ მიმართულებაზე ჰორიზონტის ახლოს დიდ გავლენას ახდენდა იმ დროისათვის უცნობი რეფრაქცია და ნაცვლად 5° , რაც ამჟამად დადგენილია, სიმაღლეთა ანუ განედების სხვაობა შეცდომით მიღებული იყო $7^{\circ},5$; აგრეთვე მანძილი ზღვით ალექსანდრიასა და როდოსს შორის განსაზღვრულ იქნა არასაიმედოდ, ნაგების მიმოსვლაზე დაკვირვებით.

აღსანიშნავია, რომ ალექსანდრიელი ასტრონომი პტოლომეოსი (87—165) თავის გეოგრაფიაში გულისხმობდა დედამიწის სფეროსებურობას და მოჰყავდა დედამიწის რადიუსისა და ერთი გრადუსი რკალის სიგრძის ზომები უფრო მცირე, ვიდრე ეს დადგენილი იყო ერატოსთენესა და პოსეიდონის მიერ.

91

B. გრადუსული გაზომვების პირველი ცდები

ერატოსთენეს ზემოთ აღწერილი ხერხი საფუძვლად დაედო დედამიწაზე წერტილთა შორის მანძილებისა (განსაკუთრებით მერიდიანის მიმართულებით) და ამ წერტილების განედების სხვაობის საშუალებით დედამიწის რადიუსის განსაზღვრას, რასაც გრადუსული გაზომვები ეწოდა. მართლაც, თუ გვეცოდინება მერიდიანის რკალის სიგრძე S და 8° ცენტრალური კუთხე, რასაც ამპლიტუდას უწოდებენ, გარდა დედამიწის რადიუსისა [(2) ტოლობა], გამოვთვლით ერთი გრადუსის შესაბამისი რკალის სიგრძეს პროპორციიდან:



$$\frac{S_{1^{\circ}}}{S} = \frac{1^{\circ}}{8^{\circ}}$$

$$S_{1^{\circ}} = \frac{1^{\circ}}{8^{\circ}} S. \quad (1.6.1.3)$$

დედამიწაზე წერტილებს შორის მანძილების გაზომვა ხდებოდა გეოდეზიური ხერხების გამოყენებით, ხოლო წერტილებიდან თანადროულად მნათობებზე (მაგ., მზეზე) ზენიტური მანძილების გაზომვას ან ამ წერტილთა განედების განსაზღვრას ასტრონომიული ხერხებით აღწევდნენ. ამიტომ გრადუსულ გაზომვებში იგულისხმებოდა ასტრონომიულ-გეოდეზიური გაზომვები, რასაც, საერთოდ, გეომეტრიული ხერხი ეწოდება.

ჩვენი წელთაღრიცხვის დასაწყისში სხვადასხვა სოციალურ-ეკონომიური მიზეზების გამო საბერძნეთსა და ეგვიპტეში დაიწყო მეცნიერებისა და კულტურის დონის დაცემა. განადგურებულ იქნა ალექსანდრიის ბიბლიოთეკა. დაახლოებით მეცხრე საუკუნემდე არ მოგვეპოვება გეოდეზიური გაზომვების შესახებ რაიმე საყურადღებო ცნობები.

არაბთა სახელმწიფოს აღორძინების პერიოდთან არის დაკავშირებული მეცნიერებისა და კულტურის ძლიერი ზრდა, რის გამო 827 წელს დაიწყო დედამიწის ფიგურის დადგენის მიზნით ახალი გრადუსული გაზომვები. ეს გაზომვები წარმოებდა მუჰამედის მემკვიდრის გალუნალ-რა-აშიდის ე-ეის ხალ ფა აღ-შამუნის (786—833) დროს მდინარე ტიგრისისა და ქალაქი მოსულის დასავლეთით მესოპოტამიის ხეობის სინჯარის ველზე, რომ-

ლის განედია +35°. დედამიწის ზომების დადგენასთან დაკავშირებული ეს გაზომვები იყო პირველი, სადაც განხორციელებულ იქნა როგორც კუთხური, ისე ზაზოფანი გაზომვები. არაბი ასტრონომები (კალიდ-ბენ-აბდულ მელიქი და ალი-ბენ-იზე) აგრეთვე ზომავდნენ ერთ გრადუსიან რკალს და მერიდიანის შესაბამისად ვარსკვლავების სიმაღლეებს. მათი გაზომვების მიხედვით ერთი გრადუსის შესაბამისი რკალის სიგრძე ტოლი იყო 111,8 კმ, ხოლო დედამიწის სფეროს რადიუსი უდრიდა 6406 კმ. როგორც ვხედავთ, იმ დროისათვის განსაცვიფრებელია მიღებული განაზომების სინამდვილესთან ასეთი მიახლოება.

შუა საუკუნეებში აღმოსავლეთ მონგოლთა ტომების დამპყრობლური პოლიტიკის შედეგად, საერთოდ, დაეცა მეცნიერების დონე. XIII საუკუნეში საბოლოოდ დაინგრა არაბთა სახელმწიფო. ასე რომ, ამ პერიოდში დედამიწის ფიგურისა და ზომების დადგენის საკითხში არაფერი საყურადღებო ცნობები არ მოიპოვება.

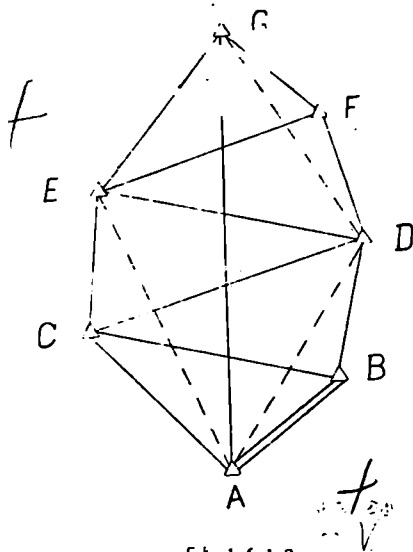
ევროპაში მომხდარი გარდატეხის შედეგად, როცა ვაჭრობა-მრეწველობასთან დაკავშირებით საჭირო შეიქნა მსოფლიო გზების აღმოჩენა და გამოყენება, გამოცოცხლდა და დიდი ყურადღება მიექცა დედამიწის ფორმისა და ზომების დადგენის საკითხის მოგვარებას. მაგრამ გაზომვების დაბალი დონისა და სათანადო მეთოდების არასრულყოფილობის გამო არაბთა მიერ შესრულებულ გაზომვების დონეს მაინცდამაინც ვერ სცილდებოდნენ.

დედამიწის რადიუსის განსაზღვრის ზემოხსენებული გრადუსული გაზომვების გარდა იყენებდნენ სხვადასხვა გეომეტრიულ აგებებზე დაყრდნობილ ხერხებს, როგორც იყო: აბუ რეიხან ბერუნის (972—1048), ხოლო ექვსი საუკუნის შემდეგ ინგლისელი რაიტი (1560—1615) მიერ პორიზონტის ა და დაბლების კუთხისა და h სიმაღლის საშუალებით დედამიწის R რადიუსის განსაზღვრა (ფორმულა 1.3.1.1.); კეპლერის (1571—1630) წინადადების შესაბამისად 1645 წელს იტალიელმა მეცნიერებმა რიჩიოლიმ (1598—1691) და გრიმალდმა (1618—1663) ცნობილი რკალის ბოლო წერტილებიდან უშორეს მნათობებზე თანადროულად განსაზღვრული ზენიტური მანძილების საშუალებით ამ რკალის ცენტრალური კუთხის (ამპლიტუდის) დადგენის გზით განსაზღვრეს დედამიწის რადიუსი, რამაც გრადუსულ გაზომვებთან შედარებით განვითარება ვერ პოვა რეფრაქციით გამოწვეული ნაკლები სიზუსტის გამო.

C. ტრინავულაციის გამოყენების პირველი ცდები

დედამიწის ნამდვილი სახის მეტისმეტი სირთულე მუდამ ხელის შემშლელი იყო ზაზების გაზომვების დროს, რაც საგრძნობლად გაუძირობდა მანძილების არაპირდაპირი ხერხით განსაზღვრის გამოგონების შედეგად. ეს ხერხი პირველად გამოიყენა დანიელმა ასტრონომმა ტიხონ-ბრაჰემ 1578 წელს, მაგრამ მის ფუძემდებლად სთვლიან პოლანდელ მეცნიერს სნელიუსს (1580—1626), რომელმაც ორ წერტილს შორის განსაზღვრული მანძილის შესაბამის სივრცეზე ააგო სამკუთხედების ქსელი, რომელშიც გაიზომა საში მცირე ზომის ბაზისი, ანუ ფუძე (აუცილებელი იყო მხოლოდ ერთი ბაზისი), და ყველა კუთხე ამ სამკუთხედებისა. სინუსების თეორემაში პირველი გვერდისა (ბაზისის) და გაზომილი კუთხეების გამოყენებით განსაზღვრა ქსელის სამკუთხედების ყველა დანარჩენი გვერდის სიგრძე, რამაც 14. ნ. თეზაძე

საშუალება მისცა ამ წერტილებს შორის მანძილის განსაზღვრისა. ხაზების სიგრძეების განსაზღვრისათვის საჭირო სამკუთხედთა ქსელს და ამ ქსელის შედგენის მეთოდსაც ეწოდა ტრიანგულაცია. ამ მეთოდის პირველყოფილი სახე განაზომთა, გამონათვალთა და, საერთოდ, სამკუთხედთა



ნახ. 1.6.1.2

საზღვრავენ $AC, BC, BD, CD, DE, CE, DF, EF, EG, FG$ გვერდებს; შემდეგ ცნობილი (განსაზღვრული) DE გვერდისა და შესაბამისი კუთხეებით საზღვრავენ AE, AD, DG გვერდებს; ამ გვერდებისა და სათანადო კუთხეების საშუალებით ისაზღვრება AG რკალის სიგრძე ორჯერ, რის შესაბამისად მოითხოვება დაცული იყოს შემდეგი ტოლობა:

$$AG = AE \frac{\sin \widehat{AEG}}{\sin \widehat{EGA}} = AD \frac{\sin \widehat{ADG}}{\sin \widehat{AGD}} \quad (1.6.1.4)$$

ცხადია, საკითხის ასე გადაწყვეტა გამოთვლის კონტროლისა და საიმედო შედეგის მიღების საშუალებას იძლეოდა. ამ ხერხის შედეგად ამაღლდა ზაზოვანი გაზომვების დონე; კუთხური გაზომვების დონე კი შედარებით მაღალი იყო. ტრიანგულაციის მეთოდი ამჟამად ფართოდ გამოიყენება როგორც ლედამის ფიგურისა და ზომების დადგენისათვის საჭირო გრადუსული გაზომვების, ისე სახელმწიფო კარტოგრაფიული და საგანგებო აგებმებისათვის, აგრეთვე დაკვალვებისათვის დასაყრდენ ქსელთა შექმნის საქმეში.

ტრიანგულაციის მეთოდი წარმატებით გამოიყენა პიკარმა (1620—1682), რომელიც 1669—1670 წლებში საფრანგეთის მეცნიერებათა აკადემიის დაკვალვებით ასრულებდა პარიზსა და ამიენს შორის რკალის გაზომვებს. ამ გაზომვების შედეგად $1^{\circ} 23' 55''$ რკალის სიგრძე მიღებულ იქნა 153689 მ,

საიდანაც 1° რკალს შეესაბამება 111,212 კმ, ხოლო $K=6371692$ კმ. თანამედროვე გაზომვებით იგივე რკალის 1° სიგრძეა 111,221 კმ. ვინაიდან გაზომვების ტექნიკა მაშინ დაბალი იყო, ასეთი თანმთხვევა შემთხვევითად ითვლება, მაგრამ მაინც აღსანიშნავია, რომ გაზომვები მაშინდელი დროისათვის შესრულებული იყო მაღალ დონეზე. პიკარი თარაზული კურონების გაზომვის დროს იყენებდა ძაფთა ბადით აღჭურვილ ჭოგრს, ხოლო ექსპლანის გაზომვისათვის — ზენიტურ სექტორებს.

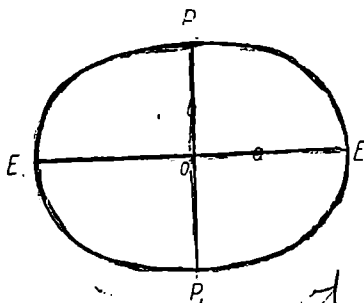
ცნობილია, რომ ნიუტონმა ათეული წლების განმავლობაში თავი შეიკავა მის მიერ აღმოჩენილი მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოქვეყნებისაგან (1687 წ.), ვიდრე არ შეამოწმა მთვარემდე ამ კანონის გავრცელების სისწორე, რისთვისაც პიკარის მიერ დედამიწის რადიუსის ზუსტი მნიშვნელობა გამოიყენა.

პიკარის მიერ შესრულებული სამუშაოები შეიძლება დამთავრებულად ჩითვალოს დედამიწის საერთო სახის ზომების დადგენისათვის შედარებით მეცნიერულ დონეზე დაყენებული საჭირო გაზომვითი სამუშაოების პირველი პერიოდი, რომელიც მოიცავს დაახლოებით 2000 წელს და რომლის დროს დედამიწის საერთო სახე წარმოდგენილი იყო მხოლოდ როგორც სფერო შეკეული ხაზების წრფეებად წარმოდგენის საფუძველზე, მაგრამ აქვე საჭიროდ მიგვაჩნია აღვნიშნოთ, რომ ამავე პერიოდში საფუძველი ეყრება დედამიწის ფიგურის თეორიის დადგენასთან დაკავშირებულ გრავიმეტრიულ (ფიზიკურ) გაზომვებს. ნიუტონის თანაბრად ფრანგმა ასტრონომმა რიშემ (1640—1696) 1672 წელს ეკვატორის ახლოს, სამხრეთ ამერიკაში მდებარე კაიენში, როცა ის აწარმოებდა მარსის პარალაქსის განსაზღვრებს, შენიშნა, რომ პარიზში შემოწმებული და დაყენებული ქანქარიანი საათი დედამიწეში უკან რჩებოდა 2,5 მინუტით და სწორი მსვლელობის აღსადგენად საჭირო ვახდა ქანქარის სიგრძე დაემოკლებინათ 3 მმ. ანალოგიურ მოვლენებს ამჩნევდნენ სხვა მოგზაური მეცნიერებიც, მაგრამ ვერცერთმა ვერ ახსნა ამ მოვლენის მიზეზი. მხოლოდ ნიუტონმა (1643—1727) შესძლო ახსნა შენიშნული მოვლენა პოლუსებიდან ეკვატორისაკენ სიმძიმის ძალის შემცირების მიზეზით.

1.6.2. დედამიწის საერთო სახე როგორც სფეროიდი

ნიუტონის მიერ მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოქვეყნებიდან (1687 წ.) იწყება დედამიწის საერთო სახის შესახებ ახალი წარმოდგენა, ანუ მეორე მიახლოება. ეს წარმოდგენა ეყრდნობოდა პიკარის იმის შესახებ, რომ დედამიწა თავიდანვე იყო გავარეარებულ-თხევად მდგომარეობაში, ამჟამად კი მისი უდიდესი ნაწილი დაფარულია წყლით. ნიუტონი თეორიულად ამტკიცებდა, დედამიწა რომ უძრავი იყოს, მაშინ მისი ნაწილაკები, ისე როგორც უძრავ და განცალკავებულ მდგომარეობაში მყოფი ნაწილაკების მქონე სითხე, ურთიერთმიზიდულობის გამო შექმნიდნენ სფეროს ფორმის სხეულს; მაგრამ დედამიწის დედამიწის ბრუნვის გამო ცენტრიდანული ძალის პოლუსებიდან ეკვატორისაკენ ზრდის

ზეგავლენით დედამიწა იღებს სფეროიდის, ანუ იმ ფიგურის სახეს, რომელიც პოლუსებისაკენ მცირედი შეკუმშულობის გამო ახლოა სფეროსთან. სფეროიდებისაგან მოთხოვნილ პირობას უფრო აკმაყოფილებს შედარებით მარტივი ფიგურა — ბრუნვის ელიფსოიდი (ნახ. 1), რომელიც მიიღება ელიფსის ბრუნვით მისი მცირე ღერძის ირგვლივ. ნიუტონის თეორიული დასაბუთება პრაქტიკულად დადასტურებულ იქნა დ. კასინის (1625—1712) მიერ იუპიტერის ბრუნვისა და შეკუმშულობის დადგენით.



ნახ. 1. 6. 2. 1.

როგორც ვიცით, მიზიდულობის ძალა წარმოადგენს სიმძიმის ძალისა და ცენტრიდანული ძალის დამკვერი ძალის ტოლქმედს და იგი დაახლოებით მიმართულია დედამიწის ცენტრისაკენ. მიზიდულობის კანონი ეხება არა ტანებს, არამედ წერტილების ურთიერთმიზიდულობას. ამ გავლენის შედეგად დედამიწის ტანში იცვლება მიზიდულობის ძალის შემადგენელი სიმძიმის ძალის მიმართულებები.

აღნიშნულის საფუძველზე დავასკვნით, რომ დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალა — მისი ოდენობა და მიმართულება — დამოკიდებულია დედამიწის შიგნით მასების განაწილებაზე. მაშასადამე, დედამიწის ფიგურა დამოკიდებულია დედამიწის აგებულებაზე. ამგვარად, ეს ორი პრობლემა — დედამიწის ფიგურა და დედამიწის შინაგანი აგებულება ურთიერთ მჭიდროდ დაკავშირებული პრობლემებია. ცხადია, თეორიულად დედამიწის, როგორც პლანეტის, ფიგურის განსაზღვრა შეუძლებელია; ამისათვის საჭიროა ემპირიული მასალების, ამ შემთხვევაში დედამიწის გრავიმეტრიული ველის მონაცემების დავაროება და სათანადო ანალიზი.

ვინაიდან ნიუტონს არ გააჩნდა მონაცემები დედამიწის შიგა აგებულების შესახებ, მან დაუშვა, რომ დედამიწა არის ერთგვაროვანი, ანუ მის ყველა წერტილში სიმკვრივე ერთნაირია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მანაც შევეულების მიმართულებები წრფიულად მიიღო. ამ დაშვებით განსაზღვრა ეკვატორზე ცენტრიდანული ძალისა და მიზიდულობის ძალის ფარდობა $q = \frac{1}{288}$ და მიიღო დედამიწის α შეკუმშულობა $\frac{5}{4} q$ -ს

ტოლი; ე. ი. $\alpha = \frac{5}{4} q = \frac{1}{230}$.

1690 წელს ნიუტონის თანამედროვემ პოლანდიელმა მეცნიერმა ჰაუგენსმა (1629—1695) დაუშვა, რომ მთელი დედამიწის მასა თავმოყრილია მის ცენტრში. მაშასადამე, თუ ნიუტონი ფიქრობდა, რომ დედამიწის მიზიდულობა არის ჯამი ყველა ნაწილაკის მიზიდულობებისა, ჰაუგენსის ჰიპოთეზით, მიზიდულობის ძალა დედამიწის ზედაპირზე არის მუდმივი და მიმართულია დედამიწის ცენტრისაკენ, ანუ იმ წერტილისაკენ, სადაც თავმოყრილია დედა-

$$\text{მიწის მთელი მასა. ამ მსჯელობით ძველენსმა მიიღო } \nu = \frac{1}{2} q = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{288} \\ = \frac{1}{576} .$$

დედამიწის შეკუმშულობის ოდენობების ზემოხსენებულ ორ მნიშვნელობათა შორის განსხვავებამ ეკვი დაბადა დედამიწის სფეროიდულობის შესახებ და საფრანგეთის აკადემიის ზოგიერთმა მეცნიერმა აზრი გამოთქვა, რომ დედამიწის საერთო სახე წააგავს ოვოიდს, ანუ ისეთ ტანს, რომელიც შეკუმშულია ეკვატორის გასწვრივ. ამ აზრს ადასტურებდა ფრანგი მეცნიერის ე. კასინის (1677—1756) მიერ პარიზის ქვემოთ 1718 წელს შესრულებული გრადუსული გაზომვების გამონათვლები, რომელიც ტლანქ შეცდომებს შეიცავდა და გამოდიოდა, თითქოს, 1°-ის შესაბამისი რკალი პარიზის ჩრდილოეთით უფრო მცირეა, ვიდრე სამხრეთით.

ამ საკითხის საბოლოო გადაჭრისათვის საფრანგეთის აკადემიის მიერ XVIII საუკუნის პირველ ნახევარში დედამიწის ფორმისა და ზომების ექსპერიმენტული გზით დადგენის მიზნით განმეორებით შესრულებულ იქნა სხვადასხვა განედების შესაბამისი გრადუსული გაზომვები, რისთვისაც ჩამოყალიბდა ორი ექსპედიცია: ეკვატორის მახლობლად, სამხრეთ ამერიკაში, სახელდობრ პეოუს ტერიტორიაზე და ჩრდილოეთის პოლარული წრის ქვემოთ, ლაპლანდიაში, რომელიც მდებარეობს სკანდინავიის ნახევარკუნძულზე. პერუს ექსპედიციამ, რომელშიც შედიოდნენ ბუგე (ხელმძღვანელი), გოდენი და ლაკონდამინი, იმუშავა 1735—1742 წლებში და გაზომა მერიდიანის რკალი 0° 2' 30" ჩრდილო განედსა და 3° 4' 30" სამხრეთ განედს შორის, რის შედეგად 1° რკალის სიგრძე გამოვიდა 110,602 კმ. ლაპლანდიის ექსპედიციამ, რომელშიც შედიოდნენ კლერო, მოპერტაჟი (ხელმძღვანელი), კამპუზა და ცელსიუსი, 1736—1737 წლებში გაზომა 57' 30" რკალის შესაბამისი სიგრძე 66° განედზე და მიიღო 1°-ის შესაბამისი რკალის სიგრძე 111,915 კმ. მაშასადამე, ჩრდილოეთით მდებარე რკალის სიგრძე 1,313 კმ მეტრად გამოვიდა, ვიდრე ეკვატორის ახლო მდებარე რკალის სიგრძე.

აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ ე. კასინიმ და ლაკაილმა (1713—1762) ზემოხსენებული ექსპედიციების დაბრუნებამდე შეამოწმეს პარიზის ჩრდილოეთითა და სამხრეთით ადრე ე. კასინის მიერ გაზომილი რკალები და თვით აღმოაჩინეს ე. კასინის მიერ დაშვებული შეცდომა, რომელიც შედეგი იყო გაზომვისა და გამოთვლების ტექნიკის იმ დროისათვის დამახასიათებელი დაბალი დონისა. აღნიშნული მიზეზით ე. კასინის მიერ დაშვებული შეცდომა გაზომილი რკალების ურთიერთაბზოლობის გამო მათი სიგრძეების სხვაობის ფარგლებშია. ასე რომ, სწორი ან იყო იმ დროს ვოლტერის მიერ დაცინებით კასინის ფსევდომეცნიერად აღიარება და მისი შეურაცხყოფა შექმნილი სიტყვებით: „მოპერტაჟი გაჭყლიტა დედამიწაც და კასინიც“.

როგორც ხედავთ, გრადუსული გაზომვების პირველი პერიოდის ბოლო წლებში და მეორე პერიოდში (1.6.1.2), (1.6.1.3) ფორმულების გამოყენებით დადასტურდა ნიუტონის აზრი დედამიწის საერთო სახის სფეროიდულობის შესახებ და დადგინდა, რომ მერიდიანის მიმართულებით ეკვატორიდან პოლუსებისაკენ ყოველი გრადუსის შესაბამისი რკალის სიგრძე, ანუ სიმრუდის რადიუსები, თანდათან იზრდება, რაც პოლუსებისაკენ დედამიწის შეზნევილობის

ბისა და ეკვატორისაკენ გამოზნევილობის დამადასტურებელია. (1) ცხრილი შედგენილია თანამედროვე გრადუსული გაზომვების შედეგად.

ცხრილი 1.6.2.1.

ფ.°	0-10°	10-20°	20-30°	30-40°	40-50°	50-60°	60-70°	70-80°	80-90°	საშუალო
δ ₁ ° კმ	110,61	110,71	110,85	111,01	111,23	111,42	111,56	111,66	111,70	111,21

აქვე აღვნიშნავთ, რომ ნიუტონისა და ჰუვენისის მსჯელობა ერთნაირია, მაგრამ ჰიპოთეზები არის ურთიერთუკიდურესა. ამჟამად ცნობილია, რომ დედამიწის სიმკვრივე მისი ზედაპირიდან თანდათან იზრდება ცენტრისაკენ, მაშასადამე, დედამიწის ნამდვილი შეკუმშულობა უნდა იყოს ნიუტონისა და ჰუვენისის მიერ მიღებულ ოდენობათა შორის. მაგალითად, ლალანდის ექსპედიციის მონაწილე ფრანკმა მათემატიკოსმა ა. კლერომ (1713—1765) გვიჩვენა, რომ, თუ პლანეტას აქვს სფეროიდის ფორმა, მასი α შეკუმშულობის ოდენობა უნდა იყოს ნიუტონის ჰიპოთეზის შესაბამისად დადგენილ α_1 -სა და ჰუვენისის ჰიპოთეზით დადგენილ α_2 -ს შორის. საკითხის ამდაგვარად გადაწყვეტის მართებულობა დასტურდება მზის სისტემის პლანეტების უკვე ცნობილი შეკუმშულობებით, რომელიც მოცემულია (2) ცხრილში.

ცხრილი 1.6.2.2.

პლანეტის სახელწოდება	დედამიწის გარშემო ბრუნვის პერიოდი	საშუალო სიკვრივე	გეოტორზე ცენტრიდანული ძალის ფარდობა მიზიდულობის ძალასთან, g	შეკუმშულობა ნიუტონის, $\alpha_1 = \frac{5}{4} g$	შეკუმშულობა ჰუვენისის, $\alpha_2 = \frac{1}{2} g$	თანამედროვე განსაზღვრებით, α
დედამიწა	23 ^h 56 ^m	5,5	1 : 288	1 : 280	1 : 576	1 : 293
მარსი	24 37	4,0	1 : 217	1 : 174	1 : 434	1 : 192
იუპიტერი	9 50	1,3	1 : 12	1 : 10	1 : 24	1 : 15
სატურნი	10 14	0,7	1 : 6	1 : 5	1 : 12	1 : 10
ურანი	10 42	1,3	1 : 13	1 : 8	1 : 26	1 : 14

მზის სისტემის პლანეტებისა და განსაკუთრებით კი დედამიწის შესახებ ცხრილში მოყვანილი ცნობები გვიჩვენებს, რომ ყოველი პლანეტის ფიგურა დამოკიდებულია მის შინაგან აგებულებაზე. როგორც ვხედავთ, ამ პერიოდში საუფძველი ჩაეყარა დედამიწის საერთო სახის დადგენის საქმეში,

გარდა გეომეტრიული (ასტრონომიულ-გეოდეზიური) მეთოდისა, ფიზიკურ (გრავემეტრიულ) მეთოდსაც. მაშასადამე, საჭიროა თანამედროვე მიდგომით გავეცნოთ როგორც გეომეტრიულ, ისე ფიზიკურ მეთოდს.

A. გრადუსულ გაზომვებში გეომეტრიული მეთოდის გამოყენების თანამედროვე არსი

გეომეტრიული მეთოდი დარჩა ძირითადად იგივე, მხოლოდ, თუ ძველად მოითხოვებოდა დედამიწის ერთი პარამეტრის (R რადიუსის) განსაზღვრა, ახლა ელიფსოიდურობის გამო საჭირო შეიქნა ორი პარამეტრის განსაზღვრა, რომელთაგანაც ერთ-ერთი პარამეტრი აუცილებლად უნდა ყოფილიყო ხაზი-ვანი. მაგალითად, საჭირო იყო: a დიდი (ეკვატორული) და b მცირე (პოლარული) ნახევარღერძის ან a დიდი ნახევარღერძისა და $a = (a - b) : a$ შეკუმშულობის ოდენობის დადგენა. მაშასადამე, გეომეტრიული მეთოდით შედგენილი განტოლებების რაოდენობა უნდა ყოფილიყო მინიმუმ ორი. ამასთან დაკავშირებით გეომეტრიული მეთოდით გრადუსული გაზომვების დროს რკალებებისა და ფართობების მეთოდი იქნა შემოღებული.

✓ A. რკალების მეთოდი X

რკალების მეთოდის არსი მდგომარეობს ტრიანგულაციის გამოყენებით დედამიწის ხმელეთის ზედაპირზე რკალების სიგრძეების დადგენასა და ასტრონომიული ხერხებით მათ ბოლოებში განედების ან გრძედების გაზომვაში. განაზომი რკალეა შეიძლება იყოს ურთიერთდაკავშირებული ან დაუკავშირებელი. რკალების გრადუსული გაზომვები ხდება მერიდიანებზე და პარალელებზე. პირველს უწოდებენ მერიდიანებზე, ხოლო მეორეს პარალელებზე გრადუსულ გაზომვებს.

მერიდიანებზე გრადუსული გაზომვების დროს იყენებენ ტოლობებს:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= a \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\rho'} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos(\varphi_1 + \varphi_2) e^2 - \dots \right] \right\} \\ S_2 &= a \frac{\varphi_4 - \varphi_3}{\rho''} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos(\varphi_3 + \varphi_4) e^2 - \dots \right] \right\} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.1)$$

სადაც S_1 და S_2 — ტრიანგულაციის მეთოდით განსაზღვრული მერიდიანის სხვადასხვა რკალის სიგრძეებია;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ — S_1 და S_2 რკალის შესაბამისი ბოლოების ასტრონომიული მეთოდებით განსაზღვრული განედები, სექუნდებში;

$\rho'' = 206265''$ — რადიანი;

$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$ — ელიფსოიდის პირველი ექსცენტრისიტეტი (1.6.5 პარა-

გრაფი).

პარალელებზე რკალების გრადუსული გაზომვების შემთხვევაში, გარდა ყოველი რკალის ფ განედისა, საჭირო ხდება მათი განაპირა წერტილების შესაბამისი λ_1, λ_2 და λ_3, λ_4 გრძედების გაზომვები ასტრონომიულად;

S_1' და S_2' რკალების სიგრძეები კი, ჩვეულებრივ, ტრიანგულაციის მეთოდით ისაზღვრება. a და e პარამეტრები ისაზღვრებოდა ტოლობებით:

$$\left. \begin{aligned} S_1' &= a \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\rho''} \cdot \frac{\cos \varphi_1}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_1)^{1/2}} \\ S_2' &= a \frac{\lambda_4 - \lambda_3}{\rho''} \cdot \frac{\cos \varphi_2}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_2)^{1/2}} \end{aligned} \right\}. \quad (1.6.2.2)$$

(1) ან (2) ტოლობებით გამოითვლება ელიფსოიდის a დიდი ნახევარღერძი და e ექსცენტრისიტეტი; შემდეგ (1.6.5) პარაგრაფში მოყვანილი ფორმულებით საზღვრავენ b მცირე ნახევარღერძსა და a შეეკუმშულობას, სახელდობრ დამოკიდებულებებით:

$$\left\{ \begin{aligned} b &= a(1 - e^2)^{1/2} \\ a &= \frac{a - b}{a} \approx \frac{e^2}{2} \end{aligned} \right\}. \quad (1.6.2.3)$$

ჩვეულებრივ, სიზუსტეს გაზრდის მიზნით იზომებოდა აუცილებელ ორ-ორ რკალზე მეტი. იმ შემთხვევაში, ანუ როცა მრავალი განტოლება იქნებოდა ამოსახსნელი, იყენებდნენ გაუსის (1752—1855) მიერ შექმნილ უმცირეს კვადრატთა მეთოდს. მაგალითად, ეს მეთოდი ფრანგმა მათემატიკოსმა ლე-ჟანდრმა (1752—1833) 1805 წელს პირველმა გამოიყენა დედამიწის სფეროიდის ელემენტების დასადგენად და შემდეგ 1819 წელს იგივე მეთოდით ფინელმა მეცნიერმა ვალბეკმა დაამუშავა დედამიწის გრადუსული განაზომები.

მრავალი გრადუსული გაზომვიდან აღსანიშნავია შემდეგი:

I. რუსეთის გრადუსული გაზომვები

1. აკადემიკოს გ. სტრუვეს ხელმძღვანელობით განხორციელებული (1816—1852) $\delta = 25^{\circ} 20', 2$ ამპლიტუდისა და 2800 კმ სიგრძის რკალის განსაზღვრა შვედეთსა და ჩრდილოეთ ყინულოვან ოკეანეს შორის;

2. $47^{\circ}, 5$ პარალელზე (1848—1858) კიშინოვიდან ასტრახანამდე $\delta = 20^{\circ}$ ამპლიტუდის შესაბამისი რკალის განსაზღვრა.

3. 52° პარალელზე (1861—1870) ირლანდიის დასავლეთ სანაპიროდან ოსკამდე (ჩაკოვი) $\delta_1 = 69^{\circ}$ საერთო ამპლიტუდისა და რუსეთის ნაწილში $\delta_2 = 39^{\circ} 24'$ ამპლიტუდის რკალის განსაზღვრა.

4. მერიდიანული რკალების განსაზღვრა $47^{\circ}, 5$ და 52° პარალელებს შორის [ორიოლ-ხარკოვისა და სიბირსკს (ულიანოვსკს)-ასტრახანს შორის].

II. უცხოეთის გრადუსული გაზომვები

1. საფრანგეთის გრადუსული გაზომვები დიუკირხენისა და ბარცელონას პარალელებს შორის და ლამბერის ხელმძღვანელობით, შესრულებული 1792—1797 წწ, ამპლიტუდის $\delta = 9^{\circ} 40'$;

2. დასავლეთი ევროპის გრადუსული გაზომვები შოტლანდიის ჩრდილოეთ კუნძულებიდან, ლონდონსა და პარიზზე გავლით ალჟირამდე $\delta = 27^{\circ} 02'$ ამპლიტუდის მერიდიანის რკალისა, რომლის განხორციელებას ერთ საუკუნეზე მეტი დასჭირდა (1783—1910 წწ);

3. ინდოეთის გრადუსული გაზომვები, რომელიც სრულდებოდა ექვარეტის და შერეუოკერის ხელმძღვანელობით (1799—1900) და რომლის შედეგად განისაზღვრა მრავალი მერიდიანული და პარალელის რკალები.

4. აშშ-ის გრადუსული გაზომვები (1833—1898 წწ), რომლითაც განისაზღვრა მრავალი მერიდიანული, პარალელისა და ირიბი რკალები, მათ შორის დიდი $b = 48^{\circ} 46'$ ამპლიტუდის იყო ტრანსკონტინენტური რკალა წყნაროკეანესა (სან-ფრანცისკოსა) და ატლანტიის ოკეანეს (ვაშინგტონს) შორის.

როგორც ვხედავთ, რკალების მეთოდს იყენებდნენ იმ დროს, როცა გრადუსული გაზომვები წარმოადგენდა ურთიერთგანცალკევებული ტრიანგულაციის მწყრივებს.

ბ. ფართობების მეთოდი

ფართობების მეთოდით გრადუსული გაზომვები ეყრდნობა შესაძლებლობის ფარგლებში გარკვეული სიზშირით ასტრონომიულ-გეოდეზიური პუნქტებით თანაბრად დაფარულ ტერიტორიებზე ქსელების გამოყენებას. ამ მეთოდში არ მოითხოვება, რომ გრადუსული განაზომები ერთ მთლიან ქსელს წარმოადგენდეს; აქ საკმარისია ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელი შეადგენდეს 200—300 კილომეტრით ურთიერთ დაშორებულ მერიდიანებზე და პარალელებზე შესრულებული ტრიანგულაციების მწყრივების კავშირს, მხოლოდ აუცილებელია თითოეულ მწყრივებში ყოველ 70 კილომეტრზე (გარდა მთიანი რაიონებისა) ასტრონომიული პუნქტების განსაზღვრა. თანამედროვე ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელები იქმნება ისეთი სქემითა და პუნქტების სიზშირით, რომ ის ვარგისი იყოს ფართობების მეთოდის გამოყენებისათვის.

ფაქტობრივად ამჟამად ელიფსოიდის პარამეტრების დადგენის დროს იყენებენ რკალეების მეთოდს მერიდიანებსა და პარალელებზე შესრულებული გრადუსული განაზომებით სხვადასხვა სივრცეზე ფართობების მეთოდით შესრულებული გრადუსული განაზომების ურთიერთდაკავშირებისათვის. მაშასადამე, არსებითად ორივე ერთნაირი მეთოდია და მათი თანადროულად გამოყენებით უფრო სრულყოფილი ხდება გეომეტრიული მეთოდით განსაზღვრული ელიფსოიდის a და b პარამეტრები. ეს მეთოდი გამოყენებულ იქნა საბჭოთა კავშირში დადგენილი ელიფსოიდის პარამეტრების განსაზღვრების დროს (1.6.5. პ).



ბ. გრადუსულ გაზომვაში ფიზიკური მეთოდის გამოყენების თანამედროვე ახის

აღნიშნული იყო, რომ მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოყენებით შეიძლება დედამიწის საერთო სახის დადგენა, რისთვისაც ნიუტონისა და ჰუგენსის შრომების შესაბამისად საჭიროა ცოდნა დედამიწის ტანში სიმკვრივეების განაწილებისა. როგორც ვთქვით, ეს მონაცემები მხოლოდ და მხოლოდ ემპირიული გზით მიიღება, რაც დღემდე საჭირო რაოდენობითა და სიზუსტით არაა ცნობილი.

თანამედროვე მეცნიერების მიერ დადგენილია, რომ დედამიწის აგებულება, რომელიც დამოკიდებულია სიმკვრივეების განაწილებაზე, ქმნის

გრაფიტაციულ ველს, რომელიც ცალსახად განისაზღვრება დედამიწის ზედაპირზე; ხოლო პირიქით, ანუ ცნობილი გრაფიტაციული ველით ცალსახად არ შეიძლება განისაზღვროს დედამიწის ტანში მასების სახეობები და მათი განლაგებები. მაშასადამე, ეს შერბუნებული ამოცანა გეოლოგიური ძიებისათვის გარკვეული დაბრკოლებებით ხასიათდება, რადგანაც სხვადასხვა სახის წიაღისეულს ხშირად ერთი და იგივე სიმკვრივე აქვთ, ე. ი. ერთი და იგივე გრაფიტაციული ველი შეიძლება შექმნან.

როგორც ვხედავთ, დედამიწის საერთო სახის დადგენისათვის საჭირო მიზიდულობის ველი შეიძლება განისაზღვროს დედამიწის ტანში მასების სიმკვრივეებისა და მათი განლაგებების დადგენის საშუალებით ან მის ზედაპირზე სიმქიმის ძალის ოდენობებისა და მიმართულებების უშუალოდ გაზომვებით. ცხადია, დედამიწის საერთო სახის დასადგენად უფრო ადვილი და რეალურია მეორე გზა, რადგანაც, როგორც აღვნიშნეთ, პირველი სახის ემპირიული მასალის დაგროვება ჯერჯერობით წიაღში გაზომვების შეუძლებლობის გამო მიუღწეველია, ხოლო მეორე სახის მასალა სიმქიმის ძალების სახით შეიძლება სათანადო სიზუსტითა და რაოდენობით დავადგინოთ. ამოცანის ამგვარად გადაწყვეტა გამოყენებულ იქნა საბჭოთა მეცნიერთა მიერ, რის შესახებ საგანგებოდ ქვემოთ გვექნება მოხსენებული.

საბოლოოდ დასაბუთებულ იქნა, რომ დედამიწის საერთო სახის სრულყოფილად დადგენისათვის, გარდა გეომეტრიული (ასტრონომიული და გეოდეზიური) მეთოდისა, გრადუსულ გაზომვებში უნდა გამოყენებინათ ფიზიკური (გრაფიმეტრიული) მეთოდებიც.

მაშასადამე, დედამიწის საერთო სახის დადგენისათვის თუ გეომეტრიულ მეთოდში იყენებდნენ სიმქიმის ძალის მიმართულებების (შეუღესი განაზრების) განაზომებს, ფიზიკურ მეთოდში დაიწყეს სიმქიმის ძალის დაძაბულობით სხეულების აჩქარების განაზომების გამოყენება.

აქვე შევნიშნავთ, რომ, თუ გეომეტრიული მეთოდი საშუალებას იძლევა განესაზღვროთ დედამიწის ფორმა და ზომები, ე. ი. სფეროიდის α და β , ფიზიკური მეთოდი ძირითადად α შეკუმშულობის ზუსტად განსაზღვრის გზით მხოლოდ ფორმის დადგენის საშუალებას იძლევა. აღსანიშნავია, რომ ფიზიკური მეთოდით α დიდი ნახევარი ღერძის განსაზღვრაც შეიძლება, მხოლოდ შედარებით ნაკლები სიზუსტით.

როგორც აღვნიშნეთ, ფიზიკური მეთოდის უპირატესობა ის არის, რომ ის წარმატებით გამოიყენება ოკეანეებისა და ზღვების აუზებში. გეომეტრიული მეთოდისათვის კი იგი ჯერჯერობით მიუწვდომელია.

ა. მოკლე ცნობები სიმქიმის ძალის გაზომვების მეთოდების შესახებ

როგორც ცნობილია, სიმქიმის ძალა წარმოადგენს მიზიდულობის ძალის იმ მდგენელს, რომელიც ყოველ ტანს იზიდავს დედამიწისაკენ. სიმქიმის ძალის, ისე როგორც საერთოდ ძალის, საზომ ერთეულად მიღებულია დინი, ანუ ის ძალა, რომელიც ერთ გრამ მასას ანიჭებს 1 სმ/სეკ^2 აჩქარებას. მისი განზომილებაა CGS-^2 . მაგრამ, ჩვეულებრივ, სიმქიმის ძალა იზომება g აჩქარებით, რომელიც ენიჭება თავისუფლად ვარდნილ სტეულს; g აჩქარების გან-

ზომილებაა CS^{-3} . აჩქარების ერთეულს, ანუ $1 \text{ სმ } 1 \text{ სეკ}^2$ აჩქარებას, რომელიც შემოკლებულად პირობით აღინიშნება სმ/სეკ^2 , უწოდეს გალი გალიის პატივსაცემად, რომელმაც პირველმა აწარმოვა სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა; $0,001$ გალს ჰქვია მილიგალი, ანუ შემოკლებით მგლ; $0,001$ მგლ-ს კი მიკროგალს უწოდებენ და შემოკლებით აღნიშნავენ მკგლ.

თუ მისაზიდი ტანის მასა ერთი გრამია, მაშინ სიმძიმის ძალა დინებში რიცხობრივად ტოლია მისი აჩქარებისა, გალებში.

სიმძიმის ძალის აჩქარებას გალილიე ზომავედა სხეულის მიერ თავისუფლად ვარდნის პირველ სეკუნდში გველილი მანძილის მიხედვით. მის მიერ ჩატარებული ცდების შედეგები მანძილებისა და დროის გაზომვის ტექნიკის დაბალი დონის გამო იყო ტლანქი და, ცხადია, ამ მეთოდით გაზომილი სიმძიმის ძალის ოდენობები ვერ გამოდგებოდნენ დედამიწის ფიგურის დასაჯენად.

ჰაუგენსმა 1673 წელს გამოიყვანა დამოკიდებულება ქანქარას რხევის მარტივ T პერიოდსა, მის l სიგრძესა და სიმძიმის ძალის g აჩქარებას შორის, რომელიც მცირე რხევებისათვის გამოისახება ფორმულით:

$$g = \pi^2 \frac{l}{T^2}. \quad (1.6.2.4)$$

სიმძიმის ძალის განსაზღვრისათვის ქანქარა წარმოადგენს ზუსტ და მარტივ ხელსაწყოს. განიხილავენ მათემატიკურ და ფიზიკურ ქანქარებს.

მათემატიკური ქანქარა წარმოადგენს l უწონადო ძაფს, რომელზეც დაკიდებულია მძიმე მატერიალური წერტილი; ფიზიკური ქანქარა კი არის უამრავი მათემატიკური ქანქარების (ხისტი ტანი) ერთობლიობა, რომლის l სიგრძე ისაზღვრება უშუალოდ რთული გზით. T სიდიდის ოდენობა კი ისაზღვრება ქანქარის რხევის პერიოდზე მრავალჯერად დანაკვირვებთა საშუალო არითმეტიკულით. მაშასადამე, სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრის სიზუსტე დამოკიდებულია ქანქარის რხევის მარტივ T პერიოდსა და l სიგრძის განსაზღვრის სიზუსტეზე. ჰაუგენსმა იცოდა ფიზიკური ქანქარის l სიგრძის განსაზღვრის შესახებ, მაგრამ მისი სრული თეორია დამუშავებულ იქნა გვიან.

(4) ფორმულით ისაზღვრება g სიმძიმის ძალის აჩქარების აბსოლუტური სიდიდე, რის გამო მისი განსაზღვრის ამ მეთოდს აბსოლუტური მეთოდი ეწოდა, რომელიც მასობრივი გაზომვებისათვის ძალზე არაეკონომიურია და სიზუსტეც ნაკლები აქვს. ამიტომ სხვადასხვა ექსპედიციებში, სიზუსტისა და ეკონომიურობის გაზრდის მიზნით, გასული საუკუნის საწყის პერიოდში დაიწვეს სიმძიმის ძალის განსაზღვრები ფარდობითი ხერხით, რაც ნიშნავს ორ პუნქტზე სიმძიმის ძალის ოდენობათა სხვაობის დადგენას. ამისათვის კი საჭიროა ერთზე მაინც, ანუ რომელიმე გამოსავალ პუნქტზე, g სიმძიმის ძალის აბსოლუტური ოდენობის ცოდნა. ასეთ გამოსავალ პუნქტად დედამიწაზე შეიძლება მივიჩნიოთ ნებისმიერი პუნქტი, სადაც სათანადო სიზუსტით არის განსაზღვრული სიმძიმის ძალის აბსოლუტური მნიშვნელობა.

სიმძიმის ძალის აბსოლუტური ოდენობების განსაზღვრები შესრულებულ იქნა რამდენიმე პუნქტზე. იმისათვის, რომ სხვადასხვა პუნქტზე განსაზღვრულა სიმძიმის ძალის ფარდობითი ოდენობები გამოსახული ყოფილიყო ერთიან

სისტემაში, საჭირო იყო რომელიმე ადგილი მიეღო მსოფლიოში გამოსავალ პუნქტად. ასეთ პუნქტად მიღებულ იქნა პოტსდამი (გერმანიაში), რომელზეც იმ დროისათვის შედარებით ზუსტად იყო განსაზღვრული სიმძიმის ძალის აბსოლუტური მნიშვნელობა. მესამე ცხრილში ქრონოლოგიურად მოყვანილია სხვადასხვა პუნქტზე განსაზღვრული სიმძიმის ძალის აბსოლუტურა მნიშვნელობები, რომლებიც დაყვანილია პოტსდამზე, ანუ მასთან დაკავშირებული ფარდობითი მეთოდით.

ცხრილი 1.6.2.3

პუნქტი	ავტორი	წელი	პუნქტი	მეთოდი	g	შეცდომა, მგლ
1	კუნინი და ვესგლერი	1906	პოტსდამი	ხუთი მოსაბრუნებელი ქანქარა	981,274	±3,0
2	პეილი	1935	ვაშინგტონი	მოსაბრუნებელი ქანქარა	981,261	±1,3
3	კლარკი	1949	ტელდინგტონი	იგივე	981,259	±0,7
4	აგალუცი, ეგორი-ვი, შარცინაივი	1956	ლენინგრადი	მოსაბრუნებელი ქანქარა, თავისუფალი ვარდნა ქაფურში და უპაერო კამერაში	981,262	±1,0
5	პრესტონი	1960	ოტტავა	თავისუფალი ვარდნა	981,260	±1,0
6	ტულინი	1961	პარიზი	იგივე	981,261	±0,7
7	ფალერი	1965	პრისტონი	იგივე	981,260	±0,7
8	კუი	1965	ტელდინგტონი	იგივე	981,258	±0,13

როგორც შევნიშნეთ, სიმძიმის ძალის აბსოლუტური მნიშვნელობის მაღალი სიზუსტით განსაზღვრა ხასიათდება არაჩვეულებრივი სირთულით; ეს განსაზღვრები სრულდება განსაკუთრებულ ლაბორატორიულ პირობებში და საგანგებო მეტეოროლოგიურ დაწესებულებებში, რათა დანაკვირვები და განზომილები თავისუფალი იყოს ტემპერატურისა და სხვა ზეგავლენისაგან.

(3) ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ პოტსდამზე დაყვანილი სიმძიმის ძალის აბსოლუტური ოდენობების განსაზღვრის შეცდომები შედარებით თვით პოტსდამის განსაზღვრასთან, რომლის შეცდომა არის ±3,0 მგლ, დროთა ვითარებაში თანდათან მცირდება და სიმძიმის ძალის განსაზღვრის საქმე კიდევ უფრო ვითარდება და ამჟამად შეცდომა ±0,1 მგლ ტოლია, ამერიკაში დამუშავებულია ორიგინალური მეთოდი, სადაც ქანქარის სიგრძის განსაზღვრის პროცესი გამოირიცხვია.

ცხადია, სხვადასხვა პუნქტზე სიმძიმის ძალის ფარდობითი მეთოდით განსაზღვრული ოდენობების პოტენციალთან უშუალოდ შედარება ყოველთვის არ შეიძლება. ამიტომ, ისე როგორც ეს მოყვანილია (1) ცხილში, საჭიროა არსებობდეს საყრდენი პუნქტების სისტემა, რომლებიც ფარდობითი მეთოდით იქნებიან დაკავშირებული პოტენციალთან. ამჟამად ასეთი განსაზღვრები დიდი რაოდენობით არის შესრულებული და არსებობს ნაციონალური გრავიმეტრიული განსაზღვრებისათვის კარგი საფუძველი. ასე რომ, მოახლოებულია დრო ნაციონალური განსაზღვრების საფუძველზე შეიქმნას საყრდენი გრავიმეტრიული პუნქტების მსოფლიო ქსელი. ჯერჯერობით არც ევროპაში და არც სხვაგან ასეთი მნიშვნელობის ქსელი არ არსებობს.

ფარდობითი მეთოდის იდეა ეყრდნობა ქანქარის l სიგრძის უცვლელობას და დაკვირვებები ხდება მხოლოდ მარტივი T პერიოდის ზუსტად განსაზღვრისათვის. თუ მარტივი T_1 პერიოდი განსაზღვრულია გამოსავალ საყრდენ პუნქტზე, რომლისთვისაც ცნობილია g_1 სიმძიმის ძალის აჩქარება, მაშინ განსაზღვრულ პუნქტზე იმავე ხელსაწყოთი განსაზღვრული მარტივი T_2 პერიოდის მიხედვით შეიძლება გამოვითვალოთ g_2 . მართლაც, (4) ტოლობის მიხედვით გამოსავალი და განსაზღვრული პუნქტისათვის, შესაბამისად, დავწერთ:

$$g_1 = \pi^2 \frac{l}{T_1^2} \quad \text{და} \quad g_2 = \pi^2 \frac{l}{T_2^2}, \quad \text{ანუ} \quad \pi^2 l = g_1 T_1^2 = g_2 T_2^2,$$

საიდანაც

$$g_2 = g_1 \frac{T_1^2}{T_2^2}. \quad (1.6.2.5)$$

1818 წელს ფრანგმა ინჟინერმა კეტერმა დაამზადა ქანქარა სიმძიმის ძალის აბსოლუტური განსაზღვრისათვის, რომელსაც ორი საკიდი ჰქონდა რხევისათვის. ეს საკიდები ისე იყო შეჩვენებული, რომ მათზე რხევას ერთი და იგივე პერიოდი უნდა ჰქონოდა. მანძილი ამ საკიდებს შორის ქანქარას l სიგრძის უდრის, რომელსაც ქანქარას დაყვანილი სიგრძე ეწოდება.

ბესელმა კეტერის ქანქარაში შეიტანა რიგი შესწორებები, რომელთა გათვალისწინებით გასული საუკუნის სამოციან წლებში მექანიკოსმა რეფსოლდმა დაამზადა გაუმჯობესებული ქანქარა, აგრეთვე ორი დასაკიდით, რის გამო მას, ისე, როგორც კეტერის ქანქარას, მოსაბრუნებელ ქანქარას უწოდებენ.

აღნიშნული ქანქარას სიმძიმის ძალის აბსოლუტური და შემდეგ ფარდობითი მეთოდით განსაზღვრის საქმეში დიდხანს იყენებდნენ და აუმჯობესებდნენ გაზომვების სიზუსტეს. მიუხედავად ამისა, მოსაბრუნებელ ქანქარას მაინც ბევრი ნაკლი გააჩნდა.

1881 წელს ავსტრიელი გეოდეზისტის შტერნეკის მიერ შექმნილმა ქანქარამ ახლა ხელსაწყომ ხმარებიდან გამოიყვანა ზემოხსენებული ქანქარა. ფარდობითი მეთოდით სიმძიმის ძალის მნიშვნელობა შტერნეკის ხელსაწყოთი ისაზღვრებოდა ± 4 მგლ შეცდომით; ამჟამად კი გაზომვების სიზუსტე 10—20-ჯერ არის გაზრდილი.

მეცხრამეტე საუკუნის ოთხმოციან წლებში ბერლინელმა მექანიკოსმა შტუერატმა შექმნა ქანქარაიანი შტატივი, რომელზეც თანადროულად შეიძლება დკიდებულ იქნას სამი ან ოთხი ქანქარა, თვითეთლი თავის იდგი-

ლას. ეს ხელსაწყო საშუალებას იძლევა შემოწმდეს (პუნქტიდან პუნქტზე) ქანქარის სიგრძის მუდმივობის შენარჩუნება და, გარდა ამისა, საიმედოდ იქნას განსაზღვრული შტატივის რხევა, რაც შეუძლებელია მოსაბრუნებელი ქანქარის შემთხვევაში.

მეოცე საუკუნის ოციან წლებში პოლანდიელმა მეცნიერმა ვენინგ-მეინესმა დაამუშავა ზღვაზე სიჩქიმის ძალის განსაზღვრის მეთოდი და შექმნა პირველი საზღვაო ქანქარიანი ხელსაწყო. ვენინგ-მეინესის მეთოდში განხორციელებული ორი ერთნაირი პერიოდის ქანქარას თანადროულად საწინააღმდეგო ფაზებით რხევის იდეა წარმოადგენს თანამედროვე ქანქარიანი ხელსაწყოების გაუმჯობესების საფუძველს.

ქანქარიანი ხელსაწყოების საშუალებით სიჩქიმის ძალის განსაზღვრისათვის საჭირო დიდი დრო (12—10 საათი), აპარატურის დიდი მოცულობა და წონა, დამკვირვებელთა საჭირო მაღალი კვალიფიკაცია და სხვა მიზეზი გახდა შეუღარებლად მარტივი ინსტრუმენტების შექმნისა, რომელთაც სტატიკური გრავიმეტრები ეწოდებათ. ამ ხელსაწყოებში მგრძნობიარე სისტემის მასებზე სიჩქიმის ძალის მოქმედება წონასწორდება რაიმე დრეკადი ძალით (გაზი, ზამბარაკი და სხვა). გრავიმეტრებით სიჩქიმის ძალა ძლიერ სწრაფად და მაღალი სიზუსტით ისაზღვრება. მაგალითად, თუ ქანქარიანი ხელსაწყოთი პუნქტზე სიჩქიმის ძალის განსაზღვრას უნდა რამდენიმე საათი, გრავიმეტრით იგივე სრულდება ათჯერ და მეტი სიზუსტით 5—7 წუთში. მაგრამ გრავიმეტრებსაც აქვს თავისი ნაკლი, როგორც არის ნულ-პუნქტის დრეიფი (დაცურება), სკალის დანაყოფის საფასურის განსაზღვრის აუცილებლობა და სხვა.



ზ. მიზიდულობის ძალის გამოისახვა მარტივთა კოორდინატებში

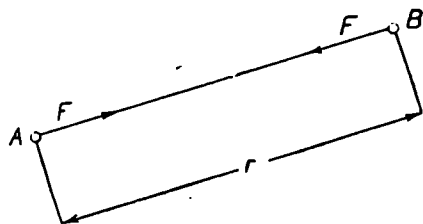
(1.4.4) პარაგრაფის E მუხლში მარტივი ექსპერიმენტით დადგენილი იყო ნიუტონის კანონი იმის შესახებ, რომ ორი მატერიალური A და B წერტილი ურთიერთს იზიდავს F ძალით, რომელიც პირდაპირპროპორციულია მათი m_A და m_B მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა, რაც გამოისახა (1.4.4.18) ფორმულით

$$F = f \frac{m_A m_B}{r^2} \text{ დინი } \left(\frac{3 \text{ სმ}}{\text{სკ}^2} \right), \quad (1.6.2.6)$$

სადაც $f = 6,685 \cdot 10^{-8} \frac{\text{სმ}^3}{\text{გ} \cdot \text{სკ}^2}$ — გრავიტაციული მუდმივაა, რომელიც ტოლია სიგრძის ზომის ერთეული მანძილით (სმ) ურთიერთდაშორებული ერთეული (ტოლი) მასების მქონე ორი წერტილის ურთიერთმიზიდულობის ძალისა. მაშასადამე, f დამოკიდებულია ზომის ერთეულზე. მისი განზომილება სანტიმეტრ გრამ სეკუნდ (CGS) სისტემაში არის $\text{სმ}^3 \text{გ}^{-2} \text{სკ}^{-2}$, მართლაც, განზომილებებში (6) ფორმულა შესაბამისად დაიწერება:

$$\text{დინი} = \frac{\text{გ} \cdot \text{სმ}}{\text{სკ}^2} = \frac{\text{სმ}^3}{\text{გ} \cdot \text{სკ}^2} \cdot \frac{\text{გ} \cdot \text{გ}}{\text{სმ}^2}$$

F ძალა, მოდებული მოცემული ორი წერტილიდან ერთ-ერთზე, მიმართულია მეორისაკენ და მოთავსებულია ამ წერტილების შემაჯობებელ წრფეზე. პირობით F ძალის ნიშანი პლუსია, როცა ის კოორდინატთა სათავიდან არის მიმართული.

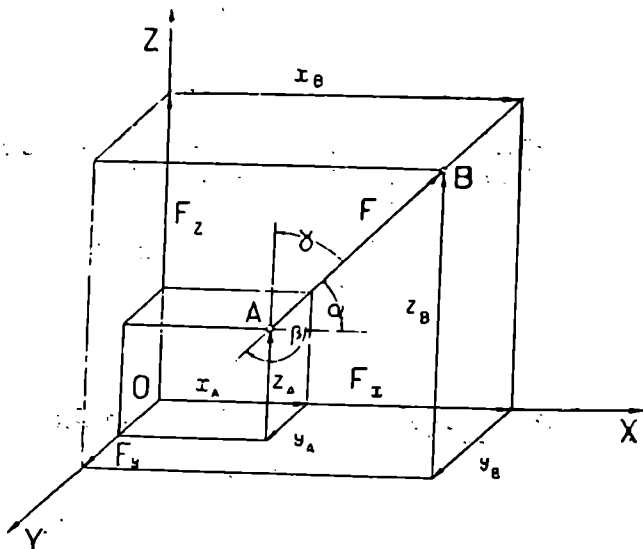


ნახ. 1.6.2.2.

აღნიშნოთ A და B წერტილებს კოორდინატები შესაბამისად, x_A, y_A, z_A და x_B, y_B, z_B სიმბოლოებით, მაშინ (2) ნახაზის მიხედვით:

$$r^2 = (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2. \quad (1.6.2.7)$$

თითოეული F ძალა სივრცეში შეიძლება დაიშალოს კოორდინატთა ღერძების მიმართ მის F_x, F_y, F_z მდგენელებად, ხოლო AB ვექტორის მიერ შედგენილი კუთხეები კოორდინატთა ღერძების მიმართ იქნება (ნახ. 3) α, β, γ .



ნახ. 1.6.2.3.

მაშასადამე, F ვექტორის პროექციების სიდიდეები კოორდინატთა ღერძებზე გამოისახება ტოლობებით:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \cos \beta \\ F_z &= F \cos \gamma \end{aligned} \right\}, \quad (1.6.2.8)$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{x_B - x_A}{r} \\ \cos \beta &= \frac{y_B - y_A}{r} \\ \cos \gamma &= \frac{z_B - z_A}{r} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.9)$$

(8) გამოსახულებებში ჩავსვათ კუთხეების კოსინუსების მნიშვნელობები 9)-დან და F -ის მნიშვნელობა (6) გამოსახულებიდან, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= f m_A m_B \frac{x_B - x_A}{r^3} \\ F_y &= f m_A m_B \frac{y_B - y_A}{r^3} \\ F_z &= f m_A m_B \frac{z_B - z_A}{r^3} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.10)$$

ც. სხეულის მიერ გარე წერტილის მიზიდულობა

(4) ნახაზზე მოცემულა: M სხეული, მის ტანში ელემენტარული dm_A მასის მქონე A ნებისმიერი მიმდინარე წერტილი, რომლის კოორდინატებია x_A, y_A, z_A ; m_B მასის და x_B, y_B, z_B კოორდინატების მქონე B ტანის გარეშე წერტილი; BA მანძილია r . ამ მონაცემებით dm_A ელემენტარული მასით B წერტილის მიზიდულობის (F) ძალა მიიმართება BA წრფეზე და გამოითვლება ცნობილი (6) ფორმულით:

$$(F) = -f \frac{m_B dm_A}{r^2} \quad (1.6.2.11)$$

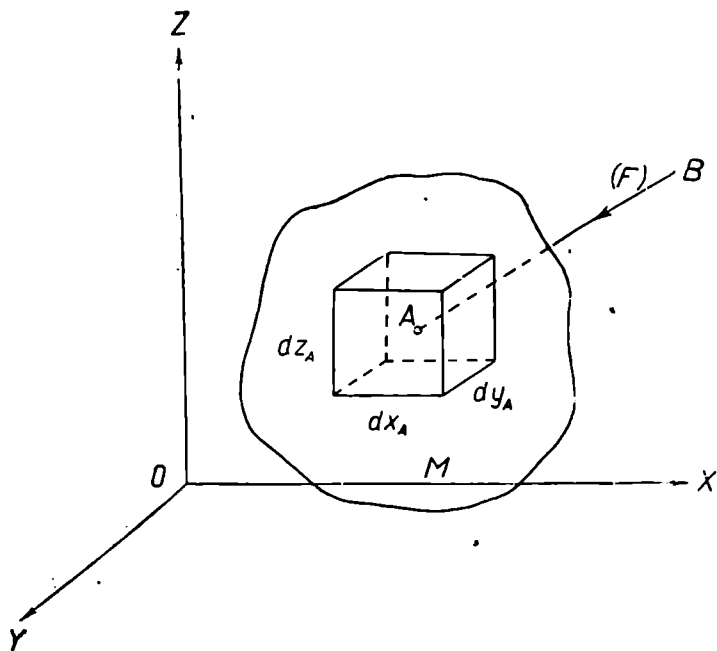
კოორდინატთა ღერძებზე (F) მიზიდულობის ძალის მდგენელები (10) გამოსახულებების მიხედვით იქნება:

$$\left. \begin{aligned} (F)_x &= -f m_B dm_A \frac{x_B - x_A}{r^3} \\ (F)_y &= -f m_B dm_A \frac{y_B - y_A}{r^3} \\ (F)_z &= -f m_B dm_A \frac{z_B - z_A}{r^3} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.12)$$

F იქნება მიზიდულობის რეზულტანტი ძალა, რომელსაც მივიღებთ, თუ A მოივლის M ტანის ყოველ წერტილს ისე, რომ dm_A ელემენტარული

რულმა მასამ თანამიმდევრულად მოიცვას მთელი ტანის მასა. კოორდინატთა ღერძების მიმართ მივიღებთ ამ ძალის მდგენელებს, თუ მოვახდენთ (12) და-
მოკიდებულებების ინტეგრებას:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= -f m_B \int \frac{x_B - x_A}{r^3} dm_A \\ F_y &= -f m_B \int \frac{y_B - y_A}{r^3} dm_A \\ F_z &= -f m_B \int \frac{z_B - z_A}{r^3} dm_A \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.13)$$



ნახ. 1.6.2.4.

ამ ტოლობებში A წერტილის ელემენტარული მასა

$$dm_A = \delta dx_A dy_A dz_A \quad (1.6.2.14)$$

სადაც δ არის M სხეულის სიმკვრივე A წერტილში. აქ იგულისხმება, რომ ის წარმოადგენს x_A, y_A, z_A მიმდინარე კოორდინატების ფუნქციას, ე. ი. δ ცვლია და გამოისახება

$$\delta = \Phi(x_A, y_A, z_A) \quad (1.6.2.15)$$

ფუნქციის სახით.

(14)-ის (13)-ში შეტანით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= -f m_B \int \int \int \frac{x_B - x_A}{r^3} \delta dx_A dy_A dz_A \\ F_y &= -f m_B \int \int \int \frac{y_B - y_A}{r^3} \delta dx_A dy_A dz_A \\ F_z &= -f m_B \int \int \int \frac{z_B - z_A}{r^3} \delta dx_A dy_A dz_A \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.16)$$

დ. მიზიდულობის ძალის პოტენციალი

ლაპლასის იდეის შესაბამისად ლეჟანდრის მიერ შემუშავებული და შემდეგ 1828 წელს ინგლისელი მეცნიერის გრინისა (1793—1841) და გერმანელი მეცნიერის გაუსის (1777—1855) მიერ გადამუშავებული პოტენციალური (ძალური) ფუნქციის, ანუ მოკლედ პოტენციალის, ცნების შემოღებით მნიშვნელოვნად გაადვილდა მიზიდულობის ველთან დაკავშირებული მრავალი ამოცანის ამოხსნა. მაგალითად, კოორდინატთა ღერძების მიმართ მიზიდულობის მდგენელების (10) და (16) დამოკიდებულებებით გამოკვლევის მაგიერ შეიძლება ვაწარმოოთ პოტენციალური ფუნქციის გამოკვლევა (2.1.4. პარაგრაფი).

მიზიდულობის ძალის პოტენციალის ცნების არსი უფრო გასაგები იქნება, თუ გამოვიყენებთ ენერგიის მუდმივობის კანონს. ორი ურთიერთმიზიდული მატერიალური წერტილის (ნახ. 2) მექანიკური სისტემის ენერგიის მუდმივობის კანონი ნიუტონის მიზიდულობის კანონის მიხედვით დაიწერება ასე:

$$E + V = C, \quad (1.6.2.17)$$

სადაც E არის სისტემის კინეტიკური ენერგია,

V — სისტემის პოტენციალური ენერგია,

C — const მუდმივა.

დავუშვათ, რომ m_A მასის მქონე $A(x_A, y_A, z_A)$ წერტილი უძრავია, ხოლო m_B მასის მქონე $B(x_B, y_B, z_B)$ წერტილი — მოძრავი. მაშინ კინეტიკური ენერგია განისაზღვრება ფორმულით:

$$E = \frac{1}{2} m_B \cdot v_B^2 = \frac{1}{2} m_B (v_{x_B}^2 + v_{y_B}^2 + v_{z_B}^2), \quad (1.6.2.18)$$

სადაც v_B — წერტილის სიჩქარეა, ხოლო

$$v_{x_B} = \frac{dx_B}{dt}; \quad v_{y_B} = \frac{dy_B}{dt}; \quad v_{z_B} = \frac{dz_B}{dt} \quad (1.6.2.19)$$

სიდიდეები v_B სიჩქარის მდგენელებია კოორდინატთა ღერძების მიმართ.

(18) და (19) ტოლობების გამოყენებით გავაწარმოოთ (17) ტოლობა t დროის მიხედვით, მივიღებთ:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{dE}{dt} = -m_B \left(\frac{dx_B}{dt} \cdot \frac{d^2x_B}{dt^2} + \frac{dy_B}{dt} \cdot \frac{d^2y_B}{dt^2} + \frac{dz_B}{dt} \cdot \frac{d^2z_B}{dt^2} \right). \quad (1.6.2.20)$$

როგორც ცნობილია, ძალა წარმოადგენს მასისა და აჩქარების ნამრავს (1.4.4 პარაგრაფი). მაშასადამე, ვინაიდან

$$m_B \frac{d^2 x_B}{dt^2} = F_x; \quad m_B \frac{d^2 y_B}{dt^2} = F_y; \quad m_B \frac{d^2 z_B}{dt^2} = F_z, \quad (1.6.2.21)$$

(20) გამოსახულება დაიწერება ასე:

$$\frac{dV}{dt} = - \left(F_x \frac{dx_B}{dt} + F_y \frac{dy_B}{dt} + F_z \frac{dz_B}{dt} \right). \quad (1.6.2.22)$$

A წერტილის მიმართ B წერტილის მოძრაობა ხორციელდება (10) ტოლობებით განსაზღვრული მიზიდულობის ძალის გავლენით. ამიტომ (22) დამოკიდებულება შეიძლება ასე გადაიწეროს:

$$dV = -f m_A m_B \left(\frac{x_B - x_A}{r^3} dx_B + \frac{y_B - y_A}{r^3} dy_B + \frac{z_B - z_A}{r^3} dz_B \right). \quad (1.6.2.23)$$

აეილოთ (7) ტოლობის კერძო წარმოებულები x_B , y_B , z_B ცვლადებით, მხოლოდ მათი ნიშნები იქნება მინუსი, რადგანაც B წერტილიდან F ძალა მიმართულია კოორდინატთა სათავეისაკენ (ნახ. 4). შემდეგ ყოველი კერძო წარმოებულები გავყოთ r^3 -ზე, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_B - x_A}{r^3} &= -\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial r}{\partial x_B} = \frac{\partial}{\partial x_B} \left(\frac{1}{r} \right) \\ \frac{y_B - y_A}{r^3} &= -\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial r}{\partial y_B} = \frac{\partial}{\partial y_B} \left(\frac{1}{r} \right) \\ \frac{z_B - z_A}{r^3} &= -\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial r}{\partial z_B} = \frac{\partial}{\partial z_B} \left(\frac{1}{r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.24)$$

(24) მნიშვნელობები გამოვიყენოთ (23)-ში, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} dV &= -f m_A m_B \left[\frac{\partial}{\partial x_B} \left(\frac{1}{r} \right) dx_B + \frac{\partial}{\partial y_B} \left(\frac{1}{r} \right) dy_B + \frac{\partial}{\partial z_B} \left(\frac{1}{r} \right) dz_B \right] = \\ &= -f m_A m_B d \frac{1}{r}. \end{aligned} \quad (1.6.2.25)$$

(25)-ის ინტეგრებით მივიღებთ:

$$V = -f m_A m_B \frac{1}{r} + c. \quad (1.6.2.26)$$

ცნობილია, რომ B წერტილის უსასრულოდ შორს მოთავსებით სისტემის პოტენციალური ენერგია ნულის ტოლია. მაშასადამე, დავწერთ:

$$V = -f m_A m_B \frac{1}{r} + c = 0, \quad \text{როცა } r \rightarrow \infty,$$

საიდანაც ინტეგრების მუდმივა

$$c = 0;$$

ე. ი. (26)-დან მივიღებთ:

$$V = -f \frac{m_A m_B}{r}. \quad (1.6.2.27)$$

თუ სივრცის B წერტილში თავმოყრილია ერთის ტოლი მასა, ე. ი. როცა $m_B = 1$, მაშინ ნიუტონის კანონის მიხედვით, თანახმად (6) ფორმულისა, წერტილზე m_A მასის მიერ იმოქმედებს ძალა

$$F = f \frac{m_A}{r^2}, \quad (1.6.2.28)$$

რომელიც მოცემული m_A მასისათვის წარმოადგენს სივრცეში B წერტილის მდებარეობის ფუნქციას. F ძალას უწოდებენ B წერტილში ველის დაძაბულობას. როცა $m_B = 1$, B წერტილის პოტენციალური ენერჯია (27) ტოლობის თანახმად დაიწერება

$$V = -f \frac{m_A}{r}. \quad (1.6.2.29)$$

V -ს უწოდებენ B წერტილის ველში ნიუტონისეულ მიზიდულობის პოტენციალურ ენერჯიას.

პოტენციალური ენერჯიის (29) ფუნქციას საწინააღმდეგო ნიშნით ეწოდება პოტენციალური ფუნქცია, ანუ მიზიდულობის ძალის პოტენციალი, რომელსაც ავითარებს წერტილოვანი m_A მასა და აღინიშნება ისევე V ასოთი. მაშასადამე,

$$V = f \frac{m_A}{r} \quad (1.6.2.30)$$

წარმოადგენს B წერტილში მიზიდულობის ძალის პოტენციალს.

მართლაც, თუ ავიღებთ (30) ტოლობის კერძო წარმოებულს x_B -თი, მივიღებთ

$$\frac{\partial V}{\partial x_B} = -f \frac{m_A}{r^2} \cdot \frac{\partial r}{\partial x_B}.$$

ხოლო (7) დამოკიდებულებიდან

$$\frac{\partial r}{\partial x_B} = \frac{x_B - x_A}{r}.$$

მაშასადამე, თუ მივიღებთ $m_B = 1$ და (10) დამოკიდებულებას გამოვიყენებთ, დავწერთ:

$$\frac{\partial V}{\partial x_B} = f m_A \frac{x_B - x_A}{r^2} = F_x.$$

$$\frac{\partial V}{\partial y_B} = f m_A \frac{y_B - y_A}{r^2} = F_y,$$

$$\frac{\partial V}{\partial z_B} = f m_A \frac{z_B - z_A}{r^2} = F_z,$$

რითაც დასტურდება განხილადი მუხლის შესავალი. მაშასადამე, პოტენციალური ფუნქციის კერძო წარმოებული ერთეული მასის მქონე მიზიდული წერტილის მართკუთხა კოორდინატებით, შესაბამისად, ტოლია კოორდინატთა ღერძებზე მიზიდულობის ძალის მდგენელებისა.

თუ A წერტილის ნაცვლად ავიღებთ M სხეულს (ნახ. 4), მაშინ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ M სხეულის შიგა ყოველ წერტილში არსებობს ელემენტარული dm_A მასა და შეიძლება შევაჯამოთ ყველა ელემენტარული მასა. ამ შემთხვევაში, M სხეულის მიერ შექმნილი პოტენციალი B წერტილში იქნება:

$$V = f \int_M \frac{dm_A}{r}. \quad (1.6.2.31)$$

კლერო

ე. კლერო, როგორც ფიზიკური მეთოდით სფეროიდის შეკუმშულობის განსაზღვრის ფუძემდებელი. კლეროს ფორმულის გამოყვანა მარტივი ხერხით

სიმძიმის ძალის განაზომების საშუალებით დედამიწის საერთო სახის დადგენის ფუძემდებელია ე. კლერო, რომელმაც, განავითარა რა ნიუტონის თეორია, 1743 წელს დაამტკიცა შესანიშნავი თეორემა სფეროიდის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის ცვალებადობის შესახებ ადგილის განედისა და ელიფსოიდის შეკუმშულობის ცვლის შესაბამისად.

კლეროს თეორემა გამოისახება ორი ტოლობით:

$$\left. \begin{aligned} \alpha\varphi &= \xi_{0^\circ} + (\xi_{90^\circ} - \xi_{0^\circ}) \sin^2 \varphi, \\ \alpha\varphi &= \xi_{0^\circ} \left(1 + \frac{\xi_{90^\circ} - \xi_{0^\circ}}{\xi_{0^\circ}} \sin^2 \varphi \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.32)$$

$$\beta = \frac{\xi_{90^\circ} - \xi_{0^\circ}}{\xi_{0^\circ}} = \frac{5}{2} q - \alpha, \quad (1.6.2.33)$$

სადაც ξ_{0° , ξ_{90° — სიმძიმის ძალის აჩქარებებია, შესაბამისად φ განედის მქონე წერტილზე, ეკვატორისა და პოლუსზე;

$q = \frac{\omega^2 \cdot a}{\xi_{0^\circ}}$ — ეკვატორზე ცენტრიდანული ძალის ($\omega^2 \cdot a$) ფარდობა ξ_{0°

სიმძიმის ძალის აჩქარების სიდიდესთან;

$\omega = \frac{2\pi}{86164}$ — დედამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, რომელიც ასტრონომიული დაკვირვებებით ისაზღვრება;

a — ბრუნვის ელიფსოიდის დიდი ნახევარღერძი;

a — ბრუნვის ელიფსოიდის შეკუმშულობა.

კლერო გამოდიოდა შემდეგი ჰიპოთეზიდან: დედამიწის ტანი შედგება სხვადასხვა სიმკვრივის მქონე ფენებისაგან (თვით ფენაში სიმკვრივე უცვლელია), რომლებიც ერთმანეთისაგან გამიჯნული არიან მცირე შეკუმშულობის მქონე ელიფსოიდური ზედაპირებით; ყველა ამ სფეროიდებს აქვთ საერთო ცენტრი და ბრუნვის ერთიანი ღერძი; დედამიწის გარე სფეროიდული ზედაპირი წარმოადგენს წონასწორობის ანუ ღონებრივ ზედაპირს, რომლის გარეთ არ არსებობს არაერთი მიწისძველი მასები. ე. ი. დაუშვა, რომ დედამიწის ზედაპირია სფეროიდის ზედაპირი. ამ ჰიპოთეზის საფუძველზე მიღებული (32) და (33) ფორმულებით ისაზღვრება ელიფსოიდის შეკუმშულობა შემდეგი თანამიმდევრობით: დედამიწაზე $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$, განედების შესაბამის წერტილებში იზომება g_1, g_2, g_3, \dots , სიმძიმის ძალის აჩქარებები და მათი მნიშვნელობები ჩაისმება (32) ფორმულაში, რითაც მივიღებთ შემდეგი სახის განტოლებების სისტემას:

$$\left. \begin{aligned} g_1 &= g_0 + (g_{90^\circ} - g_0) \sin^2 \varphi_1 \\ g_2 &= g_0 + (g_{90^\circ} - g_0) \sin^2 \varphi_2 \\ g_3 &= g_0 + (g_{90^\circ} - g_0) \sin^2 \varphi_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.6.2.34)$$

ამ განტოლებებიდან უმცირეს კვადრატთა ხეზით ამოიხსნება g_{90° და g_0 უცნობი სიდიდეების ოდენობები და მათი მნიშვნელობების (33) ტოლობაში ჩასმით ისაზღვრება დედამიწის შეკუმშულობა

$$\alpha = \frac{5}{2} q - \beta = \frac{5}{2} \frac{\omega^2 a}{g_0} - \frac{g_{90^\circ} - g_0}{g_0}, \quad (1.6.2.35)$$

სადაც a დიდი ნახევარღერძის სიდიდე ცნობილია გეომეტრიული (ასტრონომიულ-გეოდეზიური) მეთოდით გაზომვების შედეგად. იგი შეიძლება განისაზღვროს აგრეთვე (35) ფორმულით.

(34) ტოლობებით განსაზღვრული g_{90° და g_0 სიდიდეების ოდენობების (37) ტოლობაში შეტანით შეიძლება გამოვთვალოთ ნებისმიერ (სხვა φ_i შესაბამისი) წერტილში სიმძიმის ძალის აჩქარების სიდიდე. აქვე დავძენთ, რომ რაც მეტი იქნება (34) სისტემაში განტოლებების რაოდენობა, მით უფრო ზუსტად იქნება განსაზღვრული α შეკუმშულობა და აგრეთვე ნაკლები იქნება ლითონფეროში მასების განაწილების ადგილობრივი უთანაბრობის გავლენა.

როგორც ვხედავთ, (32) ფორმულა გამოსახავს სფეროიდის (კლეროს დაშვებით დედამიწის) ზედაპირის სხვადასხვა განედზე სიმძიმის ძალის ოდენობების ცვალებადობის კანონს. მრავალ განაზომთა საშუალო არითმეტიკულით დაღვენილ g_{90° და g_0 სიდიდეებს და მათ საფუძველზე (32) ტოლობით განსაზღვრულ g_{φ} სიმძიმის ძალის თეორიულ მნიშვნელობებს ნებისმიერი წერტილისათვის ეწოდება ამ წერტილებში სიმძიმის ძალის ნორმალური მნიშვნელობები და φ განედის წერტილებზე, ეკვატორსა და პოლუსზე, შესაბამისად, აღინიშნება $\gamma_{\varphi}, \gamma_0, \gamma_{90^\circ}$ სიმბოლოებით, ხოლო γ სიმბოლოთი აღნიშნავენ სფეროიდის გარეთ, ნებისმიერ წერტილში, სიმძიმის ძალის ნორმალურ მნიშვნელობას, რომელსაც პრაქტიკაში ერთ შევეულზე მდებარე

წერტილებსათვის აიგვიებენ γ_{φ} სიმბოლოსთან. ასე რომ კლეროს (32) ფორ-
მულა შეიძლება გადაიწეროს შემდეგი სახითაც:

$$\gamma = \gamma_{\varphi} = \gamma_0 \left(1 + \frac{\gamma_{90^\circ} - \gamma_0}{\gamma_0} \sin^2 \varphi \right). \quad (1.6.2.36)$$

როგორც განემარტეთ, ამ ფორმულით ისაზღვრება დედამიწის, როგორც სფეროიდის ზედაპირზე ნებისმიერ წერტილში სიმძიმის ძალის ნორმალური ოდენობა და ამიტომ მას უწოდებენ დედამიწაზე სიმძიმის ძალის ნორმალური განაწილების ფორმულას. (36) ფორმულა მიღებულია მახიდულობისა და მათდამი მხოლოდ პირველი რიგის მცირე სიდიდეების შენარჩუნების შესაბამისად. მეორე რიგის მცირეთა შენარჩუნების შემთხვევაში (36) ფორმულას დაემატება მესამე წევრი და ნორმალურ ფორმულას ექნება შემდეგი სახე, რომელიც ცნობილმა გერმანელმა გეოდეზისტმა ჰელმერტმა (1843—1917) გამოიყვანა 1901—1908 წლებში 1603 პუნქტზე სიმძიმის ძალის განაზომებით:

$$\begin{aligned} \gamma_{\varphi} &= 978,030 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) \approx \\ &\approx 978,030 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi), \end{aligned} \quad (1.6.8.37)$$

რომლის შესაბამისად გამოთვლილი დედამიწის შეკუმშულობა $\alpha = 1 : 298,2$. ანალოგიური ფორმულები გამოყვანილია სხვა ავტორების მიერაც, რომელთაგან საყურადღებოა კასინისის ფორმულა, რომელიც 1930 წელს იქნა რეკომენდებული გეოდეზისტების საერთაშორისო კონგრესის მიერ სტოკ-ჰოლმში, როგორც საერთაშორისო ნორმალური ფორმულა:

$$\gamma_{\varphi} = 978,0496 (1 + 0,0052884 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi); \quad (1.6.2.38)$$

ი. უონ გლოვიჩის ფორმულა, მიღებული 1952 წელს შედარებით დიდი მოცულობის (2600 პუნქტის) მასალის დამუშავებით:

$$\gamma_{\varphi} = 978,0573 (1 + 0,0052837 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi); \quad (1.6.2.39)$$

დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებების შედეგად დაგროვილი მასალებით 1966 წელს მიღებულ იქნა შემდეგი სახის ფორმულა:

$$\gamma_{\varphi} = 978,031 (1 + 0,00530237 \sin^2 \varphi - 0,00000585 \sin^2 2\varphi), \quad (1.6.2.40)$$

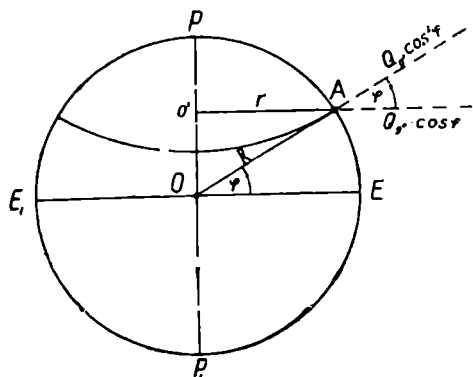
რომლის შესაბამისად განსაზღვრული დედამიწის შეკუმშულობა $\alpha = 1 : 298,26$. თანადროულად მაღალი სიზუსტით შესრულებული გეომეტრიული და ფიზიკური მეთოდების გამოყენებით გამოთვლილი ბრუნვის ელიფსოიდის (სფეროიდის) α დიდი ნახევარღერძის და α შეკუმშულობის შესაბამისი ბრუნვის ელიფსოიდი მით ახლო იქნება ჩვენს წარმოდგენაში მყოფ დედამიწის საერთო სახესთან, რაც მეტი იქნება აღნიშნული განაზომები. ცხადია, ასეთი ელფსოიდი გამოიყენება დედამიწის ხილულ ზედაპირზე განაზომთა რედუცირებისა და მათემატიკური დამუშავებისათვის.

შეიძლება ითქვას, რომ განხილად პერიოდშიც შეუული ხაზები (სიმძიმის ძალის მიმართულებები) წარუდება დ ივულისხმებოდნენ.

კლეროს ფორმულის მარტივი ხერხით გამოყვანის არსის არსის, რომ დედამიწის საერთო სახედ ვგულისხმობთ უცვლელი ღერძის მიმართ

$\omega = 2\pi \cdot 86164$ კუთხური სიჩქარით მბრუნავ აბსოლუტურად მკვრივ სფეროს (ნახ. 5). მის ყოველ წერტილში მიზიდულობის ძალას აღვნიშნავთ F სიმბოლოთი.

როგორც ვიცით, პოლუსზე ცენტრიდანული ძალა $Q_{90^\circ} = 0$, ე. ი. სიმძიმის ძალის ნორმალური მნიშვნელობა ტოლია მიზიდულობის ძალისა:



ნახ. 1. 6. 2. 5.

$$\begin{aligned} \gamma_{90^\circ} &= F - Q_{90^\circ} = \\ &= F - 0 = F. \end{aligned} \quad (1.6.2.41)$$

ეკვატორზე ინერციის ცენტრიდანული ძალა მაქსიმუმია

$$Q_{0^\circ} = \omega^2 R \quad (1.6.2.42)$$

და ამიტომ იქ სიმძიმის ძალის ნორმალური მნიშვნელობა

$$\begin{aligned} \gamma_{0^\circ} &= F - \omega^2 R = \\ &= \gamma_{90^\circ} - Q_{0^\circ}, \end{aligned} \quad (1.6.2.43)$$

საიდანაც ცენტრიდანული ძალა ეკვატორზე გამოიხატება პოლუსებსა და ეკვა-

ტორზე სიმძიმის ძალის ნორმალური მნიშვნელობებით:

$$Q_{0^\circ} = \gamma_{90^\circ} - \gamma_{0^\circ} \quad (1.6.2.44)$$

ცენტრიდანული ძალა A წერტილში გამოითვლება (ნახ. 5)

$$Q_\varphi = \omega^2 r = \omega^2 R \cos \varphi = Q_{0^\circ} \cos \varphi \quad (1.6.2.45)$$

ფორმულით, ხოლო მისი პროექცია OA რადიუსზე, ანუ მიზიდულობის ძალის მიმართულებაზე, იქნება:

$$Q_\varphi \cos \varphi = Q_{0^\circ} \cos^2 \varphi. \quad (1.6.2.46)$$

იმავე A წერტილში სიმძიმის ძალის ნორმალური მნიშვნელობა, როგორც ტოლქმედი მიზიდულობისა და ცენტრიდანული ძალისა,

$$\begin{aligned} \gamma_\varphi &= F - Q_{0^\circ} \cos^2 \varphi = \gamma_{90^\circ} - (\gamma_{90^\circ} - \gamma_{0^\circ}) \cos^2 \varphi = \\ &= \gamma_{90^\circ} - (\gamma_{90^\circ} - \gamma_{0^\circ})(1 - \sin^2 \varphi); \end{aligned}$$

აქედან მივიღებთ (36) ფორმულას:

$$\gamma_\varphi = \gamma_{0^\circ} + (\gamma_{90^\circ} - \gamma_{0^\circ}) \sin^2 \varphi = \gamma_{0^\circ} \left(1 + \frac{\gamma_{90^\circ} - \gamma_{0^\circ}}{\gamma_{0^\circ}} \sin^2 \varphi \right), \quad (1.6.2.47)$$

სადაც

$$\frac{\gamma_{90^\circ} - \gamma_{0^\circ}}{\gamma_{0^\circ}} = \beta.$$

1.6.3. დედამიწის საერთო სახე როგორც ბარიერი

მეორე პერიოდში დიდი ხნის მანძილზე ითვლებოდა, რომ ელიფსოიდის a და α პარამეტრების დადგენის სიზუსტეზე გავლენას ახდენდა N რკალებისა და φ განედების განსაზღვრის სიზუსტე, რომელიც თითქოს განპირობებული იყო მხოლოდ შემთხვევითი ხასიათის შეცდომებით. მაშასადამე, ერთი და იმავე პარალელზე ან მერიდიანზე მდებარე სხვადასხვა წერტილში განსაზღვრული კოორდინატების სხვადასხვაობას, რასაც სინამდვილეში იწვევდა დედამიწის შიგა მასების არათანაბარი განაწილების მიზეზით შეუულის გადახრები, მხედველობაში არ იღებდნენ და მათ სთვლიდნენ გაზომვების დროს დაწვებულ შემთხვევით შეცდომად. ე. ი. ისე როგორც პირველ, მეორე პერიოდშიც შეუუღ ხაზებს სთვლიდნენ წრფეებად.

მრავალი სახელმწიფოს მიერ შესრულებული უდიდესი გრადუსული განზომების საფუძველზე მიღებული შედეგების ღრმა ანალიზით დადასტურდა, რომ ზემოხსენებული გადახრების ოდენობები მნიშვნელოვნად აღემატება გაზომვების დროს შესაძლო (დასაშვებ) შემთხვევითი შეცდომების ოდენობებს; ფიქრობდნენ, რომ დედამიწის საერთო სახისადმი ბრუნვის ელიფსოიდი, როგორც მეორე მიახლოება, მცდარია და დედამიწის საერთო სახე ფაქტიურად გაცილებით უფრო რთულია, ვიდრე ბრუნვის ელიფსოიდი. საბოლოოდ დადგინდა, რომ დედამიწის საერთო სახისადმი კიდევ უფრო ახლო, ე. ი. მე-სამე მიახლოებას უნდა წარმოადგენდეს ისეთი არასფერული და არასფეროიდული ზედაპირი, რომელიც ყოველ წერტილში მართობი იქნება შეუულის გადახრილი და მრუდი მიმართულებებისადმი.

ზემოხსენებული დასკვნა განმტკიცდა კიდევ იმით, რომ აღმოჩენილ იქნა კლეროს ჰიპოთეზის სინამდვილესთან შეუსაბამობა ლითონფეროს ფარგლებში, რომლის სისქე 5 კილომეტრიდან 80 კილომეტრამდე იცვლება; ეს შეუსაბამობა დადასტურდა ელიფსოიდის ზედაპირისათვის გამოყვანილი (1.6.2.36) ფორმულით განსაზღვრული და ფაქტობრივად გაზომილი სიმძიმის ძალის მნიშვნელობების განსხვავებით.

როგორც ვხედავთ, დედამიწაზე გეომეტრიული (ხაზების სიგრძეები, მიმართულებები, კუთხეები) და ფიზიკური (სიმძიმის ძალის აჩქარებების) გაზომვების გზით გამოირკვა რომ, თუ დედამიწის საერთო სახე, როგორც ბრუნვის ელიფსოიდი, ხასიათდება მხოლოდ სულ მთლიანობით და სულ ამობურცულობით, ძიებული ზედაპირი უნდა ხასიათდებოდეს აგრეთვე კორიზონტალურობითაც. ამ წარმოსახვით (იდეალურ) გეომეტრიულ ზედაპირს, ანუ დედამიწის საერთო სახეს, მოკლედ უწოდებენ დედამიწის ზედაპირს ან ძირითად დონებრივ ზედაპირს; გერმანელი მეცნიერის ლისტინგის (1806—1882) წინადადებით, 1873 წელს მას ეწოდა გეოიდის ზედაპირი, ხოლო მის შესაბამის გეომეტრიულ სხეულს—გეოიდი. მაშასადამე, განსაზღვრების თანახმად, გეოიდის ზედაპირი უნდა ხასიათდებოდეს სულ მთლიანობით, სულ ამობურცულობით და სულ კორიზონტალურობით.

ძრავალი მეცნიერი შეეცადა დაედგინა გეოიდის ნამდვილისახე, მაგალითად, დიდი შრომები აქვთ ჩატარებული ლაპლასს, სტოქსს, სლუდსკის, ბრუნსს, ჰელმერტს, პიცეტს, ვენინგ-მეინესს და სხვა.

† A. სტოდის ვითობა

დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენის პრობლემის საკითხის გადაწყვეტის საქმეში დიდი ძვრა მოხდა ინგლისელი მეცნიერის სტოქსის (1819—1903) შრომების შედეგად. სტოქსმა, გამოიყენა რა გრინისა და გაუსის გამოკვლევები, 1849 წელს განსაზღვრა გარედონებრივი ზედაპირი სიმძიმის ძალის განაზომთა საფუძველზე ისე, რომ დედამიწის შიგა აგებულების შესახებ არავითარი ჰიპოთეზა არ გამოუყენებია. მან დაამტკიცა, რომ, თუ მცირე შეკუმშულობის მქონე სფეროიდის ზედაპირი ბრუნავს და იმყოფება წონასწორობაში, მაშინ კლეროს თეორემა მართებულია დედამიწის საწყისი მდგომარეობისა და შრეების შიგა განაწილების შესახებ ნებისმიერი ჰიპოთეზისათვის. ამიტომ, თუ დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალა არ იცვლება არცერთ წერტილში, მაშინ სიმკვრივის შიგა განაწილება შეიძლება ვცვალოთ ნებისმიერად.

სტოქსის ზემოხსენებული მტკიცება საფუძვლად დაედო დედამიწის ფიგურის თეორიის ახლანდელ მიმართულებას, რომელიც ეყრდნობა განსაკუთრებულ თეორემას იმის შესახებ, რომ, თუ მოცემული გვაქვს W სიმძიმის ძალის პოტენციალის N დონებრივი ზედაპირი (გეოიდი), საერთო M მასა, განლაგებული ამ ზედაპირის შიგნით, და გეოიდის ბრუნვის ω კუთხური სიჩქარე, მაშინ ამ მონაცემებით და N ზედაპირისა და ω კუთხური სიჩქარის უცვლელობისა და იმავე დროს N ზედაპირის შიგა მასების ნებისმიერი გადაადგილების დამოუკიდებლად სრულიად (ერთმნიშვნელოვნად) ცალსახად განისაზღვრება სიმძიმის ძალის g აჩქარება N დონებრივი ზედაპირის წერტილებში და ნიუტონისეული (მიზიდულობის ძალის) P პოტენციალი მთელი N ზედაპირის გარე სივრცეში. ეს თეორემა საშუალებას გვაძლევს სტოქსის პირობების შესაბამისად დონებრივ ზედაპირზე განსაზღვროთ სიმძიმის ძალა, თუ მოცემული გვექნება დონებრივი ზედაპირის ფორმა.

დედამიწის ფიგურის თეორიაში კი საინტერესოა შებრუნებული ამოცანის ამოხსნა, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ სხვადასხვა წერტილში სიმძიმის ძალის გაზომვების საშუალებით დადგენილ იქნეს გეოიდის ფიგურა. ეს ამოცანა არ არის ცალსახა, რომელიც ამოხსნილ იქნა სტოქსის მიერ. მან დაუშვა, რომ დედამიწის დონებრივი ზედაპირი არის ზუსტი სფეროიდის ზედაპირი, რომლის ყოველ წერტილში კლეროს თეორემის მიხედვით შეიძლება სიმძიმის ძალის ოდენობის განსაზღვრა. იმავე წერტილებში ფაქტობრივად გაზომილი g სიმძიმის ძალის ოდენობები თუ კლეროს ფორმულით გამონათვლებს დაემთხვა, მართლაც, ჩვენს მიერ დაშვებული სახე დონებრივი ზედაპირისა ყოფილა სფეროიდი. მაგრამ უშუალო განაზომები, როგორც წესი, არ ემთხვევა თეორიულად (1.6.2.36) ფორმულით გამოთვლილ ნორმალურ მნიშვნელობებს.

იმ შემთხვევაში, როცა დედამიწის ზედაპირზე გრავიმეტრიული გაზომვების შედეგად განსაზღვრულ რომელიმე წერტილში g_0 სიმძიმის ძალა (რომელიც დაყვანილია ოკეანეთა დონეზე, ანუ იგი შესწორებულია განხილადი წერტილის აღნიშნული დონიდან სიმაღლის გამო) არ ემთხვევა (1.6.2.36). ანუ უფრო ზუსტი (1.6.2.37) ფორმულით გამოთვლილ იმავე წერტილისათვის γ ნორმალურ სიმძიმის ძალას, ამბობენ, რომ ამ წერტილში ადგილი აქვს სიმძიმის ძალის ანომალიას, რომელსაც აღნიშნავენ Δg სიმბოლოთი და მის ოდენობას ადგენენ ტოლობით

$$\Delta g = g_0 - \gamma, \quad (1.6.3.1)$$

სადაც g_0 არის დედამიწის ზედაპირზე გაზომილი g სიმძიმის ძალის სიმაღლეზე რელექტირებული (დაყვანილი) მნიშვნელობა.

დედამიწის სხვადასხვა წერტილში სიმძიმის ძალის ანომალიების არსებობა, ანუ გეოიდის ზედაპირის სფეროიდის ზედაპირიდან გადახრა და შეეულის აბსოლუტური გადახრების ფაქტები გაპირობებულია დედამიწის ტანში მასების არათანაბარი განლაგებით. მაშასადამე, სიმძიმის ძალის ანომალიებსა, სფეროიდის ზედაპირიდან გეოიდის გადახრების სიდიდეებსა და შეეულის გადახრებს შორის არსებობს გარკვეული კავშირი. ამ უკანასკნელის დადგენის შემდეგ შესაძლებელი ხდება სიმძიმის ძალის ანომალიების საშუალებით გეოიდის სიმაღლეებისა და შეეულის გადახრების განსაზღვრა.

სტოქსმა 1849 წელს გამოაქვეყნა ფორმულა, რომლითაც შეიძლება გამოთვლილ იქნეს გეოიდის G სიმაღლე (1.6 და 1.7 პარაგრაფი) ნებისმიერ წერტილში, თუ ცნობილია სიმძიმის ძალის ანომალიები დედამიწის მთელ ზედაპირზე.

სტოქსის ფორმულას აქვს ასეთი სახე:

$$\zeta = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Delta g S(\psi) \sin \psi \, d\psi \, dA, \quad (1.6.3.2)$$

სადაც ζ არის გეოიდის სიმაღლე ელიფსოიდის ზედაპირიდან განხილად წერტილში;

R — დედამიწის საშუალო რადიუსი (2.1.3 პარაგრაფი);

γ — სიმძიმის ძალის ნორმალური ოდენობის საშუალო მნიშვნელობა M წერტილში;

Δg — სიმძიმის ძალის ანომალია M წერტილში;

ψ და A — სფერული კოორდინატები M წერტილისა (ნახ. 1);

$S(\psi)$ — ე. წ. სტოქსის ფუნქცია.

პოლანდიელმა გეოფიზიკოსმა ეენინგ-მეინესმა 1928 წელს სტოქსის ზემოთ მოყვანილი ფორმულის საფუძველზე გამოიყვანა ფორმულა დედამიწის ნებისმიერ, ვთქვათ, C წერტილში u შეეულის გადახრის ξ და η მდგენელების გამოსათვლელად:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Delta g Q(\psi) \cos A d\psi \, dA \\ \eta &= -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Delta g Q(\psi) \sin A d\psi \, dA \end{aligned} \right\}, \quad (1.6.3.3)$$

სადაც ξ არის μ შვეულის მდგენელი C წერტილის გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყეში;

η — μ შვეულის მდგენელი C წერტილის პირველი გეოდეზიური ვერტიკალის სიბრტყეში;

$Q(\psi)$ — ე. წ. ვენინგ-მეინესის ფუნქცია.

როგორც ვხედავთ, გრავიმეტრიული მონაცემებით კლეროს ფორმულა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს დედამიწის ელიფსოიდის μ შეკუმშულობა,

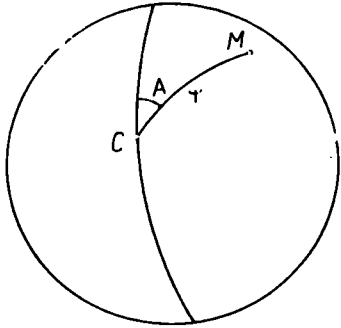
ხოლო სტოქსისა და ვენინგ-მეინესის ფორმულებით შეიძლება განისაზღვროს გეოიდის ფიგურა.

უნდა შევნიშნოთ, რომ სიმძიმის ძალის განსაზღვრის არსი დიდხანს იყო უცნობი და ამ მიზეზით 1743 წელს გამოქვეყნებული კლეროს ფორმულა პრაქტიკულად გამოყენებულ იქნა მხოლოდ 1884 წელს და თეორიული კვლევების ამ დიდი მიღწევების მიუხედავად ძლიერ მცირე რაოდენობით იყო შესრულებული გრავიმეტრიული გაზომვები. აგრეთვე ერთი საუკუნით დაიგვიანა სტოქსის მიერ გამოქვეყნებული ფორმულის პრაქტიკულად გამოყენების საქმეც, შემდეგი მიზეზების გამო: 1)

სტოქსმა გარე დონებრივი ზედაპირის განსაზღვრელი ფორმულის გამოყვანის დროს დაუშვა, რომ გეოიდის გარეშე არავითარი მასები არ არსებობს და მთელი მასა დედამიწისა განაწილებულია გეოიდის შიგნით, რაც სწორი არაა; 2) იგულისხმებოდა, რომ სიმძიმის ძალის გაზომვები წარმოებდა გეოიდის ზედაპირზე. ამის მისაღწევად მიმართავდნენ დედამიწის რეგულაციას, ანუ გეოიდის გარეშე მასების გავლენის გამორიცხვას რედუქციის გზით, მაგრამ გამოირკვა, რომ ეს ოპერაცია იწვევდა თვით გეოიდის დეფორმაციას (იხ. შემდეგი მუხლი); 3) სტოქსის ფორმულა გულისხმობს მთელი დედამიწის (გეოიდის) ზედაპირზე სიმძიმის ძალის აჩქარების (მისი ანომალიის) ცოდნას, რაც ჯერჯერობით მიუღწეველია.

სტოქსის ფორმულით გეოიდის ζ სიმაღლეებისა და ვენინგ-მეინესის ფორმულებით ξ_{μ} და η_{μ} გრავიმეტრიული გადახრების მიახლოებითი ოდენობების დადგენა შეიძლება, თუ შესრულებული გვექნება დიდი სივრცის მომკვეთი წრის ფარგლებში გრავიმეტრიული აგეგმვები (ნახ. 2). მაგალითად, განხილად წერტილში გეოიდის ζ სიმაღლე შეიძლება განისაზღვროს ± 25 მეტრის შეცდომით, თუ შესრულებული გვექნება გრავიმეტრიული აგეგმვა $r \approx 1,5$ ათასი კალომეტრის რადიუსის მქონე სივრცეზე იმ ანგარიშით, რომ ყოველ 1000 კმ-ზე მოხდეს ერთი გრავიმეტრიული პუნქტი, ხოლო ξ_{μ} და η_{μ} გადახრების ოდენობის $\pm 1''$ შეცდომით განსაზღვრისათვის საჭიროა კიდევ უფრო ხშირი პუნქტები.

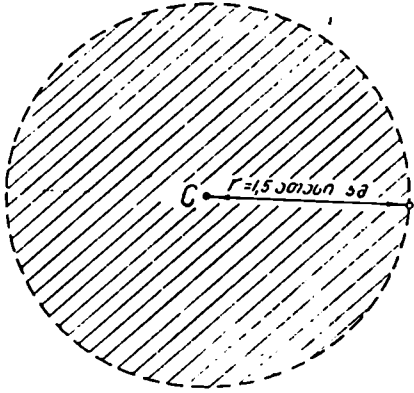
დედამიწის ფიგურის განსაზღვრის ფიზიკური მეთოდების პარალელურად ვითარდებოდა გეომეტრიული მეთოდი. იზრდებოდა გრადუსული გაზომვებით



ნახ. 1. 6. 3. 1.

მოკული ტერიტორიები; იზრდებოდა კუთხეების, ხაზოვანი და ასტრონომიული გაზომვების სიზუსტე და სხვა. თანდათან კიდევ უფრო მეტად ვლინდებოდა დედამიწის წიაღში მასების სხვადასხვა სიმკვრივეებით გამოწვეული ელიფსოიდის ზედაპირიდან გეოიდის გადახრები, რასაც როგორც ძველად, ისე კვლავ ხშირად, გაზომვების შემთხვევით შეცდომებს აწერდნენ და ზუსტი განაზომების ხარისხი მათი მათემატიკური დამუშავების დროს ეცემოდა.

აღნიშნული მდგომარეობა უარყოფით გავლენას ახდენდა ელიფსოიდის პარამეტრების დადგენის საქმეზე, აგრეთვე ამცირებდა აგეგმვებისათვის საჭირო დასაყრდენი პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტეს. მაგალითად, უშუალოდ გაზომილ S რკალის სიგრძის განაზომისა და მისი ბოლოების შესაბამისი ასტრონომიული განედების სხვაობით გამოთვლილ სიგრძეს შორის განსხვავებას, რაც გააირობებელი იყო შვეულის გადახრებით, აწერდნენ ასტრონომიული განედების გაზომვის შემთხვევით შეცდომებს, რაც, რათქმა უნდა, სწორი არ იყო. როგორც შემდეგ გამოიჩვენა, განედის გაზომვის შეცდომა $\pm 0,5$ გამოდიოდა, ხოლო შვეულის გადახრა კი $3''-4''$ -მდე აღწევდა. შემდეგ ფიქრობდნენ, რომ ზემოხსენებული შეუსაბამობის მიზეზი ფიზიკური ზედაპირის უსწორმასწორობაა, რაც გამოწვეულია მთიან სივრცეებზე მასების მეტობით და ოკეანურ დრამულეებში მასების ნაკლებობით. მაშასადამე, შვეულის გადახრის მიზეზად მხოლოდ რელიეფს სთვლიდნენ. ამ ჰიპოთეზით იგულისხმებოდა, რომ ლითონფეროში ნივთიერებებს ერთნაირი სიმკვრივე აქვთ, რაც არ დადასტურდა.



ნახ. 1. 6. 3. 2.

მოკლედ განვიხილავთ სხვადასხვა ჰიპოთეზების საკითხებს სიმძიმის ძალის რედუქციის (დაყვანის), ანუ დედამიწის რეგულაციის შესახებ

II. სიმძიმის ძალის დაყვანის (რედუქციის) არსი

წინა მუხლში განხილული სტოქსის (2) ფორმულის გამოყენებისათვის საჭირო გახდა დედამიწის რეგულაცია, ანუ დედამიწის მთელი მასის გეოიდის ტანში მოქცევა (მოთავსება), რისთვისაც აწარმოებენ სიმძიმის ძალის დაყვანას (რედუქცია) ერთი (დღითი) ზედაპირიდან მეორეზე (გეოიდის ზედაპირზე). რეგულაციასწინა დედამიწა ნამდვილისაგან განსხვავდება იმით, რომ ზღვის დონის მაღლა არსებული მასები წარმოდგენით (აზრობრივ) მოიხსნება დედამიწისაგან ან რაიმე რაციონალური მეთოდით ეს მასები გადაიტანება გეოიდის ზედაპირზე, ან მის შიგნით. მასების ეს გადაადგილება უნდა მოხდეს ისე, რომ არ იქნეს შეცვლილი დედამიწის საერთო მასა, არ შეიცვალოს გეოიდის ფიგურა და მასების გადაადგილებამდე გეოიდისა და ელიფსოიდის მა-

სების შეთავსებული ცენტრები დარჩეს შეთავსებული მასების გადაადგილების შემდეგ. დედამიწის რეგულაციის გავლენა გაზომილ სიმძიმის ძალებზე უნდა იყოს გამოთვლილი და მხედველობაში მიღებული. დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომი სიმძიმის¹ ძალების დაყვანის რაციონალური მეთოდების ძიებასთან დაკავშირებით შექმნილია დედამიწის რეგულაციის მრავალი მეთოდი.

სიმძიმის ძალის დაყვანის (რედუქციის) საკითხი საინტერესოა არამარტო დედამიწის რეგულაციის თვალთახედვით (რაც არ გამოიყენება მოლოდენისკის თეორიის მიხედვით), იგი აგრეთვე საჭიროა არაპირდაპირი ინტერპოლაციისათვის, ერთი ზედაპირიდან მეორე ზედაპირზე სიმძიმის ძალის აჩქარების გადატანის დროს და სხვა.

ა. რედუქცია თავისუფალ ჰაერში

სიმძიმის ძალის ზღვის დონეზე, ანუ სიმაღლეში, დაყვანისას, რასაც თავისუფალ ჰაერში შესწორება ეწოდება, შეიძლება დედამიწა მივიღოთ ნორმალური სფეროიდის ტოლ სფეროდ, რადგანაც სიმძიმის ძალის ოდენობები სფეროიდზე და მისი ტოლი მასისა და ოდენობის მქონე სფეროზე ურთიერთ განსხვავდება 0,005 რიგით, რაც უდრის სფეროიდის ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში სიმძიმის ძალის γ ნორმალური ოდენობის, ანუ დედამიწაზე სიმძიმის ძალის ნორმალური განაწილების (1.6.2.36), (1.6.2.37), (1.6.2.38), (1.6.2.39), (1.6.2.40) ფორმულების β კოეფიციენტს. გარდა აღნიშნულისა, ამ დროს ცენტრიდანული ძალის მაქსიმალური გავლენა წარმოადგენს სიმძიმის ძალის 1:289 და ამიტომ ცენტრიდანული ძალის დაყვანის დროს მის გავლენას მხედველობაში არ იღებენ.

(1.4.4.18) ფორმულის მიხედვით თუ მოცემულ წერტილში m მასას ერთის ტოლად მივიღებთ, სფეროს ზედაპირზე და ზღვის დონიდან H სიმაღლეზე სიმძიმის ძალა, შესაბამისად, გამოითვლება:

$$g_0 = f \frac{M}{R^2} \text{ დინი} \quad (1.6.3.4)$$

და

$$g = f \frac{M}{(R+H)^2} \text{ დინი} \quad (1.6.3.5)$$

ფორმულებით, სადაც $f = 6,685 \cdot 10^{-8} \approx 6,7 \cdot 10^{-8}$ სმ³/გსეკ² არის მიზიდულობის მუდმივა;

M —დედამიწის მასა;

$R \approx 6\,371\,200$ მ—დედამიწის საშუალო რადიუსი.

(4) და (5) ფორმულების სხვაობით მიიღება Δg_1 შესწორების გამოსათვლელი ფორმულა, რომლის შესაბამისი ოდენობები, გამოთვლილი სხვადასხვა H სიმაღლისათვის, დაემატება ამ წერტილებში გაზომილ g სიმძიმის ძალებს

¹ საერთოდ, სიმძიმის ძალის გაზომვაში ყველგან უნდა ვიგულისხმოთ სიმძიმის ძალის აჩქარების გაზომვები.

და ამით იგი g_0 სიმძიმის ძალის სახით დაიყვანება სფეროს ზედაპირზე. მართლაც, (4) და (5) სხვაობით მიიღება:

$$\Delta g_1 = g_0 - g = fM \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{(R+H)^2} \right) = fM \frac{1}{R^2} \left[1 - \left(1 + \frac{H}{R} \right)^{-2} \right]. \quad (1.6.3.6)$$

კვადრატულ ფრჩხილებში მოქცეული გამოსახულების ბინომის წესით მწკრივად დაშლით და $H:R$ წვერის მაღალი ხარისხების სიმცირის გაშვად დაშლის მხოლოდ პირველი წვერის შენარჩუნებით მივიღებთ:

$$\Delta g_1 \approx 2f \frac{MH}{R^2} \approx 2 \frac{g_0}{R} H. \quad (1.6.3.7)$$

$2 \frac{g_0}{R}$ კოეფიციენტის ოდენობის განსაზღვრისათვის მივიღოთ, რომ $\varphi = 45^\circ$;

g_0 ოდენობა უდრის 979,77 გალს, რაც შეესაბამება დედამიწის ზედაპირზე სიმძიმის ძალების ნორმალური მნიშვნელობების საშუალოს. მაშასადამე,

$$2 \frac{g_0}{R} = 0,3086 \text{ მგლ/მ},$$

ამიტომ

$$\Delta g_1 = 0,3086 H \text{ მგლ}, \quad (1.6.3.8)$$

სადაც H სიმაღლეები გამოსახება მეტრებში, ხოლო შედეგი მიიღება მილიგალებში.

ჰელმერტმა, გაითვალისწინა რა დედამიწის შეკუმშულობა, დაადგინა, რომ

$$\Delta g_1 = 0,3086(1 + 0,00071 \cos 2\varphi)H, \quad (1.6.3.9)$$

სადაც φ — დედამიწის იმ წერტილის ასტრონომიული განედია, სადაც გაზომილია g სიმძიმის ძალა.

Δg_1 შესწორების ნიშანი დადებითია, როცა $H > 0$.

Δg_1 შესწორების გამოსათვლელად საჭიროა გვეჩვენდეს ტერიტორიის რუკა ან გეგმა, საიდანაც განისაზღვრება დაკვირვების პუნქტის სიმაღლე და φ განედი. (6) ტოლობის მიხედვით გამოითვლება სიმძიმის ძალის რედუცირებული g_0 მნიშვნელობა:

$$g_0 = g + \Delta g_1. \quad (1.6.3.10)$$

როგორც ვხედავთ, Δg_1 შესწორების გამოსათვლელი ფორმულის გამოყენების დროს (4) და (5) ფორმულებში შეუცვლელად შეტანილია დედამიწის M მასა, ე. ი. არ არის მხედველობაში მიღებული ზღვის დონესა და დედამიწაზე სიმძიმის ძალის აჩქარების გაზომვის ადგილს შორის მოთავსებული მასები. ამიტომ Δg_1 ოდენობას უწოდებენ „შესწორებას თავისუფალ ჰაერში“. სიმძიმის ძალის $g_0 = g + \Delta g_1$ თავისუფალ ჰაერში შესწორებით რედუცირებულ მნიშვნელობასა და γ_0 ნორმალურ მნიშვნელობათა შორის სხვაობას ($g_0 - \gamma_0$) ეწოდება ანომალია თავისუფალ ჰაერში, რომელიც აღენიშნოთ $\Delta g_{თა}$ სიმბოლოთი. ე. ი. (10) ტოლობის გამოყენებით მივიღებთ:

$$g - \Delta g_1 - \gamma_0 = \Delta g_{თა}. \quad (1.6.3.11)$$

ინგლისელმა გეოფიზიკოსმა დევიდ ფრისმა დაამტკიცა, რომ გეოიდის ფიგურის დასადგენად საჭიროა გამოვიყენოთ მხოლოდ და მხოლოდ ანომალია თავისუფალ ჰაერში.

ვისუფალ ჰაერში. ამიტომ სტოქსის (2) ფორმულაში $\Delta g = g_0 - \gamma_0$ ოდენობას ვუწოდებთ ანომალია თავისუფალ ჰაერში; მას აგრეთვე უწოდებენ შერეულ ანომალიას, რადგანაც g_0 დაყვანილი სიმძიმის ძალა შეესაბამება გეოიდის ზედაპირს და γ_0 ნორმალური სიმძიმის ძალა კი—ფეროდის ზედაპირს. ცალკეული (დისკრეტული) გრავიმეტრიული აგეგმვების დროს საჭირო ხდება განსაზღვროს ანომალიები იმ წერტილებში, სადაც სიმძიმის ძალები არ გაზომილა, რისთვისაც იყენებენ ინტერპოლობებს, ანუ ანომალიების შუალედი პროპორციული ნაწილების განსაზღვრებს.

როგორც (8), (9) ფორმულებიდან ჩანს, თავისუფალ ჰაერში ანომალიების ოდენობები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ადგილის რელიეფზე. მაგალითად, მთაგორიან ადგილებში რედუქციას სიმაღლეზე საგრძნობი შეცდომები ახასიათებს, რადგანაც სიმძიმის ძალის ნორმალური ვერტიკალური გრადიენტის მნიშვნელობა 0,3086 მგლ/მ არ შეესაბამება ანომალიურ გრადიენტს, რომელსაც ადგილი აქვს მთაგორიან რაიონებში. ცხადია, ასეთ შემთხვევაში ინტერპოლობით განსაზღვრული ანომალიები იქნება მიუღებელი.

ანომალიების ინტერპოლობით განსაზღვრის დროს უფრო ზუსტ შედეგს მივალწევთ, თუ მხედველობაში მივიღებთ არა მარტო შესწორებას სიმაღლეზე, არამედ გარეშე მასების გავლენასაც. ეს გავლენა ვაკე ადგილებისათვის დაახლოებით გამოისახება ე. წ. შუალედი შრის მიზიდულობის შესწორების მხედველობაში მიღებით.

ბ. შესწორება შუალედი შრის მიზიდულობის გამო

შუალედ შრედ ივულისხმება ის მასები, რომლებსაც ქვემოდან ესაზღვრება გეოიდის ზედაპირი და ზემოდან კი დაკვირვების პუნქტზე გავლებული პორიზონტული სიბრტყე. რელიეფის გამო დედამიწის ზედაპირი გადახრილია ხსენებული სიბრტყიდან, ამიტომ დამატებით ანგარიშობენ აგრეთვე რელიეფის შესწორებასაც (იხ. შემდეგი მუხლი), რომელსაც უმატებენ გაზომილ g სიმძიმის ძალას.

შუალედი შრის მიზიდულობის გამო შესწორების გამოსათვლელი ფორმულაა

$$\left. \begin{aligned} \Delta g_1 &\approx -2\pi f DH \\ \Delta g_2 &= -0,0418 DH \end{aligned} \right\} \quad (1.6.3.12)$$

სადაც D არის შუალედი შრის სიმკვრივე, რომლის ოდენობას, ჩვეულებრივ, იღებენ 2,3 გ.სმ³; მაშასადამე,

$$\Delta g_2 = -0,0961 H \text{ მგლ.} \quad (1.6.3.13)$$

(12) და (8) დამოკიდებულებების ურთიერთშედარებით მივიღებთ, რომ თანაბარ პირობებში Δg_2 დაახლოებით სამჯერ ნაკლები გამოდის, ვიდრე Δg_1 .

ამ ორი შესწორების ჯამს ეწოდება ბუგეს შესწორება, ხოლო ბუგეს შესწორებით დაყვანილ (რედუქციურულ) გაზომილ g სიმძიმის ძალასა და γ_0 ნორმალურ სიმძიმის ძალას შორის სხვაობას ეწოდება ბუგეს ანომალია და აღინიშნება Δg_a სიმბოლოთი, ე. ი.

$$g + (\Delta g_1 + \Delta g_2) - \gamma_0 = \Delta g_a. \quad (1.6.3.14)$$

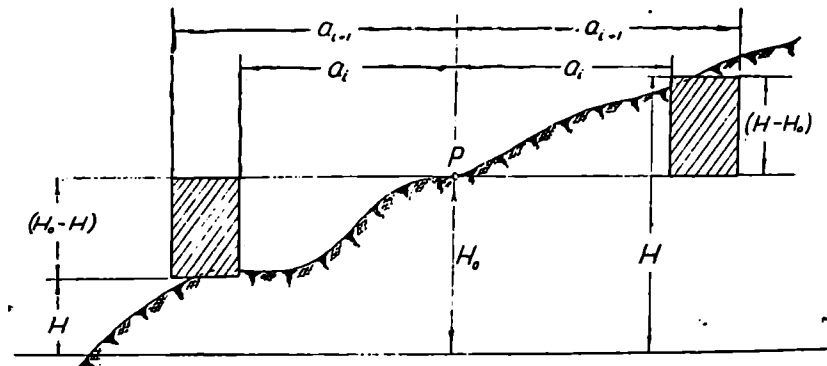
(11) და (14) დაპოკიდებულებების ურთიერთშედარებით და (13)-ის გამოყენებით დაეწერათ:

$$\Delta g_{0a} = \Delta g_1 - \Delta g_2 = \Delta g_a + 0,0961 H \text{ მგლ.} \quad (1.6.3.15)$$

(15) ფორმულას უფრო იყენებენ მთავორიან ადგილებში ინტერპოლაციის დროს, რადგანაც აქ Δg_a ბუგეს ანომალიის ინტერპოლაცია უფრო ზუსტად სრულდება, ვიდრე Δg_{0a} თავისუფალ პაერში ანომალიისა.

ა. რელიეფის გამო შესწორება

წინა მუხლში აღნიშნული იყო, რომ რელიეფის გამო დედამიწის ზედაპირი არ არის პორიზონტული სიბრტყე. რის გამო რელიეფის გავლენას ცალკე ანგარიშობენ და შესწორების სახით შეაქვთ სიმძიმის ძალების გავომილ ოდენობებში. რელიეფის გავლენის შესწორების არსი მდგომარეობს მოცემულ



ნახ. 1. 6. 3. 3.

წერტილზე გატარებულ თარაზულ სიბრტყეში ამ წერტილის გარშემო არსებული ადგილის რელიეფის მოსწორებაში. ამ შესწორების ნიშანი ყოველთვის დადებითია, რადგანაც დაკვირვების ადგილზე უფრო დაბალი წერტილების დანაკლისი მასებით შეესება აქ მხოლოდ ადიდებს სიმძიმის ძალას ისევე, როგორც დაკვირვების წერტილზე უფრო მაღალი წერტილებისაგან ზედმეტი მასების მოშორებით მცირდება რა იქ სიმძიმის ძალა, დაკვირვების ადგილში აგრეთვე სიმძიმის ძალის ოდენობას ხდის მაქსიმალურს. გამოყვანის გარეშე მოვიყვანთ ამ შესწორების გამოსათვლელ ფორმულას (3) ნახაზის შესაბამისად:

$$\Delta g_3 = \Sigma F(H - H_0), \quad (1.6.3.16)$$

ხოლო

$$F(H - H_0) = \frac{2\pi fD}{g} [a_i - a_{i+1} + \sqrt{a_{i+1}^2 + (H - H_0)^2}] - \sqrt{a_i^2 + (H - H_0)^2}. \quad (1.6.3.17)$$

(17) და (16) ფორმულის გამოყენებისათვის საჭიროა გვექონდეს ტოპოგრაფიული რუკა. ამ რუკაზე აღებული P დაკვირვების წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან, დაიკვალება კონცენტრული წრეხაზებისა და რადიალურად გაშლილი სხივების ბადე (პალეტი). P წერტილის საშუალო სიმაღლეა H_0 . ყოველ უჯრედში (ნახაზზე P წერტილის მარცხნივ და მარჯვნივ ორი უჯრედი) 16. ნ. თეზაჰე

ისაზღვრება საშუალო H სიმაღლე და $(H-H_0)$ სხვაობა, რომლებიც წარმოადგენენ რელიეფის გამო შესწორების გამოსათვლელ არგუმენტებს. მაშასადამე, ყოველი უჯრედის სიმაღლის მიხედვით ისაზღვრება ამ უჯრედების გრავიმეტრიული მოქმედების შესაბამისი ვერტიკალური მდგენელი. ყოველი უჯრედი წარმოადგენს ღრუ ცილინდრს, რომელთა შესაბამისი რადიუსებია a_i და a_{i+1} , ხოლო სიმაღლე კი H . ვთქვათ, ასეთი უჯრედი, ანუ ცილინდრული მონაკვეთები, ყოველ რგოლში (ზონაში, სარტყელში) არის n . ჩვენთვის საინტერესოა ყოველი რგოლისათვის საშუალო. ამიტომ (17) ფორმულაში n შედის კოეფიციენტის მნიშვნელობა. მაშასადამე, (16) ფორმულა გამოსახავს საერთო დაძაბულობას, ანუ შესწორებას, P წერტილიდან დაწყებული ყველა რგოლისათვის.

როგორც ვიცით, $f=6,685 \cdot 10^{-8}$ სმ²/გსეკ² არის მიზიდულობის მუდმივა და $D=2,3$ გ/სმ³—შუალედი შრის სიმკვრივე. (16) ფორმულით გამოთვლილი შესწორება ემატება გაზომილ g აჩქარებებს.

რელიეფის გავლენა სწრაფად მცირდება რგოლის რადიუსის გაზრდის შესაბამისად, რის გამო რელიეფის გამო შესწორების გამოთვლისას ვიზუალურად შედარებით მცირე რადიუსის სივრცეებით. საერთოდ, რადიუსებს იღებენ $a=0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 8; 11; 15$ კმ და ყოველ რგოლში ცილინდრული უჯრედების რაოდენობას კი რვას— $(n=8)$.

რელიეფის გამო შესწორების სიზუსტე დამოკიდებულია რუკის მასშტაბსა და რელიეფის კვეთის სიმაღლეზე. ვაკე ადგილებში რელიეფის გამო შესწორების ოდენობა უმნიშვნელოა, ხოლო მთავორიან ადგილებში იგი საყურადღებო ოდენობას აღწევს.

რელიეფის გამო შესწორების გამოსათვლელად არსებობს ცხრილები, ნომოგრამები და სხვა.

როგორც ვთქვით, რელიეფის გამო შესწორების შეტანით შეიძლება ვიგულისხმოთ, რომ g სიმძიმის ძალის აჩქარება არის გაზომილი H_0 სისქის მქონე ერთგვაროვანი ფენის ზედაპირზე. ამ ფენის გრავიტაციული ეფექტის მხედველობაში მიღების შემდეგ დაკვირვების პუნქტი შეიძლება გადატანილ იქნეს ზღვის დონეზე ზემოთ მოყვანილ თავისუფალ ჰაერში შესწორებით. Δg_1 თავისუფალ ჰაერში შესწორებისა და Δg_2 რელიეფის შესწორების ჯამს ეწოდება Δg_F ფაის შესწორება და გამოისახება ტოლობით:

$$\Delta g_1 + \Delta g_2 = \Delta g_F \quad (1.6.3.18)$$

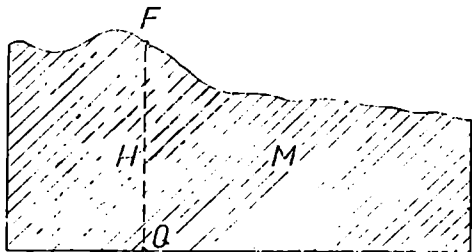
ვაკე ადგილში ფაის შესწორება იქნება თავისუფალ ჰაერში შესწორების ტოლი.

d. პრეი-პუნჯარეს რედუქცია

განხილავი რედუქციის მიზანია მიმზიდველ მასებში გამავალი გეოიდის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის აჩქარებების მონახვა.

ვთქვათ, დაკვირვების F წერტილი იმყოფება M მატერიკზე (ნახ. 4). აქ რომ რელიეფის გამო Δg_3 შესწორება შევიტანოთ, დაკვირვების წერტილს მივიღებთ ფირფიტაზე. ფირფიტის მოშორებით საპირო იქნება g -ს შემცირება ამ შრის მზიდულობის შესწორების სიდიდით, ანუ $\Delta g_2 = 0,018DH$ ოდენობით. თავისუფალი ჰაერის Δg_1 შესწორების შეტანის შემდეგ ფირფიტის ძველ ადგილზე აღდგენით, რომელიც შეესაბამება F წერტილიდან Q წერტილში გადა-

სელას, კიდევ უნდა შევამციროთ g სიმძიმის ძალის გაზომილი მნიშვნელობა Δg_2 ოდენობით. მაშასადამე, იმისათვის, რომ F წერტილში გაზომილი g სიმძიმის ძალის მნიშვნელობიდან გადავიღოთ იმ ოდენობაზე, რაც უნდა გვეკონდეს Q წერტილში, საჭიროა g სიმძიმის ძალის გაზომილი ოდენობაში შევიტანოთ: Δg_1 თავისუფალი ჰაერის, Δg_3 რელიეფის გამო და $2\Delta g_2$ ფირფიტის მიზიდულობის გაორკეცებული შესწორებები, ე. ი.



ნახ. 1. 6. 3. 4.

$$\Delta g_{PP} = \Delta g_1 + \Delta g_3 + 2\Delta g_2, \quad (1.6.3.19)$$

ამ შემთხვევაში \bar{g} სიმძიმის ძალის შესწორებული ოდენობა იქნება:

$$\bar{g} = g + \Delta g_{PP}, \quad (1.6.3.20)$$

სადაც Δg_{PP} ოდენობას უწოდება პ რ ე ი - პ უ ა ნ კ ა რ ე ს რედუქცია.

სიმძიმის ძალის განაზომებში ამ რედუქციის შეტანის შემდეგ მასები მაინც რჩება გეოიდის გარეთ, ე. ი. სტოქსის თეორემა ვერ კმაყოფილდება. მიუხედავად ამისა, ეს რედუქცია მაინც გამოიყენება სხვა ამოცანების გადაწყვეტის დროს (2.1.8 პარაგრაფი).

ე. ტოპოგრაფიული რედუქცია

სიმძიმის ძალის ოდენობებში გეოიდის გარე ყველა მასების მიზიდულობის გამო შესწორებებს ეწოდება ს რ უ ლ ი ტ ო პ ო გ რ ა ფ ი უ ლ ი შესწორება. ა რ ა ს რ უ ლ ს უ წ ო დ ბ ე ნ ტ ო პ ო გ რ ა ფ ი უ ლ შესწორებას იმ შემთხვევაში, როცა მისი ოდენობის დადგენისათვის შეიზღუდებიან შედარებით მცირე (200 კმ) სივრცეების შესაბამისი მასების მიზიდულობის გავლენით. მიზიდულობის სრული ტოპოგრაფიული შესწორება შედგება ორი ნაწილისაგან: პირველია $\Delta g'$ შესწორება დაკვირვების ადგილის ანლო სივრცეების გავლენით, რომელიც მიიღება სიბრტყეზე, და მეორე — $\Delta g''$ შესწორება შორეული არეების მიზიდულობის გავლენით, სადაც საჭიროა დედამიწის სფერულობის მხედველობაში მიღება. პირველი შესწორების გამოსათვლელად იყენებენ (16) და (17) ფორმულებს, მხოლოდ აქ ივთლისხმება მიზიდულობა ცილინდრისა იმ წერტილზე, რომელიც მდებარეობს ამ ცილინდრიდან h სიმაღლეზე. მაშასადამე,

$$\Delta g' = \Sigma [F(H_0) - F(H_0 - H)], \quad (1.6.3.21)$$

სადაც

$$F(H_0) - F(H_0 - H) = \frac{2\pi f D}{11} \left[(\sqrt{a_{i+1}^2 + H_0^2} - \sqrt{a_i^2 + H_0^2}) - (\sqrt{a_{i+1}^2 + (H_0 - H)^2} - \sqrt{a_i^2 + (H_0 - H)^2}) \right]. \quad (1.6.3.22)$$

როგორც ვხედავთ, აქ გამოიყენება ყველა ცხრილი და დიაგრამა, რომლებსაც იყენებენ რელიეფის გამო შესწორებების დროს (პირველი არგუმენტი იქნება H_0 , მეორე კი $(H_0 - H)$).

მეორე $\Delta g''$ შესწორების გამოსათვლელად მიღებულია ფორმულა:

$$\Delta g'' = 2\pi fDR^2H(\cos \psi_2 - \cos \psi_1)\bar{E}, \quad (1.6.3.23)$$

სადაც ψ_1 და ψ_2 არის სფერულად მიღებული სივრცის საწყისი და ბოლო წერტილის შესაბამისი პოლარული კუთხეები;

\bar{E} — პოლარული კუთხეების, მათი შესაბამისი a ქორდებისა და ცილინდრის ზედაპირიდან წერტილის h დაშორების ფუნქცია.

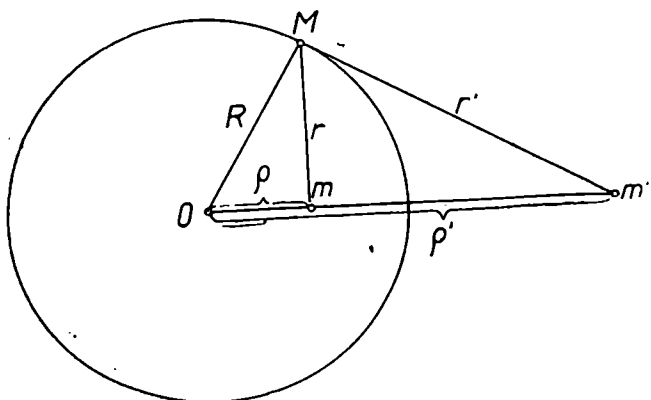
მაშასადამე, სრული ტოპოგრაფიული შესწორება გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta g_T = \Delta g' + \Delta g''. \quad (1.6.3.24)$$

ფ. ინვერსიის მეთოდი

ამ მეთოდის ავტორი არის პოლონელი გეოფიზიკოსი რუდსკი. ამ მეთოდით გეოიდი შეიძლება წარმოვიდგინოთ R რადიუსის მქონე სფეროს სახით და ამ სფეროს გარე მასების მასში ინვერსიის (გადატანის) გზით მოხლება რეგულარიზაცია.

ვთქვათ, გეოიდის გარე მასა m' იმყოფება R რადიუსის მქონე სფეროს O ცენტრიდან $\rho' = om'$ მანძილზე, ხოლო M წერტილიდან, რომელზეც ისაზღვრება პოტენციალი, იგი დაშორებულია r' მანძილით. საჭიროა m' მასის გადატანა om' ხაზზე სფეროს ტანის ისეთ წერტილში, რომ M წერტილის პოტენციალის ოდენობა არ შეიცვალოს. გადატანილი მასა აღვნიშნოთ m სიმბოლოთი, რომლის მანძილები სფეროს ცენტრიდან და M წერტილიდან, შესაბამისად, იქნება ρ და r . იმისათვის, რომ M წერტილში პოტენციალის



ნახ. 1.6.3.5.

ოდენობა არ შეიცვალოს, საჭიროა m გადატანილი მასის ოდენობა გამოეთვალათ ფორმულით;

$$m = m' \frac{R}{\rho'} \quad (1.6.3.25)$$

ამ მეთოდით რეგულარიზაციის დროს დედამიწის საერთო მასა უმნიშვნელოდ შემცირდება.

გ. იზოსტაზიის თეორიის როლის შესახებ

გასული საუკუნის შუა წლებში შეიქმნა იზოსტატიკური კომპენსაციის, ანუ მოკლედ, იზოსტაზიის თეორია, რაც ბერძნულად წონასწორობას ნიშნავს და თანამედროვე გაგებით ლითოსფეროს ფარგლებში მისი ცალკეული ნაწილების მასების წონასწორობას გულისხმობს.

იზოსტაზიის პიპოთეზის მიხედვით დონებრივი ზედაპირი გადის გარკვეულ სიღრმეზე, რომლის ზემოთ და დედამიწის ცენტრამდე არსებობს ჰიდროსტატიკური წონასწორობა. ცნობილია, რომ წონასწორობის დროს დონებრივი ზედაპირები წარმოადგენს ტოლი წნევების ზედაპირებს, ანუ ამ ზედაპირების კვადრატულ ერთეულზე წნევები, რასაც კომპენსაციის ზედაპირი ეწოდება, ყველგან ერთნაირია. იზოსტაზიის თეორიის წარმოშობის დღიდან ბევრი წინადადებები იყო მოწოდებული ამ თვალთახედვით დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად, მაგალითად, ინგლისელი მეცნიერის პრატის პიპოთეზით კომპენსაციის ზედაპირს აქვს ერთი და იგივე სიღრმე ზღვის დონიდან. ვთქვათ, კომპენსაციის სიღრმეა T . კომპენსაციის ზედაპირზე ტოლი წნევების არსებობის დროს ლითოსფეროს ყველა ნაწილში ადგილი უნდა ჰქონდეს ტოლობას:

$$D(T+H) = \text{const}, \quad (1.6.3.26)$$

სადაც H არის დონებრივი ზედაპირიდან ხილულ ზედაპირამდე სიმაღლე;

$$D - (T+H) \text{ შრის სიმკვრივე;}$$

ზღვებისათვის (26) ტოლობას აქვს ასეთი სახე:

$$D(T-P) + 1,03P = \text{const}, \quad (1.6.3.27)$$

სადაც P არის ზღვის სიღრმე;

$$1,03 - \text{ზღვის წყლის სიმკვრივე.}$$

(26) და (27) ფორმულებში const-ის (მუდმივა) განსაზღვრისათვის საჭიროა ეს ფორმულები დიწეროს ზედაპირის იმ წერტილებისათვის, რომელთა $H=0$ და $P=0$, ხოლო კომპენსაციის შრეში სიმკვრივე აღენიშნათ D_0 სიმბოლოთი, მაშინ ორივე ფორმულის მიხედვით დაეწერათ:

$$D_0 T = \text{const}. \quad (1.6.3.28)$$

ჩვეულებრივ, მიღებულია, რომ $D_0 = 2,67$ გრ/სმ³, ე. ი.

$$2,67 T = \text{const}. \quad (1.6.3.29)$$

პეიფორდისა და ბოუის მიერ დამუშავებული იზოსტაზიის თეო-

რის შედარებით მარტივი და გავრცელებული ხერხი სიმძიმის ძალის დაყვანის შესახებ გულისხმობს ჰიპოთეზას:

1. ზღვის დონეს იღებენ $R=6370$ კმ რადიუსის შესაბამის სფეროდ;

2. მთელ დედამიწაზე გეოიდის ზემოთ მდებარე მასების $D_0=2,67$ გ/სმ³ და ზღვის წყლების $1,03$ გ/სმ³ სიმკვრივეს იღებენ მუდმივად, ხოლო დედამიწის საშუალო სიმკვრივეს იღებენ $5,52$ გ/სმ³ ტოლს;

3. კომპენსაციის სიღრმეს მთელ დედამიწაზე იღებენ $113,7$ კმ.

იზოსტაზიის თეორიის მიხედვით ოკეანეების ფსკერის ქვეშ ლითოსფერო უფრო მკვრივია, ვიდრე ხმელეთის ქვეშ.

იზოსტატიკური მეთოდით სიმძიმის ძალის დაყვანა ხდება შემდეგი თანამიმდევრობით: 1. სიმძიმის ძალის g გაზომილ ოდენობას ამცირებენ ყველა მასის მიზიდულობის ვერტიკალური მდგენელებით, რომლებიც არიან ზღვის დონის ზემოთ; 2. სიმძიმის ძალის g გაზომილ ოდენობას უმატებენ დედამიწის ტანში განლაგებული იმავე მასების მიზიდულობის ვერტიკალურ მდგენელებს ისე, რომ ლითოსფერო შეეავსოთ მის შეუშფოთებელ მდგომარეობამდე; ამ მოქმედებას ეწოდება იზოსტატიკური კომპენსაციის გამოთვლა; 3. სიმძიმის ძალის g გაზომილ ოდენობაში შეაქვთ თავისუფალ ჰაერში Δg_1 შესწორება.

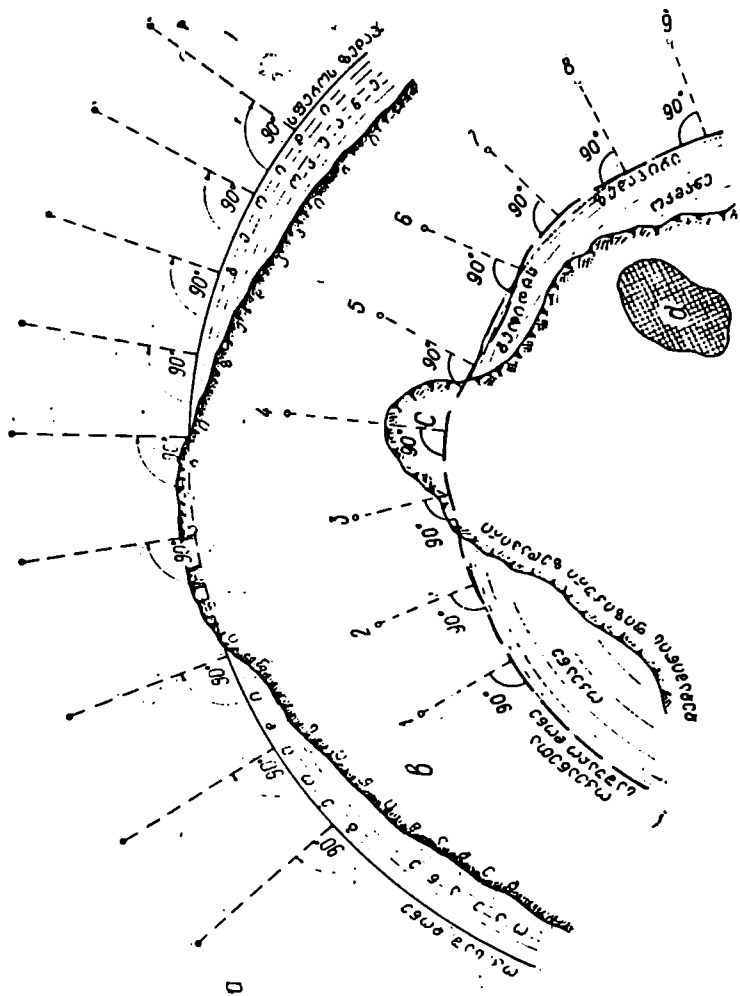
პირველი შესწორება არის (24) ტოლობის შესაბამისი Δg_T ტოპოგრაფიული შესწორება, მხოლოდ ზღვის არეებზე (22), (23) ფორმულებში უნდა შევიტანოთ $H=-P$.

მეორე შესწორება, ანუ იზოსტატიკური კომპენსაციის გამოთვლა, ხდება შუალედი შრის მიზიდულობის შესწორების (12) ტოლობების შესაბამისად, როგორც ბრტყელი, ისე სფერული ზედაპირებისათვის, რისთვისაც არსებობს ჰეიფორდის მიერ შედგენილი მარტივად გამოსაყენებელი ცხრილები.

მესამე შესწორება კი არის უკვე ცნობილი თავისუფალ ჰაერის სიმაღლის (9) ტოლობით გამოთვლილი შესწორება.

ამ ჰიპოთეზის მიხედვით გრადუსული გაზომვების დროს მხედველობაში იღებდნენ დედამიწის ფიზიკასთან დაკავშირებულ ფაქტორებს და ასტრონომიული კოორდინატების განსაზღვრის დროს შემოჰქონდათ ე. წ. იზოსტატიკური შესწორებები. იზოსტატიკური შესწორებების გამოყენებით მრავალ შემთხვევაში შემცირდა ლითოსფეროში მასების არათანაბრად განაწილების გამო ანომალური ვალენები, მაგრამ ყველგან ამ ჰიპოთეზის გამოყენება ვერ გვაძლევდა დამაკმაყოფილებელ შედეგს. ამჟამად, გრავიმეტრიული სამუშაოების დიდი განვითარების გამო იზოსტაზიის თეორიის მნიშვნელობა თანდათან მცირდება, რადგანაც იგი ისევ ჰიპოთეზად რჩება და ადგილს უთმობს ზუსტი გაზომვების თეორიას მიუხედავად იმისა, რომ იზოსტაზიის შედეგი მრავალ შემთხვევაში უშუალოდ განაზომებს შეესაბამება. მაშასადამე, იზოსტაზიის თეორიის გამოყენების პერიოდში (მეოცე საუკუნის პირველ მეოთხედში) არ გაგვაჩნდა მკაცრი, ჩამოყალიბებული მათემატიკური თეორია ასტრონომიულ-გეოდეზიური და გრავიმეტრიული განაზომების დამუშავებისათვის.

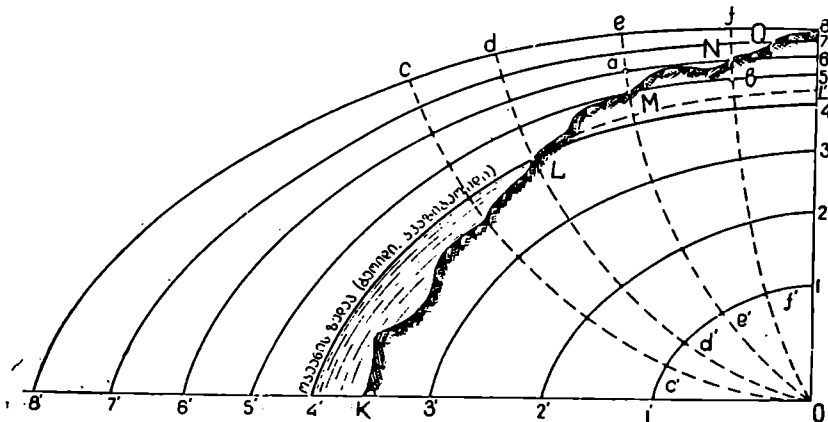
ამრიგად, დედამიწის რეგულარიზაციის მიზნით შემოხსენებული მეთოდებით შესწორებების განსაზღვრა, რაც დაკავშირებულია სტოქსის პრობლემის მიხედვით გეოიდის ზედაპირის დადგენის ცდებთან, ვერ იძლევა სასურველ ეფექტს, რადგანაც ყველგან მიღებულია, თითქოს, მიზიდულობის მასების D სიმკვრივე იყოს მუდმივი, რაც სინამდვილეს არ შეესაბამება. ამიტომ ყველა შესწორება მეტნაკლებად ძალზე მიახლოებითი ოდენობისაა.



ნახ. 1.6.3.6.

8 წყვეტილი ხაზები გადახრილია (მიზიდული) *c* გორისა და წილის *d* უფრო შკვრივი მასებისაკენ. სფეროიდის (ბრუნვის ელიფსოიდის) ზედაპირიდან გეოიდის ზედაპირის გადახრები მით მეტი იქნება, რაც უფრო დიდი იქნება მთები და წიაღში ჭარბი სიმკვრივეები. აგრეთვე ყოველ პორიზონტზე ადგილის რელიეფის სირთულისა, წილის მასების სხვადასხვა სიმკვრივისა, თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვისა და სხვა მიზეზებით გამოწვეული დედამიწის პოლარული შეკუმშულობის გამო შედეგების მიმართულეები დედამიწის ატმოსფეროდან გეოიდის ზედაპირის ჩათვლით მრუდებს წარ-

ოადგენს, რომლებიც საბოლოოდ დაახლოებით დედამიწის ცენტრში იკრიბებიან. მაშასადამე, ზემოხსენებული დონებრივი ზედაპირები როგორც ურთიერთ, ისე ძირითადი დონებრივი ზედაპირის მიმართ პარალელურები არ არის, ე. ი. ეს ზედაპირები ისეა ურთიერთგანლაგებული, რომ სხვადასხვა წერტილში ნორმალების მიმართულებით მათ შორის მანძილები ურთიერთტოლი არ არის. ამავე დროს ორ დონებრივ ზედაპირს შორის ნორმალის მიმართულებით მანძილები პოლუსებისაკენ მცირდება, რის გამო შვეულნი ხაზები, პირველი მიახლოებით, შეიძლება განვიხილოთ ეკვატორისაკენ გამობურცული ბრტყელი ხაზების სახით. (7) ნახაზზე შესაძლო უსასრულო რაოდენობის დონებრივი ზედაპირებიდან გატარებულია რვა, რომლებიც მდებარეობენ ერთი და იმავე მერიდიანის სიბრტყეში. დედამიწის ფიზიკური ზედაპირია $KLMQB$, ოკეანეთა ფსკერია KL (ფიზიკური ზედაპირის უხილავი ნაწილი), ხმელეთის ზედაპირია $LMMQB$ (ფიზიკური ზედაპირის ხილული ნაწილი), დედამიწის ხილული ზედაპირია $4'LMNQ8$, გეოიდის ზედაპირია $4'L4$. ფიზიკიდან ცნობილია, რომ დედამიწის გრავიტაციულ ველში ორ წერტილს შორის სიმძიმის ძალის მუშაობა დამოკიდებულია სვლის საწყის და ბოლო წერტილთა მდებარეობაზე და არა სვლის ფორმაზე. ასეთი თვისების ველს ეწოდება პოტენციალური. ყოველ პოტენციალურ ველში შეიძლება გატარდეს დონებრივი ზედაპირები, ანუ ისეთი ზედაპირები, რომლებზეც მატერიალური წერტილის მოძრაობის დროს ველის ძალა მუშაობას არ ასრულებს. ავიღოთ დედამიწის მერიდიანის მეოთხედის შესაბამის $08'80$ ჩრდილო-დასავლეთ სიბრ-



ნახ. 1. 6. 3. 7.

ტყეში M და N წერტილები, რომლებიც არიან ურთიერთ უაღრესად ახლო, მხოლოდ მდებარეობენ სხვადასხვა ($5'5$ და $6'6$) დონებრივ ზედაპირზე. გრავიტაციული ველის სიმძიმის ძალა ზემოაღნიშნულის საფუძველზე შეასრულებს მუშაობას მხოლოდ \overline{Ma} და \overline{bN} მონაკვეთებზე, რადგანაც \overline{aN} და \overline{Mb} მონაკვეთებზე, როგორც დონებრივ ზედაპირებზე, სიმძიმის ძალების მუშაობა იქნება ნული. ვიგულისხმობთ, რომ სიმძიმის g_1 ძალა \overline{Ma} არეშია და g_2 კი \overline{bN} არეში, აგრეთვე ვისურვოთ, რომ \overline{Ma} და \overline{bN} მიმართულებით ერთი გრამი

მასის მქონე მატერიალური წერტილი გადაადგილდეს ქვედა დონებრივი ზედაპირიდან ზემო დონებრივ ზედაპირზე და გავიხსენოთ, რომ მექანიკური მუშაობა ტოლია სიმძიმის ძალის აჩქარებისა და მანძილის ნამრავლისა, დაწვერთ:

$$g_1 \cdot \overline{Ma} = g_2 \cdot b\overline{N}. \quad (1.6.3.30)$$

1.4.2 პარაგრაფიდან ცნობილია, რომ $g_1 < g_2$, რადგანაც მეორე უფრო ახლოა პოლუსთან, ე. ი. $\overline{Ma} > b\overline{N}$, რითაც დადასტურდება ზემოთ თქმული იმის შესახებ, რომ დედამიწის გრავიტაციული ველის დონებრივი ზედაპირები პარალელურები არ არის და მათ შორის მანძილები მცირდება პოლუსებისაკენ. ამ დონებრივ ზედაპირთა მართობი cc' , dd' , ee' , ff' წყვეტილი ხაზები წარმოადგენს ორნაირი სიმრუდის მქონე ძალურ ხაზებს, რომელთა მხებები ნებისმიერი წერტილისა არის შეეული ხაზები ამ წერტილებში; აგრეთვე, ვინაიდან დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობა დროთა მსვლელობაში დედამიწის მოძრაობებისა და სხვადასხვა გეოლოგიური პროცესის შედეგად სისტემატურ ცვლილებას განიცდის, შეეულების (უფრო სწორად ძალური ხაზების) სიმრუდის ცვალებადობა მათემატიკური ფორმულებით ვერ გამოისახება. მაშასადამე, გეოიდის ელემენტების (პარამეტრების) ოდენობები უცნობია და ამიტომ მათზე დაგვემილებული განაზომების მათემატიკური დამუშავება არ შეიძლება. დადგენილია, რომ გეოიდის ზედაპირი, მართალია, მთლიანია, მაგრამ მკვეთრად იცვლება ოკეანეთა ნაპირებზე და ხმელეთის წიაღში იქ, სადაც ეს ზედაპირი სხვადასხვა მთის ქანებს გადაკვეთს (ნახ. 6^ა). აქვე დავსძენთ, რომ ლითონფეროს (გეოიდის ზედაპირსა და დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირს შორის სივრცე) ფარგლებში ძალური ხაზების მიმართულებით წიაღის მასების სიმკვრივეების საჭირო სიზუსტით დადგენის შეუძლებლობის გამო იმედიც არ არის გეოიდის ელემენტების ზუსტად განსაზღვრისა. მაშასადამე, გეოიდის მთლიანობა ერთული სახის დადგენა, რასაც ზოგჯერ გეოდეზიური თვალსაზრისით არამართებულად დედამიწის ნამდვილ ფიგურას უწოდებდნენ, შეუძლებელია. იგი მხოლოდ წარმოდგენითი მიახლოებაა დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომთა რედუცირებისა და მათემატიკური დამუშავებისათვის ვარჯისი დედამიწის საერთო სახოსადმი.

1. 6. 4. ასტრონომიული მეთოდებით დედამიწის საერთო სახის დადგენა

დედამიწის საერთო სახის (ფიგურის) განსაზღვრის შესახებ გარდა წინა პარაგრაფებში განხილული გეომეტრიული (ასტრონომულ-გეოდეზიური) და ფიზიკური (გრავიმეტრიული) მეთოდებისა, არსებობს წმინდა ასტრონომიული მეთოდი, რომელიც ეყრდნობა იმ ფაქტს, რომ სფეროიდულობის შესაბამისად ნაგულისხმები პლანეტის მასების განაწილებიდან მისი ფაქტობრივი მასების გადახრები ამ პლანეტის ირგვლივ თანამგზავრების მოძრაობის დროს იწვევს შემფოთებებს თეორიულად მათთვის ნაანგარიშები ნორმალური ორბიტიდან. თანამგზავრის დანაკვირვები მოძრაობისა და თეორიულს შორის ურთიერთშედარებით ღვინდება პლანეტის ა შეკუმშულობა და სხვა მცირედი გადახრები გამოთვლებით მიღებული ბრუნვის ელიფსოიდიდან.

აქამდე დედამიწის ერთადერთ ბუნებრივ თანამგზავრზე—მთვარეზე დაკვირვებები მისი სისირის გამო ვერ იძლეოდა საიმედო შედეგებს. ამიტომ

ასტრონომიული მეთოდი აღრე ითვლებოდა არასაიმედოდ. იმის შემდეგ, რაც კაცობრიობამ განახორციელა დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების გაშვება კოსმოსში (1957 წლის 4 ოქტომბერი), ასტრონომიული მეთოდი იძლევა საიმედო მონაცემებს როგორც აშეკუმშულობის, ისე დედამიწის გრავიტაციული ველის, ანუ სფეროიდულობიდან გაღბრების შესახებ, რადგანაც დედამიწასთან ხელოვნური თანამგზავრების სიახლოვის გამო თეორიული ორბიტიდან შეშუთებები ზუსტად დგინდება.

A. დედამიწიდან ღისიპასიის სიჩქარე

იმისათვის, რომ დედამიწის ზედაპირს სამუდამოდ დაშორდეს რაიმე სხეული, საჭიროა მას ვუბიძგოთ ისეთი ძალით, რომელიც უზრუნველყოფს მის საკმარისად დიდ საწყის კრიტიკულ სიჩქარეს. ასეთ საწყის კრიტიკულ სიჩქარეს უწოდებენ დისიპაციის სიჩქარეს. უმრავლეს შემთხვევაში დისიპაციის სიჩქარედ პრაქტიკულად იღებენ ცოტა ნაკლებს იმ სიჩქარეზე, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ ქვა ან ატომი გატყორცნილი იქნეს მთვარეზე, ანუ 384000 კმ მანძილზე, რომელიც უდრის დედამიწის 60 რადიუსს. ეს საწყისი სიჩქარე ტოლი უნდა იყოს იმ სიჩქარისა, რომელიც ექნება მთვარიდან (და არა მისი მიდამოებიდან) თავისუფლად ვარდნილ სხეულს დედამიწაზე დაცემის მომენტში.

დაცემის სწორხაზოვან გზად შეიძლება მიღებულ იქნეს იმ ელიფსური ორბიტის ნახევარი, რომლის ექსცენტრისიტეტი ტოლია ერთის, ხოლო დიდი ნახევარღერძია მთვარის ორბიტის დიდი ღერძის ნახევარი. ამ ვარდნისათვის საჭირო დროის ინტერვალი შეიძლება გამოთვლილ იქნეს კეპლერის მესამე კანონის გამოყენებით ფორმულის შესაბამისად — გარემოქცევის პერიოდების კვადრატების ფარდობა ტოლია ნახევარღერძების კუბების ფარდობისა (1.4.4.1 ფორმ.). მაშასადამე,

$$\frac{T_{სხეულის}^2}{T_{მთვარის}^2} = \frac{a_{სხეულის}^3}{a_{მთვარის}^3} \quad (a)$$

ზემოთქმულის საფუძველზე, თუ მთვარის ორბიტის დიდ ნახევარღერძს მივიღებთ ერთის ტოლად, ე. ი. $a_{მთ} = 1$, მაშინ $a_{სხ} = \frac{1}{2}$ (დიდი ნახევარღერძები გამოსახული იქნება მთვარემდე მანძილებით), აგრეთვე ვიცით, რომ მთვარის გარემოქცევის პერიოდი $T_{მთ} \approx 27$ დღე-ღამეს, ე. ი. დავწერთ:

$$\frac{T_{სხ}^2}{27^2} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^3}{1^3} = \frac{1}{8},$$

ანუ

$$\frac{T_{სხ}}{27} = \sqrt{\frac{1}{8}} = \frac{1}{2,8}$$

მაშასადამე, სხეულის გარემოქცევას პერიოდი დედამიწის მიმართ იქნება:

$$T_{სხ} = \frac{27}{2,8} \approx 10 \text{ დღე-ღამე.}$$

ზემოთქმულის საფუძველზე ვარდნის პერიოდი იქნება ამ ოდენობის ნახევარი, ანუ 5 დღე-ღამე. ცხადია, ეს დრო საჭიროა ღეღამიწის ცენტრში სხეულის დაცემისათვის და არა მის ზედაპირზე, რომელიც მოხდება უფრო ადრე. მაგრამ დროის ის ნაწილი, რომელიც უნდა გამოაკლდეს ხუთ დღეს, რათა ვიცოდეთ ღეღამიწის ზედაპირზე დაცემისათვის დრო, მეტად მცირეა და მიახლოებით გამოთვლებში მას მხედველობაში არ იღებენ. დასაწყისში, ანუ როცა ღეღამიწიდან სხეული იმყოფება 384000 კმ მანძილზე, მისი აჩქარება იგივე ოდენობის იქნება, რაც აქვს მთვარეს ღეღამიწის მიმართ და რომელიც ტოლია 0,273 სმ/სეკ² (1.4.4.7 და 1.4.4.14 ფორმულა), ხოლო როცა სხეული იქნება ღეღამიწის ზედაპირის ახლოს, მაშინ მისი აჩქარება იქნება 981 სმ/სეკ² (1.4.4.16 ფორმ.). აჩქარებათა ამ ორ ზღვარს შორის უწყვეტლივ იზრდება აჩქარება ღეღამიწიდან მანძილის კვადრატის პროპორციულად; ეს დასკვნა შეიძლება გამოვიტანოთ კეპლერის პირველი კანონის მიხედვით დაწერილი (1.4.4.17) ფორმულიდან:

$$\frac{g}{r_{\text{მთ}}} = \frac{\text{ღეღამიწის ზედაპირზე აჩქარება}}{\text{მთვარის აჩქარება}} = \frac{981}{0,273} = \frac{r_{\text{მთ}}^2}{R_{\text{ღ}}^2} = \frac{60^2 \cdot R_{\text{ღ}}^2}{R_{\text{ღ}}^2} = 60^2, \quad (b)$$

სადაც $R_{\text{ღ}} = 6400$ კმ არის ღეღამიწის რადიუსი;

$r_{\text{მთ}} = 384000$ კმ $= 60 R_{\text{ღ}}$ — მთვარიდან ღეღამიწამდე მანძილი.

ღეღამიწაზე სხეულის დაცემის მომენტში სიჩქარის გამოთვლის დროს საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ მისი აჩქარების შეცვლა. დაახლოებით ეს შეიძლება ასე გაკეთდეს: ვთქვათ, პირველი დღე-ღამის განმავლობაში სხეულის აჩქარების ოდენობაა თანაბარი და 0,273 სმ/სეკ² ტოლია. სხეული, რომელიც საწყისში იმყოფებოდა მთვარეზე უძრავ მდგომარეობაში და მოწყდა მთვარეს, პირველი დღე-ღამის ბოლოს იღებს 0,273 სმ/სეკ² X დღე-ღამეში სეკუნდების რაოდენობა $= 0,273 \cdot 86400 = 23587$ სმ/სეკ, ანუ $\approx 0,236$ კმ/სეკ სიჩქარეს. მასი საშუალო სიჩქარე კი იქნება ამ ოდენობის ნახევარი, ანუ 0,118 კმ/სეკ. ასეთი სიჩქარით სხეული პირველ დღე-ღამეში გაივლის $86400 \cdot 0,118 = 10195$ კმ, რაც დაახლოებით მთელი მანძილის 1/40 შეადგენს და სხეული ღეღამიწიდან დაშორებული იქნება $58,5 \cdot R_{\text{ღ}} \approx 59 R_{\text{ღ}}$ მანძილით.

მეორე დღე-ღამის განმავლობაში სხეულის აჩქარება იქნება ცოტა უფრო მეტი, ვიდრე 0,27 სმ/სეკ², რადგანაც სხეული შედარებით ახლო იქნება ღეღამიწასთან. ეს აჩქარება (b) ფორმულის მიხედვით იქნება:

$$\frac{g}{r_{\text{ახ}}} = \frac{981}{r_{\text{ახ}}} = \frac{(59 \cdot R_{\text{ღ}})^2}{R_{\text{ღ}}^2},$$

ანუ

$$r_{\text{ახ}} = \frac{981}{(59)^2} \approx 0,282 \text{ სმ/სეკ}^2,$$

ხოლო მეორე დღე-ღამის საწყისში სხეულის სიჩქარე, როგორც დავადგინეთ, არის 0,236 კმ/სეკ. მეორე დღე-ღამის განმავლობაში სხეულის სიჩქარე გაიზრდება და იქნება $0,282 \cdot 86400 = 0,244$ კმ/სეკ, ამიტომ მეორე დღე-ღამის ბოლოს სხეულის სიჩქარე იქნება $0,236 + 0,244 = 0,480$ კმ/სეკ. მეორე დღე-ღამის განმავლობაში სხეულის საშუალო სიჩქარე იქნება $(0,236 + 0,480) \cdot 0,5 =$

0,358 კმ/სეკ. ამიტომ იგი მეორე დღე-ღამეში გაივლის 0,358·86400≈31000 კმ ანუ საწყისი წერტილიდან (მთვარიდან)≈10000+31000=41000 კმ, რაც, დაახლოებით, მთელი მანძილის 0,1 შეადგენს, ხოლო სხეული დედამიწიდან დაშორებული იქნება 384000—41000=343000 კმ, ან დაახლოებით 54° R_გ მანძილით.

მესამე დღე-ღამის განმავლობაში სხეულის აჩქარება

$$r_{სხ} = \frac{981}{(54)^2} \approx 0,336 \text{ სმ/სეკ}^2,$$

ხოლო მესამე დღე-ღამის საწყისში, როგორც ვიცით, სიჩქარე მეორე დღე-ღამის ბოლოს სიჩქარის ტოლი, ანუ 0,480 კმ/სეკ. მესამე დღე-ღამის განმავლობაში სხეულის სიჩქარე გაიზრდება და იქნება 0,336·86400=0,290 კმ/სეკ, ამიტომ მესამე დღე-ღამის ბოლოს სიჩქარე იქნება 0,480+0,290=0,770 კმ/სეკ, ხოლო მესამე დღე-ღამის განმავლობაში საშუალო სიჩქარე იქნება (0,480+0,770)·0,5=0,625 კმ/სეკ, ე. ი. მესამე დღე-ღამის განმავლობაში სხეული გაივლის 0,625·86400≈54000 კმ, ანუ საწყისი წერტილიდან სხეული გაივლის 10000+31000+54000=95000 კმ, რაც დაახლოებით მთელი მანძილის 0,25 შეადგენს, ხოლო სხეული დედამიწიდან დაშორებული იქნება 289000 კმ, ანუ 289000:6400=45 R_გ.

ასეთი თანამიმდევრობითი ანგარიშის საფუძველზე შედგენილი (1) ცხრილი; რადგანაც სხეულის დედამიწასთან მიახლოების გამო დღე-ღამის ინტერვალში მის მიერ გავლილი მანძილი გამოდის თანდათან ძლიერ დიდი, დროის ინტერვალში აღებულია მცირე ისე, რომ ყოველ ინტერვალში აჩქარებები ჩაითვალოს თანაბრად (ეს ინტერვალებია 1; 0,1; 0,01; 0,001 დღე-ღამე, ანუ 86400^o; 8640^o; 864^o; 86^o,4). ბოლოს ვნახავთ, რომ დედამიწაზე დაცემის მომენტში სხეულის სიჩქარე იქნება 11,1 კმ/სეკ (ცხრილი 1, სვეტი 5), რომელიც ძლიერ ახლოა დედამიწისათვის დისპაციის სიჩქარესთან.

დედამიწაზე სხეულის დაცემის დროს სიჩქარე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით:

$$v = \sqrt{8 \cdot 10^8 \left(\frac{1}{a_0} - \frac{1}{a} \right)}, \quad (c)$$

სადაც a არის საწყისი მანძილი, კილომეტრებში, რომელიც განხილად შემთხვევაში დედამიწიდან მთვარემდე მანძილია (384000 კმ),

a_0 — სხეულის დაშორება დედამიწის ცენტრიდან, კილომეტრებში.

მაგალითად, დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე, ანუ ცენტრიდან 6400 კმ, (c) ტოლობით მივიღებთ:

$$v = \sqrt{8 \cdot 10^8 \left(\frac{1}{6400} - \frac{1}{384000} \right)} \approx 11,1 \text{ კმ/სეკ},$$

ხოლო, 384000—343905 ((1) ცხრილის მეშვიდე სვეტში)=40095 კმ-ზე სიჩქარე იქნება

$$v = \sqrt{8 \cdot 10^8 \left(\frac{1}{40095} - \frac{1}{384000} \right)} \approx 4,2 \text{ კმ/სეკ}.$$

მიღებული შედეგები სრულიად შეესაბამება (1) ცხრილის მონაცემებს.

ინტერკალუბი (დღე-ღამეები)	ინტერკალის საწინააღმდეგობა, კმ/სეკ	სიჩქარის გაზრდა ინტერკალში, კმ/სეკ	სიჩქარე ინტერკალში ბოლოში, კმ/სეკ	საშუალო სიჩქარე ინტერკალში, კმ/სეკ	გველი მანძილი ინტერკალში, კმ	მიუიდან დედამიწისაკენ გადმოიწერილი სრული მანძილი, კმ	სხეულის დაშორება დედამიწისაკენ, მან R რადიუსი
1 (86400'')	0,273	0,236	0,296	0,118	10070	10000	59
2	0,282	0,244	0,480	0,358	31000	41000	54
3	0,326	0,290	0,770	0,625	54000	95000	45
3,1 (8640'')	0,484	0,042	0,812	0,791	6834	101834	44,1
3,9	0,768	0,063	1,247	1,213	10480	172150	33,1
4,0	0,891	0,077	1,324	1,286	11111	183261	31,36
4,01 (864'')	0,998	0,0086	1,3326	1,3283	1148	184409	31,19
4,02	1,0084	0,0087	1,3413	1,3369	1165	185564	31,00
4,10	1,1111	0,0096	1,4148	1,4100	1218	195085	29,52
4,11	1,1266	0,0097	1,4245	1,4197	1227	196312	29,33
4,20	1,2749	0,0110	1,5183	1,5128	1307	207746	27,53
4,21	1,2943	0,0113	1,5296	1,5242	1317	209053	27,33
4,30	1,4910	0,0129	1,6386	1,6222	1410	221261	25,43
4,40	1,7733	0,0153	1,7800	1,7720	1531	235012	23,28
4,50	2,2782	0,0197	1,9720	1,9622	1696	252804	20,47
4,60	3,0371	0,0263	2,2022	2,1890	1891	269788	17,85
4,70	4,3600	0,0377	2,5036	2,4898	2152	290090	14,69
4,80	7,5461	0,0652	3,0173	2,9947	2579	319859	10,94
4,900	21,7035	0,1821	4,1494	4,0584	3507	343905	6,264
4,950 (86''), 4)	109,2428	0,0944	6,3121	6,2649	541	367644	2,912
4,951	150,2067	0,1273	6,4399	6,3760	551	368195	2,826
4,960	226,5568	0,1958	7,6784	7,5801	655	373598	1,872
4,969	732,0895	0,6325	10,6458	10,3295	692	378000	1
4,969 ≈ 5,0	931,0000	0,8476	11,49340	11,0696 ≈ 11,1	—	—	—

ანალოგიური გამოთვლები შეიძლება ვაწარმოოთ 384000 კილომეტრი მანძილიდან მთვარეზე სხეულის დაცემის მომენტში სიჩქარის განსაზღვრისათვის. ამ გამოთვლებით მთვარისათვის დისპაციის სიჩქარე გამოვა 2,4 კმ/სეკ.

B. ხელოვნური თანამგზავრები

მსოფლიოში პირველად საბჭოთა კავშირში სარაკეტო პოლიგონიდან 1957 წლის 4 ოქტომბერს გაშვებულ იქნა დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი. გაშვების მომენტში თანამგზავრი დედამიწისთან ერთად ბრუნავდა. გაშვების მომენტში მისთვის რომ მიეცათ ვერტიკალური მიმართულება, ის იმოძრაებდა არა ჩვენი თავის გასწვრივობაში, არამედ ცოტა უფრო დასავლეთით. უკანვე დედამიწაზე დაშვებისას ის იმოძრაებდა იმდენივე ოდენობით აღმოსავლეთისაკენ გადახრით და მიწაზე დაეცემოდა იმავე (გაშვების) წერტილში. კურვი, რომ რაიმე მოცემულ სიმაღლეზე აეაგლოთ, ამისათვის საჭირო

საწყისი სიჩქარე შეიძლება გამოვითვალოთ წინა მუხლში მოყვანილი თანამიმდევრობის შებრუნებულად. თუ დედამიწის რადიუსთან შედარებით ეს სიმაღლე მცირეა, მაშინ შეიძლება დაეუფვათ, რომ სიმძიმის ძალის აჩქარება არის მუდმივი და ტოლია 981 სმ/სეკ^2 (როგორც ზემოთ ენახეთ, სინამდვილეში იგი იცვლება, როგორც $1/R^2$). თუ სხეული ვარდება S სიმაღლიდან, თავისუფალი ვარდნით პირველ სეკუნდში ის გაივლის $\frac{1}{2}981 \text{ სმ}$, მისი სიჩქარე მეორე სეკუნდის დასაწყისში იქნება 981 სმ/სეკ , ხოლო ბოლოში კი $2 \cdot 981 = 1962 \text{ სმ/სეკ}$. ამიტომ მეორე სეკუნდში საშუალო სიჩქარე იქნება $\frac{1}{2} \cdot (981 + 1962) = \frac{3}{2}981 \text{ სმ/სეკ}$. ამ მეორე სეკუნდის განმავლობაში სხეული გაივლის $\frac{3}{2} \cdot 981 \text{ სმ}$, ხოლო ორივე წუთში გავლილი მანძილი იქნება $\frac{1}{2}981 + \frac{3}{2}981 = \frac{981}{2}(1 + 3) = \frac{981}{2} \cdot 2^2$. სამი სეკუნდის შემდეგ ვარდნის მანძილი იქნება $\frac{981}{2} \cdot 3^2$, საერთოდ კი

$$S = \frac{g}{2} \cdot t^2, \quad (d)$$

სადაც $g = 981 \text{ სმ/სეკ}^2$ არის აჩქარება,
 t — ვარდნის დრო.

როგორც ცნობილია, თავისუფლად ვარდნილი სხეულის სიჩქარე არის S მანძილის წარმოებული დროთი, ანუ

$$v = \frac{dS}{dt} = \frac{d \frac{g}{2} t^2}{dt} = g t. \quad (e)$$

მიღებული სიჩქარე არის სიჩქარე დედამიწაზე სხეულის დაცემის მომენტში, ან შებრუნებით საწყისი სიჩქარე.

დაეუფვათ, რომ კერძი გვინდა გავტყორცნოთ $500 \text{ კმ} = 5 \cdot 10^7 \text{ სმ}$ სიმაღლეზე. შევასრულოთ ზემოთ აღნიშნული მოქმედება შებრუნებული თანამიმდევრობით; პირველ რიგში გამოვითვალოთ დრო, რომელიც საჭიროა დასახელებულ სიმაღლეზე კერძის ასროლისათვის, რისთვისაც გამოვიყენოთ (d) ტოლობა, მივიღებთ:

$$5 \cdot 10^7 = \frac{981}{2} t^2,$$

ანუ

$$t^2 = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^7}{981} \approx 10^8 \text{ სეკ}^2,$$

ე. ი.

$$t = \sqrt{10^8} \approx 300 \text{ სეკ.}$$

ჩავსვათ დროის მიღებული მნიშვნელობა (e) საწყისი სიჩქარის გამოსახულებაში:

$$v = 981 \cdot 300 \approx 3 \cdot 10^5 \text{ სმ/სეკ} = 3 \text{ კმ/სეკ.}$$

სიჩქარის მიღებული ოდენობა შევადაროთ წინა მუხლში (b) ფორმულით გამოთვლილ სიჩქარეს, სადაც მხედველობაში მიღებული იყო სიმაღლის მიხედვით აჩქარების ცვალებადობა, მივიღებთ:

$$v = \sqrt{8 \cdot 10^6 \left(\frac{1}{6400} - \frac{1}{6400 + 500} \right)} \approx 3,0 \text{ კმ/სეკ.}$$

იმისათვის, რომ ეს სხეული გავიყვანოთ წრიულ ორბიტაზე, საჭიროა მას მივიანიჭოთ გარკვეული მხებიითი სიჩქარე. ამ სიჩქარის ოდენობა შეიძლება გამოვთვალოთ კეპლერის მესამე კანონის მიხედვით (1.4.4.i ფორ.). სადაც შედარებისათვის გამოვიყენებთ მთვარეს:

$$\left(\frac{M_{დედ} + M_{მთ}}{M_{დედ} + M_{ხელ.თან}} \right) \cdot \frac{T_{მთ}^3}{T_{ხელ.თან}^3} = \frac{a_{მთ}^3}{a_{ხელ.თან}^3}$$

აქ თუ უგულებელვყოფთ მთვარისა $M_{მთ}$ და ხელოვნური თანამგზავრის $M_{ხელ.თან}$ მასებს, მივიღებთ:

$$\frac{\left(27 \frac{1}{3} \text{ დღე-ღამე} \right)^3}{T_{ხელ.თან}^3} = \frac{(384000)^3}{(6400 + 500)^3}$$

ამ ფორმულიდან ხელოვნური თანამგზავრის გარემოქცევის პერიოდი

$$T_{ხელ.თან} = 1,58 \text{ სთ.}$$

ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტის წრეხაზის სიგრძე იქნება $2\pi \cdot 6900$ კმ, ამიტომ წრიულ ორბიტაზე მისი მოძრაობის სიჩქარე უნდა იყოს $2\pi \cdot 6900$ კმ : $(1,58 \cdot 3600)^3 \approx 7,6$ კმ/სეკ.

მხებიითი სიჩქარე რომ 7,6 კმ/სეკ-ზე ნაკლები იქნეს, თანამგზავრის ორბიტა იქნება ელიფსური, რომელსაც აპოგეუმში ექნება თანამგზავრის გაშვების პუნქტზე, ხოლო პერიგეუმში გაშვების პუნქტიდან დაშორებული იქნება 180° -ზე. თუ v საწყისი სიჩქარე ოდნავ ნაკლები იქნა წრიულ სიჩქარეზე, ხელოვნური თანამგზავრი დაეცემა დედამიწაზე. მაგრამ, თუ v სიჩქარემ ორბიტაზე გავლის მომენტში გადააჭარბა წრიულ სიჩქარეს, მაშინ თანამგზავრის გაშვების წერტილში იქნება პერიგეუმში და გაშვების წერტილიდან 180° ნანძილზე ხელოვნური თანამგზავრი მიაღწევს უფრო დიდ სიმაღლეს დედამიწიდან, ვიდრე სტარტზე იყო. შემფოთებებს რომ არ ჰქონდეს ადგილი, თანამგზავრის ორბიტა დარჩებოდა უცვლელი, სივრცეში მისი სიბრტყე არ განიცდიდა არავითარ ცვალებადობას, ხოლო დედამიწა იმოძრაებდა ამ თანამგზავრის ორბიტის შიგ.

ხელოვნური თანამგზავრის მთავარი ე. წ. შემფოთებების მიზეზებია:

1. დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენებში ხაზუნის, რომელიც თანამგზავრის აიძულებს დაეშვას დედამიწაზე სპირალური გზით, სადაც გაიზრდება v და მცირდება T მანამ თანამგზავრი დედამიწაზე არ დაეცემა და სხვა;

2. დედამიწის ფორმის არასფერულობა იწვევს კვანძების ხაზების რეგრესიას და თანამგზავრის ორბიტის ზოგიერთ მცირეოდენ ცვალებადობას.

იმისათვის, რომ მთვარისმაგვარი ხელოვნური თანამგზავრი გავიყვანოთ ორბიტზე, წინა მუხლის შესაბამისად საჭიროა ზევით ვერტიკალური საწყისი ბიძგი იყოს $v = 11$ კმ/სეკ, ხოლო მხებიითი მიმართულების ბიძგი კი იყოს

პირველ შემთხვევასთან ნაკლები, სახელდობრ მთავრის ორბიტულ სიჩქარის ტოლი, ანუ 1 კმ/სეკ.

ნებისმიერი თანამგზავრის ენერგია, რომელიც წარმოადგენს საწვავის საზომს, ტოლია $\frac{1}{2}mv^2$. ეს ოდენობა ყველა თანამგზავრისათვის დამოკიდებუ-

ლია მხოლოდ ორი—ვერტიკალური და თარაზული საწყისი სიჩქარეზე. ზემოთ განხილულ პირველ შემთხვევაში, როცა საჭირო იყო 500 კგ სხეულის გატყორცნა და მერე წრიულ ორბიტაზე გაყვანა, ჩვენ საჭიროდ მივიჩნიეთ სასტარტო სიჩქარე 3 კმ/სეკ, ხოლო სხეული ორბიტაზე რომ გადაგვეყვანა, მზებოთი სიჩქარე გამოვითვალეთ და მივიღეთ დაახლოებით 8 კმ/სეკ. მეორე შემთხვევაში კი მთავრისმაგვარი ნებისმიერი თანამგზავრისათვის ატრენის დროს სიჩქარე გამოვიდა 11 კმ/სეკ, ხოლო თარაზული სიჩქარე 1 კმ/სეკ. ცხადია, ამ გამოთვლების შესაბამისად საჭირო ენერგია, მაშასადამე, საწვავი მისაღები (ნორმალური) იქნება.

საერთოდ, იმისათვის რომ ხელოვნური თანამგზავრი დედამიწიდან გავუშვათ დიდ მანძილზე და გავიყვანოთ დამოუკიდებლად მზის მახლობელ ორბიტაზე, საჭიროა მას მივანიჭოთ დედამიწისათვის კრიტიკული, ანუ ე. წ. მეორე კრიტიკული სიჩქარე 11,2 კმ/სეკ. თანამგზავრმა რომ მიაღწიოს რომელიმე შინაგან (მთვარემდე) პლანეტას, ამ სიჩქარეზე მეტი საჭირო არ არის, ხოლო თანამგზავრმა რომ მიაღწიოს რომელიმე გარე (მთვარის იქით) პლანეტას, მან უნდა გადალახოს დედამიწის გრავიტაციული მიზიდულობა. დისიპაციის სიჩქარე მზის ზედაპირიდან, დაახლოებით, არის 600 კმ/სეკ, ხოლო მზემდე 1 ასტრ. ერთეულ მანძილზე ($1,496 \cdot 10^8$ კმ) დისიპაციის სიჩქარეა 42 კმ/სეკ. ეს კი პარაბოლური სიჩქარეა, რომელიც დადგენილია კეპლერის კანონების შესაბამისად (1.1.4 თავი). მაშასადამე, იმისათვის, რომ ხელოვნურმა თანამგზავრმა მიაღწიოს სხვა პლანეტამდე, საჭიროა 11,2-დან 42 კმ/სეკ-მდე სიჩქარის განვითარება, ხოლო რომელიმე ვარსკვლავზე გატრენისათვის საკმარისია 1 ასტრ. ერთეულის შესაბამისი პარაბოლური სიჩქარე, მაგრამ, უახლოეს ვარსკვლავამდე მანძილის დაქლევას მოუნდებოდა ათეული ათასი წელი. პრინციპში ზემოხსენებული დრო შეიძლება შემცირდეს საწყისი სიჩქარის გაზრდით.

C. შუაშროთიხელი ორბიტის ელემენტების გამოთვლა.

ორი სხეულის ამოცანა

a. პლანეტის ორბიტის ელემენტები

როგორც ცნობილია, კეპლერის პირველი კანონის (1.4.4 პარაგ.) მიხედვით პლანეტების ორბიტები წარმოადგენს ელიფსებს, რომელთა ერთ-ერთ ფოკუსში S მზე იმყოფება (ნახ. 1). მაშასადამე, ორბიტის, როგორც ელიფსის, განტოლება იქნება:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos \vartheta} = \frac{p}{1+e \cos \vartheta}, \quad (1.6.4.1)$$

სადაც r არის ელიფსის რადიუს-ვექტორი,

a — „ დიდი ნახევარღერძი, b კი მცირე ნახევარღერძი,

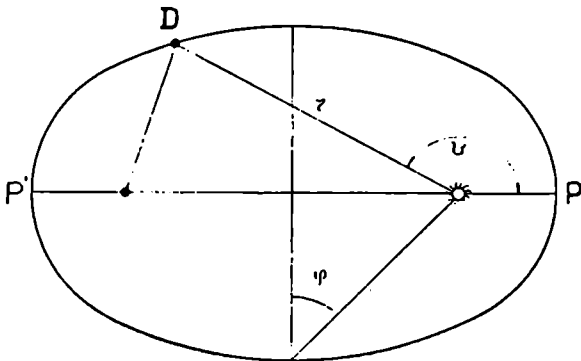
$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = \sin \varphi \text{ — ელიფსის ექსცენტრისიტეტი,}$$

φ — ექსცენტრისიტეტის კუთხე,

v — PSD კუთხე, რომელსაც პეშმარიტ ან ომალიას უწოდებენ,

$p = a(1 - e^2)$ — კონუსური კვეთილობის პარამეტრი.

S მზესთან D პლანეტის ორბიტის უახლოესი წერტილია P პერიგეუმში, ხოლო უშორესი P' წერტილია აპოგეუმში. ორივე P და P' წერ-



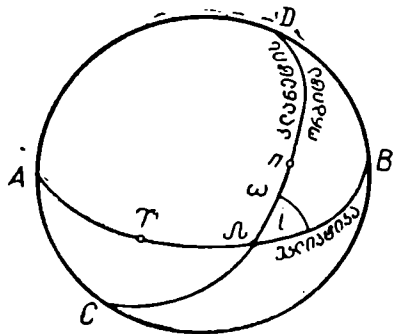
ნახ. 1.6.4.1.

ტილებს აფსიდები ეწოდება, ხოლო PP' ხაზს — აფსიდების ხაზი.

ციურ მექანიკაში ათვლების ძირითად სიბრტყედ მიღებულია დედამიწის ორბიტის სიბრტყე (ეკლიპტიკის სიბრტყე). იმ ხაზს, რომელსაც მივიღებთ ცის სფეროზე მოცემული პლანეტის ორბიტის სიბრტყისა და ეკლიპტიკის სიბრტყის გადაკვეთით, ეწოდება კვანძების ხაზი. იგი გადის S მზეზე. იმ კვანძს, რომელიც მიიღება სამხრეთ ნახევარსფეროდან ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში პლანეტის გადასვლის დროს, ეწოდება აღმავალი კვანძი და აღინიშნება \mathcal{A} სიმბოლოთი (ნახ. 2), ხოლო კვანძი, მიღებული მნათობის გადასვლით ჩრდილოეთ ნახევარსფეროდან სამხრეთ ნახევარსფეროში, დაღმავალი კვანძია და აღინიშნება \mathcal{P} სიმბოლოთი. π არის P პერიგეუმის გეგმილი ცის სფეროზე და Υ — გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილი, რომელიც წარმოადგენს ნებისმიერი წერტილის გრძედის საწყისს; i არის პლანეტის ორბიტის სიბრტყის მიერ შექმნილი კუთხე ეკლიპტიკის სიბრტყესთან და ეწოდება ორბიტის დახრა (ნახ. 2). აღმავალი კვანძის ეკლიპტიკური გრძედი ითვლება Υ გაზაფხულის დღელამტოლობის წერტილიდან საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით ეკლიპტიკაზე და მისი კუთხური ოდენობა აღინიშნება იგივე \mathcal{A} სიმბოლოთი. ასევე, P პერიგეუმის გრძედი იქნება π , ანუ კუთხური მანძილი Υ წერტილიდან π -მდე.

აღმავალი კვანძის \mathcal{A} ეკლიპტიკური გრძედი და i დახრა ერთმნიშვნელოვნად საზღვრავენ პლანეტის ორბიტის სიბრტყის მდებარეობას სივრცეში. P პერიგეუმის π ეკლიპტიკური გრძედი საზღვრავს პლანეტის ორბიტის (ელიფსის) მდებარეობას მისივე (ორბიტის) სიბრტყეზე. π პერიგეუმის

გეგმილის კუთხური მანძილი λ აღმავალი კვანძიდან აღინიშნება α სიმბოლოთი და ეწოდება პერიგეუმის კუთხური მანძილი. მაშასადამე, π იქნება ჯამი λ აღმავალი კვანძის ეკლიპტიკური გრძედისა (ათელილი-ეკლიპტიკის სიბრტყეზე) და α კუთხური მანძილისა, რომელიც არის ათელილი პლანეტის ორბიტის სიბრტყეზე პლანეტის მოძრაობის მიმართულებით λ აღმავალი კვანძიდან π -მდე. პლანეტის ორბიტის (ელიფსის) ოდენობა და ფორმა ისაზღვრება a და e -თი. მეექვსე ელემენტი საზღვრავს პლანეტის მდებარეობას ორბიტაზე მოცემულ მომენტში, რასაც ეწოდებენ პლანეტის გრძედს ეპოქაში. ხშირად მეექვსე ელემენტად, აგრეთვე, იღებენ პლანეტის გავლის მომენტს P პერიგეუმზე და აღნიშნავენ $T\pi$ სიმბოლოთი.



როგორც ვხედავთ, პლანეტის მოძრაობის განმსაზღვრელი ელემენტებია:

ნახ. 1.6.4.2.

1. აღმავალი კვანძის გრძედი (λ);
2. ორბიტის დახრა ანუ კუთხე, შედგენილი პლანეტის ორბიტის მიერ ეკლიპტიკის სიბრტყესთან (i);
3. P პერიგეუმის გრძედი ($\pi = \lambda + \alpha$) ანუ ტეხილი $\gamma \lambda \pi$;
4. პლანეტის საშუალო მანძილი მზიდან, ანუ ელიფსის დიდი ნახევარღერძი (a);
5. პლანეტის ორბიტის (ელიფსის) ექსცენტრისიტეტი (e);
6. P პერიგეუმზე პლანეტის გავლის მომენტი ($T\pi$).

მოკლედ, ამ ელემენტების განსაზღვრას ეწოდებენ პლანეტის ორბიტის გამოთვლას. როცა ცნობილია პლანეტის სამი მდებარეობა, შეიძლება გამოვითვალოთ ეს ელემენტები, ხოლო როგორც ვთქვით, როცა ცნობილია ეს ელემენტები, შეიძლება გამოვითვალოთ პლანეტის ეფემერიდა, ანუ მისი მდებარეობა ნებისმიერი მომენტისათვის.

ბ. ბოდე-ტიციუსის წესი

მზიდან პლანეტების დაახლოებით L მანძილის დადგენისათვის იყენებენ 1766 წელს ტიციუსის მიერ აღმოჩენილ და 1772 წელს ბოდეს მიერ განხილულ და დადასტურებულ წესს. ამ წესის გამომსახველი ტაბოლაა:

$$L = 0,4 \text{ ასტრ. ერთ.} + (0,3 \cdot 2^n) \text{ ასტრ. ერთ.}, \quad (1.6.4.2)$$

სადაც $n = -\infty, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (პლანეტების შესაბამისი ციფრებია), ასტრ. ერთ. $\approx 1,5 \cdot 10^8$ კმ — დედამიწიდან მზემდე საშუალო მანძილი. (2) ფორმულით გამოთვლილი შესაბამისი დაახლოებათი მანძილები მზემდე მოცემულია (2) ცხრილში.

პლანეტები	ბოდე-ტიციუსის წესის მიხედვით მანძილი, ასტრ. ერთ.	ნამდვილი მანძილები, ასტრ. ერთ.
მერკური	$0.4 \cdot (0.3 \cdot 2^{-1}) = 0,4$	0,4
ვენერა	$0,4 + (0,3 \cdot 2^0) = 0,7$	0,7
დედამიწა	$0,4 + (0,3 \cdot 2^1) = 1,0$	1,0
მარსი	$0,4 + (0,3 \cdot 2^2) = 1,6$	1,5
მცირე პლანეტები	$0,4 + (0,3 \cdot 2^3) = 2,8$	2,8
იუპიტერი	$0,4 + (0,3 \cdot 2^4) = 5,2$	5,2
სატურნი	$0,4 + (0,3 \cdot 2^5) = 10,0$	11,5
ურანი	$0,4 + (0,3 \cdot 2^6) = 19,6$	19,2
ნეპტუნი	$0,4 + (0,3 \cdot 2^7) = 38,8$	30,1
პლუტონი	$0,4 + (0,3 \cdot 2^8) = 77,2$	39,5

როგორც (1) ცხრილიდან ჩანს, ურანის დაშორება მზიდან დაახლოებით უდრის 19 ასტრ. ერთ. ეს ოდენობა იყო ნაწინასწარმეტყველები ტიციუსისა და ბოდეს მიერ, რაც ცხრა წლის შემდეგ დადასტურდა პერსეელის მიერ ურანის აღმოჩენით. ამ ფაქტმა დიდი ინტერესი გამოიწვია იმის ძიებაში, რომ მარსსა და იუპიტერს შორის აღმოჩინათ მიღებული წესის შესაბამისი ჯერ კიდევ აღმოუჩენელი პლანეტები, რომელთა მანძილები მზიდან იქნებოდა 2,8 ასტრ. ერთ. მართლაც, სანამ საგანგებო ასტრონომიულ დაკვირვებებს დაიწყებდნენ, იოსებ პიაციმ 1801 წლის 1 იანვარს შემთხვევით აღმოაჩინა ვარსკვლავისმაგვარი ობიექტი, რომლის ორბიტი გამოთვლილ იქნა გაუსის მიერ, რისთვისაც მან გამოიყენა მის მიერვე აღმოჩენილი უმცირეს კვადრატთა მეთოდი. ამ მცირე პლანეტას დაერქვა ცერერა. ერთი წლის შემდეგ ოლბერსის მიერ კიდევ აღმოჩენილ იქნა ერთი მცირე (სუსტი) პლანეტა, რომელსაც დაარქვეს პალადა. ფოტოგრაფიის გამოგონების შემდეგ კი ყოველწლიურად ხდებოდა ასეული მცირე პლანეტის აღმოჩენა, რომლებიც დაახლოებით 2,8 ასტრ. ერთ. არიან მზიდან დაშორებულნი. იმის გამო, რომ ეს მცირე პლანეტები ახლოსაა დედამიწასთან, გვეჩვენება, რომ ცის სფეროზე ისინი დიდი სიჩქარით მოძრაობენ. ზემოხსენებული წესის ჩამოყალიბების დროს აღმოჩენილი არ იყო ნეპტუნი და პლუტონი. მაგრამ, თუ ბოდე-ტიციუსის წესის წინასწარმეტყველება გამართლდა ურანისა და მცირე პლანეტების მიმართ, ნეპტუნისა და პლუტონის მიმართ ეს ვერ მართლდება.

ე. ორი სხეულის ამოცანაში მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები

ნეპტონის წარმოდგენის შესაბამისად, აქ განვიხილოთ მოძრაობა ისეთი ურთიერთმომზიდველი სხეულებისა, რომელთა შორის მანძილი უაღრესად დიდია მათ ოდენობებთან შედარებით. ასეთ შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, ამ სხეულთა მიზიდულობა იგულისხმება მატერიალურ წერტილთა მიზიდულობად.

ეთქვათ, ამ სხეულთა მასებია m და m_1 ; $m + m_1 = M$, ხოლო მათ

1 სიმარტივისთვის ქვემოთ m და m_1 სიმბოლოთი აღვნიშნავთ სხეულებსა (წერტილებს) და მათ მასებს.

ხოლო

$$\rho = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2}.$$

მაშინ m წერტილის მოძრაობის (4) დიფერენციალური განტოლებები მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} &= f m m_1 \frac{x_1 - x}{\rho^3} \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} &= f m m_1 \frac{y_1 - y}{\rho^3} \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} &= f m m_1 \frac{z_1 - z}{\rho^3} \end{aligned} \right\}. \quad (1.6.4.5)$$

შესაბამისად, ასეთივე სისტემა დაიწერება m_1 წერტილისათვის:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} &= -f m m_1 \frac{x_1 - x}{\rho^3} \\ m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2} &= -f m m_1 \frac{y_1 - y}{\rho^3} \\ m_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2} &= -f m m_1 \frac{z_1 - z}{\rho^3} \end{aligned} \right\}. \quad (1.6.4.6)$$

გაეკოთ (5) ტოლობები m -ზე და (6) ტოლობები m_1 -ზე და მიღებულ პირველ განაყოფს გამოვაკლოთ მეორე განაყოფი, რითაც მივიღებთ m წერტილის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას m_1 წერტილის მიმართ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2(x-x_1)}{dt^2} &= -f(m_1+m) \frac{x-x_1}{\rho^3} \\ \frac{d^2(y-y_1)}{dt^2} &= -f(m_1+m) \frac{y-y_1}{\rho^3} \\ \frac{d^2(z-z_1)}{dt^2} &= -f(m_1+m) \frac{z-z_1}{\rho^3} \end{aligned} \right\}. \quad (1.6.4.7)$$

თუ შემოვიღებთ კოორდინატების მოქრავ სისტემას, რომლის სათავე იქნება m_1 წერტილში, და m წერტილის კოორდინატებს განმეორებით აღვნიშნავთ x , y და z -ით, მანძილს კი r -ით, მაშინ m მასის მქონე წერტილის m_1 მასის მქონე წერტილისადმი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები იქნება ასეთი:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} &= -f(m_1+m) \frac{x}{r^3} \\ \frac{d^2 y}{dt^2} &= -f(m_1+m) \frac{y}{r^3} \\ \frac{d^2 z}{dt^2} &= -f(m_1+m) \frac{z}{r^3} \end{aligned} \right\}. \quad (1.6.4.8)$$

ჩვეულებრივ, მზის სისტემის სხეულების მოძრაობის განხილვის დროს

მზის მასა, რომლის მიმართაც ვიხილავთ ამ სხეულების მოძრაობებს, მიღებულია ერთი სტოლადა, ე. ი. $m_1 = 1$ (კოროდინატა სისტემის სათავედ თვით მზის ცენტრია მიღებული) და m წერტილის მასა გამოისახება მზის მასის ერთეულებში. ამიტომ მზის მიმართ მისი ოჯახის ნებისმიერი წევრის მოძრაობის დიფერენციალური (8) განტოლებები მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} &= -f(1+m) \frac{x}{r^3} \\ \frac{d^2 y}{dt^2} &= -f(1+m) \frac{y}{r^3} \\ \frac{d^2 z}{dt^2} &= -f(1+m) \frac{z}{r^3} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.9)$$

დ. მოძრაობის განტოლებების ინტეგრება

1. ფართობთა ინტეგრალი

ორი სხეულის ამოცანაში მოძრაობის (9) განტოლებები წარმოადგენს მეორე რიგის სამ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას. ამ სისტემის ამოხსნა მდგომარეობს ექვსი ინტეგრალის მონახვაში, რომელთან დაკავშირებით შემოტანილი უნდა იქნეს ექვსი ნებისმიერი მუდმივი. სამი ინტეგრალი იქნება ფართობების ინტეგრალი. ამ ინტეგრალების მისაღებად (9) სისტემის მეორე განტოლება გავამრავლოთ x -ზე, პირველი კი y -ზე და მეორეს გამოვაკლოთ პირველი. ამდაგვარადვე y -ზე გამრავლებულ მესამე ტოლობას გამოვაკლოთ z -ზე გამრავლებული მეორე ტოლობა და ბოლოს z -ზე გამრავლებულ პირველ ტოლობას გამოვაკლოთ x -ზე გამრავლებული მესამე ტოლობა, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} x \frac{d^2 y}{dt^2} - y \frac{d^2 x}{dt^2} &= 0 \\ y \frac{d^2 z}{dt^2} - z \frac{d^2 y}{dt^2} &= 0 \\ z \frac{d^2 x}{dt^2} - x \frac{d^2 z}{dt^2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.10)$$

მეორე, მესამე და პირველი ტოლობების ინტეგრებით მივიღებთ პირველ სამ ინტეგრალს:

$$\left. \begin{aligned} y \frac{dx}{dt} - z \frac{dy}{dt} &= c_1 \\ z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt} &= c_2 \\ x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} &= c_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.11)$$

მიღებული (11) ტოლობები, შესაბამისად, გავამრავლოთ x , y , z -ზე და შევკრიბოთ, მივიღებთ:

$$c_1 x + c_2 y + c_3 z = 0. \quad (1.6.4.12)$$

მიღებული (12) ტოლობა ადასტურებს იმას, რომ ნიუტონის ძალებისადმი და-
მორჩილებული ორი სხეულის მოძრაობა ხდება (12) ტოლობის შესაბამის სი-
ბრტყეში, რომლის მდებარეობა განისაზღვრება μ აღმაეალი კვანძისა და i
დახრილობით.

განვალაგოთ x , y , z ღერძები ისე, რომ m და m_1 მატერიალური წერ-
ტილები მოძრაობის სიბრტყე ემთხვეოდეს xy კოორდინატთა სიბრტყეს. მა-
შინ $z=0$ და მოძრაობის (9) განტოლებათა სისტემა ასეთი სახის იქნება:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -f(1+m)\frac{x}{r^3} \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= -f(1+m)\frac{y}{r^3} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.13)$$

ამ სისტემის შესაბამისად ფართობთა ინტეგრალს, ანალოგიურად (10),
(11) ტოლობებისა, მივიღებთ, თუ x -ზე გამრავლებულ მეორეს y -ზე გამრავ-
ლებულ პირველს გამოვაკლებთ და მიღებულ ტოლობას გავაინტეგრალებთ:

$$x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = c. \quad (1.6.4.14)$$

მიღებული ინტეგრალის მარცხენა ნაწილი წარმოადგენს გოორკეცებულ
სექტორულ სიჩქარეს. თვით (14) ტოლობა კი კეპლერის მეორე
კანონია (1.4.4 პარაგრაფი), რომლის მიხედვით ცნობილია, რომ პლანეტის მო-
ძრაობის სექტორული სიჩქარე მუდმივია, ანუ მატერიალური წერტილის
რადიუს-ვექტორი დროის პროპორციულ ფართობებს შემოწერს.

II. კინეტიკური ენერგიის (ცოცხალი ძალის) ინტეგრალი

(13) სისტემის პირველი ტოლობა გავამრავლოთ $2\frac{dx}{dt}$ -ზე, ხოლო მეორე
ტოლობა კი $2\frac{dy}{dt}$ -ზე და შევკრიბოთ, მივიღებთ:

$$2\frac{d^2x}{dt^2} \frac{dx}{dt} + 2\frac{d^2y}{dt^2} \frac{dy}{dt} = -2f(1+m)\frac{1}{r^3} \left(x\frac{dx}{dt} + y\frac{dy}{dt} \right). \quad (1.6.4.15)$$

მიღებული ტოლობა გარდაქმნათ, რისთვისაც გამოვიყენოთ (1) ნახაზის შე-
საბამისი დამოკიდებულებები:

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad \text{და} \quad r\frac{dr}{dt} = x\frac{dx}{dt} + y\frac{dy}{dt},$$

რაც მოგვცემს

$$\frac{d}{dt} \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right] = -2f(1+m)\frac{1}{r^3} \frac{dr}{dt}. \quad (1.6.4.17)$$

ამ ტოლობის გაინტეგრალებით მივიღებთ:

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = \frac{2f(1+m)}{r} + h. \quad (1.6.4.17)$$

მიღებული ტოლობის მარცხენა ნიწილი არის თავის ორბიტაზე m წერტილის მოძრაობის ხაზოვანი სიჩქარის კვადრეტი. თუ ორბიტაზე m წერტილის ხაზოვან სიჩქარეს აღვნიშნავთ v ასოთი, მაშინ (17) ტოლობის მარცხენა ნიწილი გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = v^2,$$

ე. ი. (17) ტოლობა ასე გადაიწერება:

$$v^2 = \frac{2f(1+m)}{r} + h, \quad (1.6.4.18)$$

რომელიც წარმოადგენს კინეტიკური ენერჯიის (ცოცხალი ძალის) ინტეგრალს.

III. რადიუს-ვექტორსა და ზეშეპირი ანომალიას შორის კავშირი

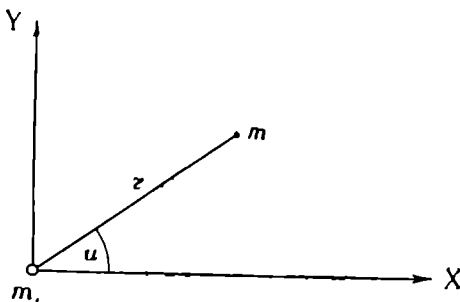
გამოვიყენოთ პოლარული კოორდინატები (ნახ. 4):

$$x = r \cos u; \quad y = r \sin u;$$

ხოლო წარმოებული იქნება

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} = \cos u \frac{dr}{dt} - r \sin u \frac{du}{dt}; \quad \frac{dy}{dt} = \sin u \frac{dr}{dt} + r \cos u \frac{du}{dt} \end{aligned} \right\}, \quad (1.6.4.19)$$

სადაც u — პოლარული კუთხეა, რომელიც აითვლება კვანძების ხაზის მიმართ xy სიბრტყეზე.



ნახ. 1.6.4.4.

ფართობთა ინტეგრალების (14) და კინეტიკური ენერჯიის ინტეგრალის (18) ფორმულებში (19) დამოკიდებულებების ჩასმით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} r^2 \frac{du}{dt} = c \\ \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2 \left(\frac{du}{dt}\right)^2 = h + \frac{2f(1+m)}{r} \end{aligned} \right\}. \quad (1.6.4.20)$$

ბირველი ტოლობიდან განვსაზღვროთ dt და ჩავსვათ მეორეში; მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{c^2}{r^4} \left(\frac{dr}{du} \right)^2 + \frac{c^2}{r^2} &= h + \frac{2f(1+m)}{r} \\ \text{ანუ} & \\ \left(\frac{dr}{du} \right)^2 &= -r^2 + \frac{h}{c^2} \cdot r^4 + \frac{2f(1+m)}{c^2} \cdot r^3 \end{aligned} \right\}, \quad (1.6.4.21)$$

აქედან

$$du = \pm \frac{dr}{\sqrt{\frac{h}{c^2} r^4 + \frac{2f(1+m)}{c^2} r^3 - r^2}}$$

ანუ (ნახ. 2) მხედვით

$$u - \omega = \pm \int \frac{dr}{r^2} \frac{1}{\sqrt{\frac{h}{c^2} + \frac{2f(1+m)}{c^2} \cdot \frac{1}{r} - \frac{1}{r^2}}}, \quad (1.6.4.22)$$

სადაც ω არის ინტეგრირების მუდმივი, რომლის უზნაარსი ქვემოთ დადგინდება. შემოვიტანოთ ცვლადთა შემდეგი სახით გამოსახვა:

$$\frac{1}{r} = \bar{r} \quad \text{ანუ} \quad \frac{1}{r^2} = \bar{r}^2. \quad (1.6.4.23)$$

ბირველი ტოლობის გადიფერენციალებით მივიღებთ:

$$-\frac{dr}{r^2} = d\bar{r}.$$

მაშინ (22) ტოლობა გადაიწერება ასე:

$$u - \omega = \pm \int \frac{d\bar{r}}{\sqrt{\frac{h}{c^2} + \frac{2f(1+m)}{c^2} \cdot \bar{r} - \bar{r}^2}}. \quad (1.6.4.24)$$

ვთქვათ,

$$\left. \begin{aligned} \bar{r} &= A + B \cos v \\ d\bar{r} &= -B \sin v dv \end{aligned} \right\}, \quad (1.6.4.25)$$

მაშინ (24) ტოლობა მიიღებს სახეს:

$$u - \omega \pm \int \frac{-B \cdot \sin v \cdot dv}{\sqrt{\frac{h}{c^2} + \frac{2f(1+m)}{c^2} [A - A^2 + \left[\frac{2f(1+m)}{c^2} B - 2AB \right] \cos v - B^2 \cos^2 v}}.$$

მიღებულ ტოლობაში შევიტანოთ აღნიშვნები:

$$\begin{aligned} \frac{h}{c^2} + \frac{2f(1+m)}{c^2} A - A^2 &= B^2, \\ \frac{f(1+m)}{c^2} &= A. \end{aligned}$$

$$B = \sqrt{\frac{h}{c^3} + \frac{f^2(1+m)^2}{c^4}}$$

ამ სიდიდეების გამოყენებით დავწერთ:

$$u - \omega = \pm \int \frac{-B \cdot \sin v dv}{\sqrt{B^2 + B \left[\frac{2f(1+m)}{c^2} - \frac{2f(1+m)}{c^2} \right] \cos v - B^2 \cos^2 v}}$$

ანუ

$$u - \omega = \pm \int \frac{-B \sin v dv}{\sqrt{B^2 \cdot \sin^2 v}}$$

მაშასადამე,

$$u - \omega = \pm v, \tag{1.6.4.26}$$

სადაც v არის კუშიარითი ანომალია.

(23) და (25) ტოლობების გამოყენებით დავწერთ

$$r = \frac{1}{A + B \cos v}$$

ხოლო A , B და v სიდიდეების ზემოთ მოყვანილ ეკვივალენტურ გამოსახულებათა შეტანით მივიღებთ:

$$r = \frac{1}{\frac{f(1+m)}{c^2} + \sqrt{\frac{h}{c^3} + \frac{f^2(1+m)^2}{c^4}} \cdot \cos(u - \omega)}$$

ანუ

$$r = \frac{c^2}{1 + \sqrt{\frac{hc^3}{f^2(1+m)^2} + 1} \cos(u - \omega)} \tag{1.6.4.27}$$

ვინაიდან $f(1+m)$, c^2 , h წევრები მუდმივებია, ამიტომ (27) წარმოადგენს კონუსური კვეთილობის განტოლებას, კერძოდ კი ეს არის მეთორე რიგის მრუდის პოლიარული ფოკალური განტოლება.

თუ (27)-ში შემოვიტანთ კონუსური კვეთილობის პარამეტრებს p და e ექსცენტრისიტეტს მივიღებთ:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos v}$$

ეს კი პლანეტის ორბიტის, ანუ ელიფსის (1) განტოლებაა.

მაშასადამე, (27) ტოლობის ელემენტები გამოისახება ასე:

$$\left. \begin{aligned} \frac{c^2}{f(1+m)} &= p, \\ \sqrt{\frac{hc^3}{f^2(1+m)^2} + 1} &= e \\ u - \omega &= v \end{aligned} \right\} \tag{1.6.4.28}$$

ასე რომ, ნიუტონის კანონებისაგან გამომდინარე მიდგომაში იმ ძალების ხასიათის შესახებ, რომლის ველშიც ხდება ორი სხეულის ურთიერთმოძრაობა, მიგვიყვანა კეპლერის პირველ კანონთან—პლანეტები მოძრაობენ მზის ირგვლივ ელიფსის ორბიტაზე, რომლის ერთ-ერთ ფოკუსშია მზე.

ე. ინტეგრალებში მუდმივების არსი

(28) დამოკიდებულებების პირველი ტოლობიდან

$$e = \sqrt{f(1+m)p}, \quad (1.6.4.29)$$

სადაც $p = a(1-e^2)$ არის კონუსური კვეთის პარამეტრი,

a — დიდი ნახევარღერძი,

$f = 6,67 \cdot 10^{-8}$ — მიზიდულობის მუდმივა,

1 — მზის მასა,

m — პლანეტის მასა, გამოსახული მზის მასის ერთეულებში,

e — ექსცენტრისიტეტი.

(8) დამოკიდებულებების მეორე ტოლობიდან (29)-ის გამოყენებით მივიღებთ:

$$h = -\frac{f^2(1+m)^2(1-e^2)}{e^2} = -\frac{f(1+m)(1-e^2)}{p}, \quad (1.6.4.30)$$

ანუ p მნიშვნელობის გამოყენებით

$$h = -\frac{f^2(1+m)(1-e^2)}{a(1-e^2)} = -\frac{f(1+m)}{a}. \quad (1.6.4.31)$$

ორბიტის ხასიათის, ანუ e ექსცენტრისიტეტის ოდენობის მიხედვით მუდმივას შეიძლება ჰქონდეს დადებითი ან უარყოფითი ნიშანი, მაგალითად:

როცა $e < 1$, მაშინ ორბიტა ელიფსია და $h < 0$, $a > 0$;

„ $e > 1$, „ „ ჰიპერბოლაა და $h > 0$, $a < 0$;

„ $e = 1$, „ „ პარაბოლაა და $h = 0$, $a = \infty$.

ეს გარემოება საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ. საწყისი სიჩქარე, რომლის დროსაც მოძრაობა იქნება ელიფსური, ჰიპერბოლური თუ პარაბოლური ორბიტით.

ამისათვის საკმარისია გამოვიყენოთ კინეტიკური ენერჯის ინტეგრალის (18) ფორმულა

$$v^2 = h + 2f \frac{(1+m)}{r}.$$

როცა $v^2 < 2f \frac{(1+m)}{r}$, მაშინ მოძრაობა ელიფსურია;

„ $v^2 > 2f \frac{(1+m)}{r}$, „ „ ჰიპერბოლურია;

„ $v^2 = 2f \frac{(1+m)}{r}$, „ „ პარაბოლურია.

მიღებული დამოკიდებულებებიდან თავისუფლად შეგვიძლია დავადგინოთ მეორე კოსმოსური სიჩქარე, ანუ დედამიწის ხილულ ზედაპირზე სხეუ-

ლის ისეთი სიჩქარე, რომლის დროს სხეული გასცდება დედამიწის მიზიდულობის ძალის ოდენობას და გახდება მზის თანაჰზავარი. ასეთი კრიტიკული სიჩქარით მოძრაობის ორბიტა იქნება პარაბოლური. როცა სხეული მოძრაობს პირველ კოსმოსურ სიჩქარეზე (8 კმ/სკ) მეტი, შოლოდ პარაბოლურზე (მეორე კრიტიკულზე) ნაკლები სიჩქარით, სხეული ხდება დედამიწის თანამგზავარი და როცა სხეულის სიჩქარე მიაღწევს პარაბოლურ (მეორე კრიტიკულ) სიჩქარეს, იგი იწყებს მოძრაობას პარაბოლის გზით და გასცდება დედამიწის მიზიდულობის ველს.

მაგალითი 1.6.4.1. გამოვთვალოთ მეორე კოსმიური სიჩქარე შემდეგი მონაცემების მიხედვით: გრავიტაციული მუდმივა $f = 6,67 \cdot 10^{-8}$; დედამიწის საშუალო რადიუსი $r = 6,370 \cdot 10^8$ სმ, დედამიწის მასა ($5,98 \cdot 10^{27}$ გ) მივიღოთ ერთის ტოლად, ხოლო სხეულის m მასა უგულებელვყოთ.

მეორე კოსმიური სიჩქარის დასადგენად უნდა გამოვიყენოთ შემოხსენებული მესამე დამოკიდებულება

$$v = \sqrt{2 \frac{f(1+m)}{r}} = \sqrt{2 \frac{6,67 \cdot 10^{-8}(5,98 \cdot 10^{27} + 0)}{6,370 \cdot 10^8}} = 11,2 \text{ კმ/სკ.}$$

მიღებული შედეგი ემთხვევა (1) ცხრილისა და ამ პარაგრაფის შესავლის 1 მუხლის (c) ფორმულით გამონათვალს.

ინტეგრირების მესამე მუდმივაა α . როგორც ვხედავთ, იგი წარმოადგენს კუთხურ მანძილს \mathcal{A} აღმავალი კვანძიდან π -მდე. სინამდვილეში α პოლარული კუთხე იზომება ორბიტის სიბრტყეში კვანძების ხაზიდან, ხოლო კუთხე ψ კემპარიტ ანომალიად ითვლება π პერიგეუმის წერტილიდან. ასე რომ,

$$\alpha = u - \psi = \mathcal{A} \pi (\text{რკალი})$$

[(ნახ. 2) და (21) ტოლობიდან (22) ტოლობაზე გადასვლა].

f. კვანძების განტოლება

ამ განტოლების გამოყვანისას განვიხილოთ ელიფსური მოძრაობის შემთხვევა, ანუ, როცა $e < 1$.

(20) დამოკიდებულებების პირველი ტოლობიდან

$$r^2 \left(\frac{du}{dt} \right)^2 = \frac{e^2}{r^2}$$

შევიტანოთ მეორე ტოლობაში, მივიღებთ

$$\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = h^2 + \frac{2f(1+m)}{r} - \frac{e^2}{r^2},$$

ანუ

$$dt = \pm \frac{dr}{\sqrt{h^2 - \frac{2f(1+m)}{r} - \frac{e^2}{r^2}}} = \pm \frac{r dr}{\sqrt{hr^2 + 2f(1+m)r - e^2}}.$$

ინტეგრებით მივიღებთ:

$$t - T\pi = \pm \int \frac{r dr}{\sqrt{hr^2 + 2f(1+m)r - e^2}}, \quad (1.6.4.32)$$

სადაც T_{π} ითვლება ინტეგრების მუდმივად, რომლის არსს ქვემოთ დავადგენთ.

(32) ინტეგრალის ამოსახსნელად (25) აღნიშვნისამებრ შემოვიტანოთ შემდეგი ჩასმები:

$$\left. \begin{aligned} r &= A_1 + B_1 \cos E \\ \text{დიფერენციალი კი იქნება } dr &= -B_1 \sin E dE \end{aligned} \right\}, \quad (1.6.4.33)$$

რომელთა (32)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$t - T_{\pi} = \pm \int \frac{(A_1 + B_1 \cos E) \cdot B_1 \sin E \cdot dE}{(-hA_1^2 - 2f(1+m)A_1 + c^2 - [2hA_1B_1 + 2f(1+m)B_1] \cos E - hB_1^2 \cos^2 E)^{3/2}}$$

ამ ტოლობაში შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

$$B_1^2 h = -hA_1^2 - 2f(1+m)A_1 + c^2,$$

ხოლო

$$hA_1 = -f(1+m), \text{ საიდანაც } A_1 = -\frac{f(1+m)}{h}. \quad (a)$$

მაშინ

$$B_1 = \pm \sqrt{\frac{f^2(1+m)^2}{h^2} + \frac{c^2}{h}}. \quad (b)$$

ამ სიდიდეების გამოყენებით ინტეგრალქვეშა გამოსახულების მნიშვნელი გადაიწერება ასე:

$$(-hB_1^2 + B_1[-2f(1+m) + 2f(1+m)] \cos E + hB_1^2 \cos^2 E)^{3/2} = (-hB_1^2 \sin^2 E)^{3/2}.$$

აგრეთვე, (31) და (29) დამოკიდებულებებიდან:

$$h = -\frac{f(1+m)}{a}; \quad c^2 = f(1+m) \cdot p = f(1+m)a(1-e^2). \quad (c)$$

(a) და (c) ტოლობების შედარებით მივიღებთ

$$hA_1 = ha, \text{ ე. ი. } A_1 = a, \quad (d)$$

ხოლო (b)-ში (a)-სა და (c)-სა შეტანით და მერე (d)-ს გამოყენებით მივიღებთ:

$$B_1^2 = A_1^2 - \frac{f(1+m)a(1-e^2)a}{f(1+m)} = a^2 - a^2(1-e^2) = a^2 e^2,$$

ანუ

$$B_1 = \pm ae. \quad (e)$$

ზემოთ მოყვანილი სიდიდეების გამოყენებით მივიღებთ:

$$t - T_{\pi} = \pm \int \frac{(A_1 + B_1 \cos E) \cdot B_1 \sin E dE}{\sqrt{-hB_1 \cdot \sin E}} = \pm \int \frac{a + ae \cos E dE}{\sqrt{-h}}, \quad (1.6.4.34)$$

ე. ი.

$$t - T_{\pi} = \pm \frac{a}{\sqrt{-h}} \int (1 \pm e \cos E) dE,$$

ანუ ინტეგრალის ამოხსნისა და (e) გამოყენებით გვექნება:

$$t - T_{\pi} = \pm \frac{a^{3/2}}{\sqrt{f(1+m)}} (E \pm e \sin E). \quad (1.6.4.35)$$

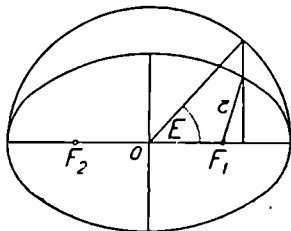
როცა E კუთხეს (ნახ. 5) ავითვლით π პერიოდებიდან, მაშინ r რადიუს-ვექტორს აქვს მინიმალური მნიშვნელობა და თუ შევთანხმდებით, რომ ეს კუთხე იზრდება t დროს გაზრდით, (33) ტოლობებში (d) და (e) ჩასმით და (35)-ის გამოყენებით მივიღებთ:

$$r = a(1 - \varepsilon \cos E). \quad (1.6.4.36)$$

$$E = \varepsilon \sin E = \frac{\sqrt{f(1+m)}}{a^{3/2}} (t - T\pi). \quad (1.6.4.37)$$

როდესაც $t = T\pi$ პლანეტა იმყოფება თავისი ორბიტის პერიოდულში, ეინაიდან $E = 0$, ამიტომ დავასკვნით, რომ ინტეგრალის ზემოთ გამოყენებულ ნებისმიერი $T\pi$ მუდმივი წარმოადგენს, პლანეტის პერიოდულზე გავლის მომენტს.

ვთქვათ, პლანეტის საშუალო კუთხური მოძრაობა ორბიტაზე არის n ხოლო მზისადმი გარემოქცევის პერიოდი T . მაშინ $n = \frac{2\pi}{T}$. (37) დამოკიდე-



ნახ. 1.6.4.5.

ბულების $\frac{\sqrt{f(1+m)}}{a^{3/2}}$ კოეფიციენტი

იქნება პლანეტის მოძრაობის საშუალო სიჩქარის გამომსახველი, ვინაიდან, რო-

ცა t დრო გახდება გარემოქცევის სრული T პერიოდის ტოლი, E კუთხეც გახდება 2π -ს ტოლი. (37) ტოლობას $E = 2\pi$ მნიშვნელობისათვის გამოვაკლოთ იგივე ტოლობა $E = 0$ მნიშვნელობისათვის, მივიღებთ:

$$E_{2\pi} - E_0 = \sqrt{f} \cdot \frac{\sqrt{1+m}}{a^{3/2}} \cdot t_{2\pi} - \sqrt{f} \cdot \frac{\sqrt{1+m}}{a^{3/2}} \cdot t_0 = \sqrt{f} \cdot \frac{\sqrt{1+m}}{a^{3/2}} (t_{2\pi} - t_0) = 2\pi,$$

ანუ

$$\sqrt{f} \frac{\sqrt{1+m}}{a^{3/2}} = \frac{2\pi}{t_{2\pi} - t_0} = \frac{2\pi}{T} = n. \quad (1.6.4.38)$$

მაშასადამე, (37) ტოლობის მიხედვით კეპლერის ტოლობა შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$E - \varepsilon \sin E = \frac{2\pi}{T} (t - t_0). \quad (1.6.4.39)$$

კეპლერის განტოლებიდან შეიძლება მივიღოთ კეპლერის მესამე კანონი, რისთვისაც დავწეროთ (38) ტოლობა ორი m_1 და m_2 პლანეტისათვის, რომლებიც მოძრაობენ ერთი და იმავე ცენტრალური სხეულის გარშემო a_1 და a_2 საშუალო მანძილებით, შესაბამისად, T_1 და T_2 პერიოდებით. ავიყვანოთ ორივე კვადრატში.

$$f \frac{1+m_1}{a_1^3} = \frac{(2\pi)^2}{T_1^2}; \quad f \frac{1+m_2}{a_2^3} = \frac{(2\pi)^2}{T_2^2};$$

მეორე ტოლობა გავყოთ პირველზე, მივიღებთ:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3(1+m_2)}{a_2^3(1+m_1)}, \quad (1.6.4.40)$$

ანუ პლანეტების გარემოქცევათა პერიოდების კვადრატების შეფარდება ტოლია მათი საშუალო მანძილების კუბების ფარდობის ნამრავლისა წილადზე, რიამლის მრიცხველია ცენტრალური სხეულისა და მეორე სხეულის მასის ჯამი, მნიშვნელი—ცენტრალური სხეულისა და პირველი სხეულის მასის ჯამი (მეორე შესაკრებები ცენტრალური სხეულის ნაწილებშია გამოსახული). მზის სისტემისათვის, ანუ, როცა

$$m_1 \ll m_2$$

(მზის მასა ერთის ტოლად არის მიღებული, ხოლო პლანეტებისა გაცილებით ნაკლებია), შესაძებ კანონი შეიძლება დაიწეროს მიახლოებით (1.4.4 პარაგრა.):

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

მაშასადამე, თუ ორი სხეულის მოძრაობა სრულდება ცენტრალური სხეულის გავლენით და ემორჩილება ნიუტონის კანონს, ანუ, თუ ეს მამოძრავებელი ძალა პირდაპირპროპორციულია მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მანძილის კვადრატისა, დავრწმუნდებით, რომ ეს მოძრაობა ემორჩილება კეპლერის სამივე კანონს.

(38) ტოლობიდან შეიძლება გამოვთვალოთ მიზიდულობის f მუდმივა.

$$\sqrt{f} = \frac{2\pi a^{3/2}}{T\sqrt{1+m}} \quad (1.6.4.4i)$$

ე. ი. თუ ცნობილია პლანეტის T სრული გარემოქცევის პერიოდი, პლანეტის a საშუალო მანძილი მზემდე და პლანეტის m მასა, გამოსახული მზის მასის ნაწილებში, რომელიც ერთის ტოლად არის მიღებული, შეიძლება გამოვითვალოთ მიზიდულობის f მუდმივა.

გ. ორი სხეულის ამოცანის პირველი სამი ინტეგრალის გამოსახვა პლანეტის ორბიტის i დახრილობისა და აღმავალი \mathcal{L} კვანძის \mathcal{L} ეკლიპტიკური გრძედის საშუალებით

განვიხილოთ (11) სისტემა, რომელშიც შედის ინტეგრების სამი c_1 , c_2 , c_3 მუდმივი. დავუშვათ, რომ კოორდინატთა xy სიბრტყე ძევს ეკლიპტიკის სიბრტყეზე (ნახ. 6). (11) სისტემის თითოეული ტოლობა წარმოადგენს (14) ტოლობით გამოსახულ c სიბრტყის პროექციას, რომელიც მდებარეობს პლანეტის ორბიტის სიბრტყეზე აგებულ კოორდინატთა yz , xz , xy სიბრტყეების მიმართ, მაგალითად:

$$y \frac{dx}{dt} - z \frac{dy}{dt} = c_1 = c_{yz} = c \cdot \sin i \cdot \sin \mathcal{L},$$

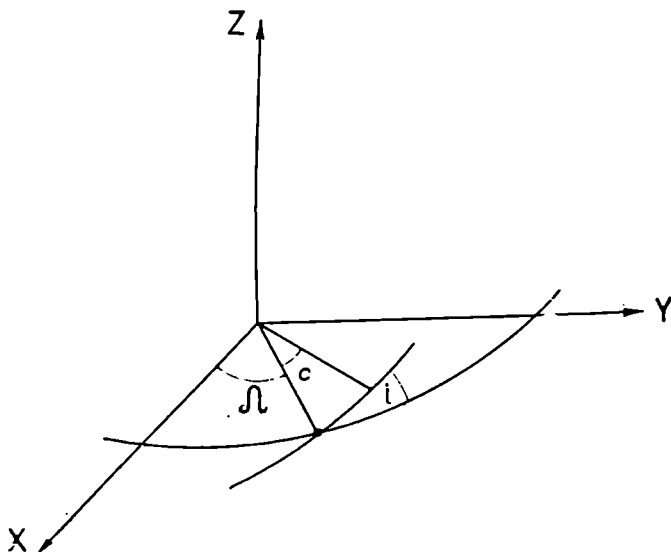
$$z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt} = c_2 = c_{xz} = -c \cdot \sin i \cdot \cos \mathcal{L},$$

$$x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = c_3 = c_{xy} = c \cdot \cos i.$$

მიღებულ სისტემაში შევიტანოთ c -ს მნიშვნელობა (29) გამოსახულებიდან და ტოლობები დავალაგოთ x , y , z თანამიმდევრობით:

$$\left. \begin{aligned} x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} &= c_3 = \sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} \cdot \sqrt{p} \cdot \cos i \\ y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt} &= c_1 = \sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} \cdot \sqrt{p} \cdot \sin i \cdot \sin \mathcal{L} \\ z \frac{dx}{dt} - x \frac{dz}{dt} &= c_2 = -\sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} \cdot \sqrt{p} \cdot \sin i \cdot \cos \mathcal{L} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.42)$$

მაშასადამე, თუ ცნობილია ორბიტის ელემენტები (i , \mathcal{L}), შეიძლება დროის ნებისმიერი მომენტისათვის გამოთვლილ იქნეს: პლანეტის მდებარეობა



ნახ. 1.6.4.6.

ორბიტაზე; ჰელიოცენტრული და გეოცენტრული მდებარეობა ცის სფეროზე, ანუ ჰელიოცენტრული და გეოცენტრული კოორდინატები.

დ. დედამიწის შემკუმშულობის განსაზღვრა მთვარე-მზისმიერი კრძმფსიით და მთვარის მოძრაობის უთანაბრობით

ა. დედამიწის შეკუმშულობის განსაზღვრა მთვარე-მზისმიერი პრეცესიით

დედამიწის წერტილთა განედები ცვალებადობისა და პრეცესია-ნუტაციის შესახებ საკითხი ვრცლად არის განხილული (1.4.2 და 1.4.3) პარაგრაფებში.

როგორც ცნობილია, ერთგვაროვანი და კონცენტრულად განლაგებული

სიმკვრივის მქონე სფეროსაგან დედამიწის განსხვავება იწვევს იმას, რომ მთვარე-მზისმიერი მიზიდულობის მოქმედებით დედამიწის ლერძის დახრა ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი ცვალებადობს (რასაც ადგილი არა აქვს დედამიწის წერტილთა განედების ცვალებადობის დროს, 1.4.2 პარაგრაფი), ანუ თანდათანობით ხდება დედამიწის ლერძის მიმართულების გადაადგილება. ამ დროს ხდება ეკვატორზე გაზაფხულის ბუნიობის წერტილის გადაადგილება დედამიწის მზისადმი გარემოქცევის საწინააღმდეგო მიმართულებით (დასავლეთისაკენ). ამის მიზეზია ის, რომ (1.4.2) პარაგრაფში აღნიშნული მოვლენით, ანუ წერტილთა განედების ცვალებადობით გამოწვეული დედამიწის ეკვატორული გამობურცულობის გამო მთვარე-მზისმიერი მიზიდულობით წარმოიშობა წყვილი ძალა, რომელთა მომენტი იწვევს დედამიწის გადახრას ეკლიპტიკის სიბრტყისადმი ეკვატორის სიბრტყის შეახლოების მიმართულებით. როგორც ვიცით, ამ მოვლენას ბუნიობის წინსწრება, ანუ პრეცესია ეწოდება. გარდა ამისა, ადგილი აქვს მთვარის ორბიტის პერიოდულ ცვალებადობას და მთვარე და მზე სხვადასხვა დროს იმყოფება ეკვატორისაგან სხვადასხვა კუთხურ მანძილზე, რაც იწვევს პერიოდულად ცვალებად წყვილ ძალას, მოქმედს დედამიწის ეკვატორული გამობურცულობისადმი. ეს მოვლენა კი იწვევს დედამიწის ბრუნვის ლერძის პერიოდულად გადახრას საშუალო მდგომარეობისაგან, რასაც ნუტაცია ეწოდა.

როგორც ვხედავთ, პრეცესია და ნუტაცია შედეგია იმისა, რომ დედამიწას აქვს (1.4.2) პარაგრაფში აღწერილი დინამიკური შეკუმშულობა. ცხადია, რაც მეტი იქნება დინამიკური შეკუმშულობა, მით მეტი იქნება პრეცესია და ნუტაცია. პრეცესიისა და ნუტაციის ფორმულებს აქვთ ასეთი სახე:

$$\left. \begin{aligned} p &= H \cos \varepsilon \left(P + \frac{\mu}{1+\mu} \cdot Q \right) \\ N &= HR \cos \varepsilon - \frac{\mu}{1+\mu} \end{aligned} \right\}, \quad (1.6.4.43)$$

სადაც P არის პრეცესიის მუდმივი, რომელიც გამოხატავს ტროპიკული წლის პერიოდში Υ დედამატოლობის წერტილის პრეცესიულ გადაადგილებას;

N — ნუტაციის მუდმივი, რომელიც გამოხატავს დედამიწის კეპლერიანი ბრუნვის ლერძის გადახრას საშუალოსაგან;

$H = \frac{C-A}{C}$ — დედამიწის დინამიკური შეკუმშულობა (C და A არის, შესაბამისად, დედამიწის ეკვატორული და პოლარული ინერციის მომენტი);

ε — ეკლიპტიკის დახრა ეკვატორთან;

P, Q, R — მთვარისა და მზის ელემენტების ცნობილი ფუნქციები;

μ — მთვარის მასა, გამოსახული დედამიწის მასის ნაწილებში (ჩვენ აღვნიშნავთ M_{20}).

როცა ცნობილია მთვარის μ მასა და დედამიწის H დინამიკური შეკუმშულობა, შეიძლება გამოვითვალოთ პრეცესიისა და ნუტაციის თეორიული მნიშვნელობები, მაგრამ პრეცესიისა და ნუტაციის დადგენა შეიძლება უძრავი

ვარსკვლავების მდებარეობის შეცვლის დაკვირვებით. ამიტომ, ჩვეულებრივ, თვით დედამიწის H დინამიკური შეკუმშულობა და მთვარის μ მასა იხაზღვრება პრეცესიისა და ნუტაციის დანაკვირვები ოდენობების საშუალებით.

პრეცესიისა და ნუტაციის მუდმივებს აქვთ შემდეგი რიცხვითი მნიშვნელობები:

$$\left. \begin{aligned} p &= -\frac{P}{\cos \epsilon} = 54'', 9275 \\ N &= 9'', 2137 \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.44)$$

ხ ი ნ კ ს ი ს მიხედვით მთვარის მასა $\mu = \frac{1}{81,53 \pm 0,047}$ ნაწილს დედამიწის მასისას.

დედამიწის დინამიკური შეკუმშულობის დასადგენად მოცემულ P , Q , R ოდენობებისათვის შეიძლება მივიღოთ რიცხობრივი კოეფიციენტებიანი შემდეგი ფორმულა:

$$H = (20529,08p - 76653,57N) \cdot 10^{-8}. \quad (1.6.4.45)$$

დედამიწის დინამიკური შეკუმშულობა დადგენილია სხვადასხვა მკვლევარის მიერ. აქ მოვიყვანთ ნ ა ჟ უ კ ო მ ბ ი ს და დ ე ს ი ტ ე რ ი ს მონაცემებს: $H = 0,0032753$, $H = 0,0032794$. მათი საშუალოა $H = 0,0032774$.

დედამიწის C და A ინერციის მომენტები შეიძლება გამოვსახოთ დედამიწის α შეკუმშულობით, თუ ცნობილი იქნება დედამიწის სიმკვრივის ცვალებადობის კანონი. ერთგვაროვანი დედამიწისათვის ეს დამოკიდებულება ადვილად მყარდება. მაგრამ, როგორც ცნობილია, დედამიწის სიმკვრივის ცვალებადობის კანონი ჯერჯერობით ზუსტად ცნობილი არ არის. ამიტომ, როგორც ცნობილია, სარგებლობენ წინა პარაგრაფებში მოხსენებული სხვადასხვა ჰიპოთეზით, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ დავადგინოთ ცოტად თუ ბევრად სინამდვილის ამსახველი დედამიწის სიმკვრივის ცვალებადობის კანონები. ამის გამო პრეცესიაზე დაკვირვების საშუალებით განსაზღვრული დედამიწის H დინამიკური შეკუმშულობით დედამიწის გეომეტრიული ფიგურის α შეკუმშულობის ზუსტად განსაზღვრა შეუძლებელია. გარდა ამისა, თვით H დინამიკური შეკუმშულობის განსაზღვრისათვის საჭიროა მთვარის მასის ცოდნა, რომელიც ცნობილია პროცენტის რამდენიმე ნაწილის სიზუსტით. მაშასადამე, პრეცესიისა და ნუტაციის დაკვირვების მეთოდით დედამიწის α შეკუმშულობის განსაზღვრა საიმედო სიზუსტით ვერ ხერხდება.

ბ. დედამიწის შეკუმშულობის განსაზღვრა მთვარის მოძრაობის უთანაბრობით

სწორი ერთგვაროვანი ან სხვადასხვა სიმკვრივის მქონე კონცენტრული ფენებისაგან შემდგარი სფეროსაგან დედამიწის ფიგურის განსხვავება იწვევს მოძრაობის დროს მთვარის პერიოდულ გადახრას ორბიტაზე სწორი მოძრაობისაგან, რასაც არათანაბრობა, ანუ შეშფოთება ეწოდება. ამ გადახრაა ამპლიტუდა დამოკიდებულია H დინამიკური შეკუმშულობის I_2 პარამეტრისაგან (მეორე რიგის ინერციის მომენტი), რომელიც გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$I_2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{C-A}{Mr^2}. \quad (1.6.4.46)$$

მთვარის მოძრაობის თეორიაში ეს გადახრები წარმოიადგინება პერიოდულ წევრებად.

ასეთი გადახრების უდიდეს ამპლიტულებს აქვთ გრძედების შემოფოთება:

$$\delta \lambda = (4360'' I_2 - 0'', 061) \sin \lambda \quad (1.6.4.47)$$

და განედის შემოფოთება:

$$\left. \begin{aligned} \delta \beta &= -(4959'' I_2 + 0'', 226) \cdot \sin L \text{ (დელიონეს მიხედვით)} \\ \delta \beta &= -(4946'' I_2 + 0'', 208) \cdot \sin L \text{ (ბროუნის მიხედვით)} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.48)$$

სადაც L არის მთვარის ორბიტის აღმავალი კვანძის საშუალო გრძედი;

L — მთვარის საშუალო ეკლიპტიკური გრძედი.

გრძედებში შემოფოთებას აქვს 18,6 წელი პერიოდი, ხოლო განედებში შემოფოთების პერიოდი 1 თვე. მეორე შემოფოთება უფრო ზუსტად დგინდება, ვიდრე პირველი და ამიტომ მას ხშირად იყენებენ I_2 -ს განსაზღვრისათვის. $\delta \beta$ -ს მნიშვნელობა შეიძლება მივიღოთ უშუალო დაკვირვებებით. მრავალ დაკვირვებათა გრძელი რიგების მათემატიკური დამუშავების შედეგად მიღებული იქნა $\delta \beta$ -მნიშვნელობები: ნაუკომბის მიხედვით $\delta \beta = -8'', 26 \pm 0'', 07$, ბროუნის მიხედვით $\delta \beta = -8'', 37 \pm 0'', 04$, მათი საშუალო კი იქნება $\delta \beta = -8'', 315 \pm 0'', 04$. თუ დაკვირვებით მიღებულ $\delta \beta$ საშუალო ოდენობას შევიტანთ (48) დამოკიდებულებებში, გამოვითვლით I_2 ორ მნიშვნელობას:

$$I_2 = 0,0016310, \quad I_2 = 0,0017232.$$

ამ ოდენობებს შეესაბამება დედამიწის პოლარული შეკუმშულობის ორი მნიშვნელობა $\alpha = 1:297,7$ და $\alpha = 1:297,0$, რომლებიც გამოთვლილი არიან ფორმულით:

$$\alpha = I_2 + \frac{1}{2}q + a^2 - \frac{1}{2}aq - \frac{3}{4}q^2,$$

სადაც q არის ეკვატორზე ცენტრიდანული ძალისა და სიმძიმის ძალის ფარდობა, გამოთვლილი ფორმულით:

$$q = \frac{Q}{g_e} = \frac{a \cdot \omega^2}{g_e} = \frac{6378245 \cdot 2\pi}{978049 \cdot 86164} = \frac{1}{288,365}.$$

დელიონეს ფორმულაში, რომ შევიტანოთ მხოლოდ ნაუკომბის მონაცემები, მივიღებთ $\alpha = 1:298,7$, ხოლო თუ ბროუნის ფორმულაში შევიტანთ მისივე მნიშვნელობებს, მაშინ $\alpha = 1:296,0$.

როგორც ვხედავთ, სწვდასხვა მონაცემისა და ფორმულის საფუძველზე ამ მეთოდით განსაზღვრული დედამიწის α შეკუმშულობების ოდენობები ურთიერთ საგარძობლად განსხვავდება. ამიტომ იგი არ ითვლება ზუსტ მეთოდად.

ამ პარაგრაფის შესავალში ამიტომ იყო აღნიშნული, რომ ხელოვნური თანამგზავრების შექმნის გამო ზუსტად შეიძლება დადგინდეს იქნეს დედამიწის დინამიკური პარამეტრები. ამავე დროს აღსანიშნავია, რომ შეიძლება განისაზღვროს I_2 -ზე მაღალი თანრიგის I_3, I_4, I_5, I_6 მომენტები. ამიტომ ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვების საშუალებით დედამიწის ფიგურის მახასიათებლების დადგენის მეთოდს დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს, რასაც შედეგებით გრცლად ქვემოთ განვიხილავთ.

**ქ. ორბიტის შეშფოთების ცნება. დედამიწის ხელოვნური
თანამგზავრების ორბიტის შეშფოთების საშუალებით დედამიწის
ფიგურის პარამეტრების განსაზღვრის საფუძვლები**

ა. ორბიტის შეშფოთების ცნება. მათემატიკური ელემენტები

ვთქვათ, ორი სხეული ერთმეორის მიმართ მოძრაობს ორი სხეულის ამოცანის კანონის გამომსახველი მოძრაობის განტოლებების შესაბამისად და მოძრაობა ხდება კონუსური კვეთილობის გზით, კერძოდ, ელიფსური ორბიტით. მესამე სხეული რომ გამოჩნდეს, მოძრაობის ხასიათი შეიცვლება. უფრო ხშირად ადგილი აქვს ისეთი მესამე სხეულის შემოქმედებას, რომლის მასა მცირეა ან დიდ მანძილზეა დაშორებული განხილავი მაგალითის ორი ძირითადი სხეულებისაგან, შედარებით ამ მთავარი სხეულების მასებთან ან მანძილებთან. მაგალითად, ასეთებია ორი სხეულის — დედამიწისა და მზის მოძრაობაზე მთავარისა და პლანეტების შემოქმედება ან სხვა პლანეტებისა და მზის მოძრაობაზე დედამიწის ზეგავლენა. გარდა ზემოთ ხსენებულისა, სწორი ხასიათის მოძრაობიდან გადახრა ხდება, როცა მოძრავი სხეულების ფორმა განსხვავდება წერტილის ან სფეროსაგან. ასე, მაგალითად, დედამიწის ეკვატორულ ამოებურ ცულობა ამახინჯებს დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ზუსტად ელიფსური ორბიტით მოძრაობას. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების სწორად მოძრაობის შეცვლა აგრეთვე შეუძლია ატმოსფეროს წინააღმდეგობას, ელექტრომაგნიტური ძალების მოქმედებას, სხივურ წნევებს და გრავიტაციულ ანომალიებს.

ორი სხეულის მოძრაობის დროს ცვალებადობას, რომელსაც იწვევს მესამე სხეულის ფორმის ან სხვა რაიმე მიზეზის შემოქმედება, შეშფოთებები ეწოდება.

პლანეტის ორბიტის ელემენტების გამოთვლა შეიძლება მოძრაობის დროს მათ მდებარეობებზე დაკვირვებებით. მაგალითად, როცა პლანეტის მოძრაობა არ შეშფოთდება, სხვადასხვა დროის მომენტებში მათ მოძრაობაზე და ნაკვირვები მასალით გამოთვლილი ორბიტის ელემენტების სისტემას ყოველთვის ერთსა და იმავეს მივიღებთ.

იმ შემთხვევაში, როცა ადგილი აქვს პლანეტის ან ხელოვნური თანამგზავრის შეშფოთებულ მოძრაობას, ორბიტის ელემენტები დროის სხვადასხვა მომენტში ცვალებადია შეშფოთების ზეგავლენით. ამ შემთხვევაში კოორდინატებისა და შემადგენელი სიჩქარეების დანაკვირვები ერთობლიობებით დროის ყოველი მომენტისათვის შეიძლება გამოვითვალოთ სრულიად გარკვეული სისტემა ორბიტის ელემენტებისა. ორბიტის ელემენტების ეს სისტემა სახლგარეს პლანეტის (ხელოვნური თანამგზავრის) მოძრაობას შემდეგი დროისათვის, თუ დროის მოცემულ მომენტში არ შეწყვიტა თავისი შემოქმედება შემაშფოთებელმა ძალამ. ასე რომ, ჩვენ შეგვიძლია გვექნეს ორბიტის ისეთი ელემენტების სისტემა, რომლებიც ზუსტად შეესაბამება პლანეტის ნამდვილ მდებარეობასა და მოძრაობას ცენტრალური სხეულის მიმართ მოცემულ მომენტში. ასეთ სისტემას, რომელიც ზუსტად შეესაბამება პლანეტის მდებარეობასა და მოძრაობას ცენტრალური სხეულის მიმართ მოცემულ მომენტში, ეწოდება მათემატიკური ელემენტების სისტემა.

როდესაც შეშფოთება რჩება მთელი დროის მანძილზე მცირე (რასაც ადგილი აქვს მზის სისტემის პლანეტებისათვის და უმრავლესობა თანამგზავრებისათვის, მათ შორის ხელოვნურებისათვისაც), მაშინ მოსკულირებელი ელემენტების სისტემა ნელა შეიცვლება. მოსკულირებელი ელემენტების ასეთ შეცვლას უწოდებენ *ორბიტის ელემენტების შეშფოთებას*.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ადგილი აქვს ცალსახა პოტენციალის (მანძილებიდან გამომდინარე) მქონე ძალას, რასაც, მოკლედ, *კონსერვატიული* შემაშფოთებელი ძალა ეწოდება, მოძრაობის (8) განტოლებებს უნდა დაემატათ ამ ძალის შემადგენლები კოორდინატთა ლერძების მიმართ.

ეს შემადგენლები აღენიშნოთ $F_x = \frac{\partial R}{\partial x}$, $F_y = \frac{\partial R}{\partial y}$, $F_z = \frac{\partial R}{\partial z}$. R -ს ეწოდება

შემაშფოთებელი, ანუ პერტურბაციული ფუნქცია და შემაშფოთებელი ძალის პოტენციალს წარმოადგენს. მაშასადამე, (8) განტოლებები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -f(1+m) \frac{x}{r^3} + \frac{\partial R}{\partial x} \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= -f(1+m) \frac{y}{r^3} + \frac{\partial R}{\partial y} \\ \frac{d^2z}{dt^2} &= -f(1+m) \frac{z}{r^3} + \frac{\partial R}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.49)$$

მართკუთხა კოორდინატებში გამოსახული შეშფოთებული მოძრაობის მეორე რიგის სამი დიფერენციალური განტოლება შეიძლება გარდაქმნილ იქნეს ორბიტის ელემენტებით გამოსახული პირველი რიგის ექვსი დიფერენციალური განტოლებების სახით. განტოლებების ასეთ სისტემას *ლაგრანჟის განტოლებები* ეწოდება. ეს გარდაქმნები მოყვანილია ციური მექანიკის სახელმძღვანელოებში.

დელამიწის ფიგურის შესწავლისათვის იყენებენ *ლაგრანჟის ტოლობებიდან* ორს: აღმავალი კვანძის \mathcal{L} გრძელის ცვალებადობისა და პერიგეუმის π განედის ცვალებადობის (წარმოებულის) შემდეგ განტოლებას:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{L}' &= \frac{1}{na^2\sqrt{1-e^2} \cdot \sin i} \cdot \frac{\partial R}{\partial i} \\ \pi' &= \frac{\operatorname{tg} \frac{i}{2}}{na^2\sqrt{1-e^2}} \cdot \frac{\partial R}{\partial i} + \frac{\sqrt{1-e^2}}{na^2e} \cdot \frac{\partial R}{\partial e} \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.50)$$

ბ. აღმავალი კვანძისათვის ლაგრანჟის განტოლების გამოყვანა

მოვიყვანოთ ციურ მექანიკაში მიღებული წესის მიხედვით (50) დამოკიდებულებების პირველი ტოლობის, ანუ აღმავალი კვანძისათვის ლაგრანჟის განტოლების გამოყვანის მაგალითი. ამისათვის ვისარგებლოთ ფართობე-

ბის ინტეგრალის (42) ტოლობებით. გავყოთ მეორე ტოლობა მესამეზე, მივიღებთ:

$$\lg \mu = \frac{y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt}}{x \frac{dz}{dt} - z \frac{dx}{dt}} = \frac{y z' - z y'}{x z' - z x'} \quad (1.6.4.51)$$

მიღებული განტოლება გავადიფერენციალოთ t -ით

$$\sec^2 \mu \cdot \mu' = \frac{d}{dt} \left(\frac{y z' - z y'}{x z' - z x'} \right) = \frac{(y z'' - z y'')(x z' - z x') - (y z' - z y')(x z'' - z x'')}{(x z' - z x')^2}$$

(42) ტოლობების გამოყენებით დავწერთ;

$$\sec^2 \mu \mu' = \frac{(y z'' - z y'') \cdot \cos \mu - (x z'' - z x'') \cdot \sin \mu}{\sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} \cdot \sqrt{p} \cdot \sin i \cdot \cos^2 \mu}$$

კოორდინატა მეორე წარმომებულები შევცვალოთ (49) ტოლობებში მიღებული მათი მნიშვნელობებით

$$\mu' = \frac{\left(y \frac{\partial R}{\partial z} - z \frac{\partial R}{\partial y} \right) \cos \mu - \left(x \frac{\partial R}{\partial z} - z \frac{\partial R}{\partial x} \right) \sin \mu}{\sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} \cdot \sqrt{p} \cdot \sin i} \quad (1.6.4.52)$$

მართკუთხა კოორდინატები გამოვსახოთ სფერული კოორდინატებით

$$\left. \begin{aligned} x &= r(\cos u \cdot \cos \mu - \sin u \cdot \sin \mu \cdot \cos i) \\ y &= r(\cos u \cdot \sin \mu + \sin u \cdot \cos \mu \cdot \cos i) \\ z &= r \cdot \sin u \cdot \sin i \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.53)$$

ამ კოორდინატების (52) ტოლობაში შეტანით მივიღებთ:

$$\mu' = \frac{1}{\sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} \sqrt{p} \cdot \sin i} \left(\frac{\partial R}{\partial x} r \cdot \sin u \cdot \sin \mu \cdot \sin i - \frac{\partial R}{\partial y} r \cdot \sin u \cdot \cos \mu \cdot \sin i + \frac{\partial R}{\partial z} r \cdot \sin u \cdot \cos i \right) \quad (1.6.4.54)$$

(54)-ში მარჯვენა მხარის შესაკრებები, შესაბამისად, წარმოადგენს (53)-ის კერძო წარმომებულებს i არგუმენტით:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial i} &= r \cdot \sin u \cdot \sin \mu \cdot \sin i, \\ \frac{\partial y}{\partial i} &= -r \cdot \sin u \cdot \cos \mu \cdot \sin i, \\ \frac{\partial z}{\partial i} &= r \cdot \sin u \cdot \cos i. \end{aligned}$$

ამ მნიშვნელობების (54)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$\mu' = \frac{1}{\sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} \sqrt{p} \cdot \sin i} \left(\frac{\partial R}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial i} + \frac{\partial R}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial i} + \frac{\partial R}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial i} \right), \quad (1.6.4.55)$$

ახუ რთული ფუნქციის წარმოებულის ცნების შესაბამისად გვექნება:

$$\mathcal{L}' = \frac{1}{\sqrt{f}\sqrt{1+m}\sqrt{p}\sin i} \cdot \frac{\partial R}{\partial i} \quad (1.6.4.56)$$

(38) დამოკიდებულება გადავწეროთ ასე:

$$\sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m} = na\sqrt{a}.$$

გავმრავლოთ ეს ტოლობა \sqrt{p} -ზე. გავიხსენოთ, რომ $p = a(1 - \epsilon^2)$ (იხ. I/ტოლ.),

$$\text{ე. ი. } \sqrt{f} \cdot \sqrt{1+m}\sqrt{p} = na\sqrt{a}\sqrt{p} = na\sqrt{a}\sqrt{a(1-\epsilon^2)} = na^2\sqrt{1-\epsilon^2},$$

სადაც n არის საშუალო კუთხური მოძრაობა. მაშასადამე, (56) გადაიწერება:

$$\mathcal{L}' = \frac{1}{na^2\sqrt{1-\epsilon^2} \cdot \sin i} \cdot \frac{\partial R}{\partial i} \quad (1.6.4.56')$$

ეს კი ეკლიპტიკური გრძედის ცვალებადობის (50) განტოლებაა.

- რ. ზოგიერთი მოსაზრება დედამიწის ფორმის დადგენისათვის ხაჭირო პარამეტრების შესახებ, რომლებიც ინაზღვრებიან დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებების შედეგად.
განტოლებების შეჩვენება

მართკუთხა კოორდინატებში გამოსახული შემფოთებული მოძრაობის მეორე რიგის დიფერენციალური (49) განტოლებები ან ლაგრანჟის (50) განტოლებები კავშირს ამყარებს ორბიტის ელემენტების ცვალებადობასა და მათ შემაშფოთებელ ფაქტორს, მაგალითად, დედამიწის შეკუმშულობას შორის, რომელიც შედის ტოლობებში R შემაშფოთებელი, ანუ პერტურაციული, ფუნქციის საშუალებით. პერტურაციული R ფუნქციის არსებობა ცვლის თანამგზავრის ორბიტის ხასიათს, სახელდობრ ცვალებადობას განიცდის ორბიტის ელემენტები. ორბიტის ელემენტების ასეთი ცვალებადობა, ანუ ელემენტების შემფოთება, შეიძლება იყოს პერიოდული, საუკუნეობრივი და შეჩვეული.

ელემენტების, ვთქვათ, კვანძის პერიოდული შემფოთება, გამოწვეული დედამიწის შეკუმშულობისაგან, შემდეგი ტოლობის შესაბამისი ხასიათისაა:

$$\Delta \mathcal{L} = f(I_2) \sin \nu t, \quad (1.6.4.57)$$

სადაც ფუნქცია $f(I_2)$ არის ყოველთვის მცირე ოდენობის. დროის გარკვეულ მონაკვეთში, როცა $\sin \nu t$ ფუნქციის ოდენობა იცვლება $+1$ -სა და -1 -ის შორის, კვანძის \mathcal{L} გრძედი იცვლება $2f(I_2)$ ოდენობით. ასეთი ცვალებადობა იქნება პერიოდული, ანუ კვანძის \mathcal{L} გრძედი დროის მსვლელობაში პერიოდულად მიიღებს თავის საწყის რიცხვით მნიშვნელობას.

საუკუნეობრივი შემფოთების შესაბამისი ხასიათის გამომსახველი ფუნქციაა:

$$\Delta \mathcal{L} = f(I_2)t. \quad (1.6.4.58)$$

აქ შემფოთების ოდენობა იზრდება დროის მიხედვით და როგორი მცირეც არ უნდა იყოს $f(I_2)$ ფუნქცია t -ს დიდი მნიშვნელობის შემთხვევაში $\Delta \mathcal{L}$ შემფოთების ოდენობა იქნება საკმარისად დიდი. ზემოაღნიშნულის გამო და-

ლების, ე. ი. შემაშფოთებელი სხეულის პარამეტრების დახასიათება უფრო საიმედოა ვაწარმოთ ელემენტების საუკუთნობრივი შემოფოთებით. სახელდობრ, ზემოთ აღნიშნული იყო მიზეზი იმისა, რომ არადამაკმაყოფილებელი გამოდგა დედამიწის შეკუმშულობის განსაზღვრა მთვარის მოძრაობის არათანაბრობით [(46), (48) ფორმულებით], რომელსაც აქვს პერიოდული ხასიათი.

როგორც აღვნიშნეთ, იმის შემდეგ, რაც გაშვებულ იქნა დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრები, დედამიწის ფიგურის ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრის საქმეში ასტრონომიული ხერხი წარმატებით უწევს კონკურენციას გრავიმეტრიულ მეთოდს. ხელოვნური თანამგზავრების ორბიტების შემოფოთებები საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ არა მარტო დედამიწის α შეკუმშულობა, არამედ კიდევ უფრო მეტი მალალი რიგის მახასიათებლები (I_2 , I_3 - დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ორბიტები არსებითად განსხვავდება დედამიწის ბუნებრივი თანამგზავრის (მთვარის) ორბიტისაგან ხელოვნური თანამგზავრების დედამიწიდან დიდი სიახლოვისა და მათი ორბიტის დიდი დახრის გამო. ხელოვნური თანამგზავრების ორბიტების ძირითადი შემოფოთებების მიზეზებია: დედამიწის შეკუმშულობა; ბრუნვის ელიფსოიდიდან დედამიწის ფიგურის გადახრა, ანუ დედამიწის გრავიტაციული ველის უსწორმასწორობა; მთვარის მიზიდულობის ზეგავლენა და ჰაერის წინააღობა.

დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებების საშუალებით დედამიწის ფიგურის დადგენის საკითხის მოხერხებულ (ხელშემწყობ) მდგომარეობად ითვლება ის, რომ ჰაერის წინააღმდეგობით გამოწვეულ გრავიტაციულ შემოფოთებას მთვარისა და სხვა პლანეტების მიზიდულობის გამო გამოწვეულ შემოფოთებასთან შედარებით აქვს განსხვავებული ხასიათი. ასე, მაგალითად, ატმოსფეროს წინააღმდეგობა იწვევს ორბიტის შეკუმშვას ისე, რომ უახლოვდება წრიულს, მაგრამ კევანძის გრძელს არ სცვლის. დედამიწის შეკუმშულობა იწვევს ორბიტის სიბრტყის ბრუნვას დედამიწის ბრუნვის ღერძის მიმართ, ანუ კევანძის გადაადგილებას ორბიტაზე. ეს გადაადგილება ხდება თანამგზავრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით და ეწოდება კევანძის რეგრესიას. ამავე დროს ხდება ორბიტის სიბრტყის ბრუნვა თავის ღერძის გარშემო ა სიჩქარით (პერიოდეუმის არგუმენტის სიჩქარის შეცვლა). თანამგზავრის მოძრაობის ამდაგვარი შემოფოთება წარმოადგენს საუკუნობრივ შემოფოთებებს და გამოწვეულია დედამიწის გრავიტაციული ველის ზონალური არაერთგვაროვნობით. ამიტომ დედამიწის ფიგურის დადგენისათვის საჭიროა ვისარგებლოთ „ს“ კევანძის გრძელისა და „ π “ პერიოდეუმის გრძელის წარმოებულების ცვალებადობის გამომსახველი (50) ტოლობებით. გარდა ზემოხსენებულ მოვლენებისა, ადგილი აქვს ორბიტის ზოგიერთ მოკლეპერიოდულ შემოფოთებებს, რომლებიც ხდება ერთი გარემოქცევის პერიოდში და რომელთაც იწვევს გრავიტაციული ველის უფრო მცირე არაერთგვაროვნობა. ეს შემოფოთებები გასაზომად შეტად მცირეა, და ბოლოს, შეიძინევა გრძელი პერიოდული ცვალებადობა იმავე პერიოდით, როგორც აქვს თანამგზავრის ორბიტის აბსციდების ხაზის ბრუნვას. ეს უკანასკნელები საშუალებას გვაძლევს განსაზღვრულ იქნეს დედამიწის გრავიტაციული ველის მესამე და მეხუთე (I_3 და I_5) ჰარმონიკები.

დ. კვანძის გრძელის შემფოთებაზე ატმოსფეროს წინააღმდეგობის გავლენა

დედამიწისადმი ახლო განლაგებული თანამგზავრები, რომლებიც განიცდიან დედამიწის ფიგურისაგან გამოწვეულ მაღალი ხარისხის შემფოთებებს, ონადროულად განიცდიან დიდ შემფოთებებს ატმოსფეროს წინააღმდეგობისაგანაც. წინა მუხლში აღნიშნული იყო, რომ ატმოსფეროს წინააღმდეგობა გავლენას არ ახდენს კვანძის გრძელზე. ამის დასამტკიცებლად გამოვიყენოთ (54) ტოლობა და მივიღოთ, რომ პერტურბაციული ფუნქცია იქმნება ჰაერის წინააღმდეგობის შედეგად. აგრეთვე (54) ტოლობაში ფრჩხილების წინა გამოსახულების მნიშვნელი შევცვალოთ (56)-დან, მივიღებთ:

$$\frac{dJ}{dt} = \frac{r \cdot \sin u}{na^2 \sqrt{1-e^2} \cdot \sin i} (F_x \cdot \sin \lambda \cdot \sin i - F_y \cos \lambda \cdot \sin i + F_z \cos i), \quad (1.6.4.57)$$

სადაც F_x , F_y , F_z — ატმოსფეროს წინააღმდეგობის ძალის პროექციებია კოორდინატთა ღერძებზე.

ატმოსფეროს წინააღმდეგობის F ძალა ყოველთვის თანამგზავრის ორბიტის მხეში მიმართულებისაა და აღინიშნება F_r სიმბოლოთი. ამ ძალის პროექცია კოორდინატთა ღერძებზე იქნება:

$$\begin{aligned} F_x &= F_r \cdot \cos(x\tau) = F_r \cdot \frac{\xi'}{\nu}, \\ F_y &= F_r \cdot \cos(y\tau) = F_r \cdot \frac{\eta'}{\nu}, \\ F_z &= F_r \cdot \cos(z\tau) = F_r \cdot \frac{\zeta}{\nu}, \end{aligned} \quad (1.6.4.60)$$

სადაც ν არის თანამგზავრის მოძრაობის სრული სიჩქარე, წარმოებულები ξ' , η' , ζ — თანამგზავრის მოძრაობის სრული სიჩქარის მდგენელები კოორდინატთა ღერძებზე, რომლებიც დაკავშირებული არიან თანამგზავრთან.

(60) დამოკიდებულებიდან F_x , F_y , F_z მნიშვნელობები შევიტანოთ (59) ტოლობაში:

$$\frac{dJ}{dt} = \frac{r \cdot \sin u}{na^2 \sqrt{1-e^2} \cdot \sin i} \cdot \frac{F_r}{\nu} (\xi' \sin \lambda \cdot \sin i - \eta' \cos \lambda \sin i + \zeta \cos i). \quad (1.6.4.61)$$

ანალოგიურად (53) ტოლობებისა (61) ტოლობის ξ , η , ζ განისაზღვრება შემდეგი ტოლობებით:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= r(\cos u \cdot \cos \lambda - \sin u \cdot \sin \lambda \cdot \cos i) \\ \eta &= r(\cos u \cdot \sin \lambda + \sin u \cdot \cos \lambda \cdot \cos i) \\ \zeta &= r \sin u \cdot \sin i \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.62)$$

გავაწარმოთ თანამგზავრთან დაკავშირებულ კოორდინატთა ღერძებზე

თანამგზავრის სრული სიჩქარის ξ , η , ζ მდგენელები, როგორც r და u ცვლადი ფუნქციები t დროის მიხედვით, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \xi' &= r'(\cos u \cdot \cos \mu - \sin u \cdot \sin \mu \cos i) + \\ &+ ru'(-\sin u \cdot \cos \mu - \cos u \cdot \sin \mu \cos i) \\ \eta' &= r'(\cos u \cdot \sin \mu + \sin u \cdot \cos \mu \cos i) + \\ &+ ru'(-\sin u \cdot \sin \mu + \cos u \cdot \cos \mu \cos i) \\ \zeta &= r' \cdot \sin u \cdot \sin i + ru' \cdot \cos u \cdot \sin i \end{aligned} \right\} \quad (1.6.4.63)$$

მიღებული მნიშვნელობები ჩავსვამთ (61) ტოლობაში, მივიღებთ:

$$\frac{d\mu}{dt} = 0, \text{ ანუ } \mu = \mu_0. \quad (1.6.4.64)$$

მაშასადამე, ატმოსფეროს წინააღმდეგობა გაავლენას არ ახდენს კვანძის გრძედის ცვალებადობაზე და მუდამ სავსისი μ_0 მნიშვნელობის ტოლია.

ე. ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებების შედეგად დედამიწის გრავიტაციული ველის პარამეტრების განსაზღვრის ძირითადი ფორმულები

დედამიწის გრავიტაციული ველის პარამეტრების განსაზღვრაში ივულისებება დედამიწის ფიგურის პარამეტრების განსაზღვრა ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვების შედეგად μ კვანძის ან π პერიოდუმის გრძედის ცვალებადობის დადგენის გზით. ამისათვის (50) ტოლობებში R პერტურბაციულ ფუნქციად უნდა იქნეს მიღებული u დედამიწის შემაშფოთებელი ძალის მიზიდულობის პოტენციალი. მაშასადამე, დედამიწის გრავიტაციული პოტენციალის ზონალური პარამონიკები შეიძლება დავწეროთ:

$$U = \frac{fM}{r} \left(\frac{R}{r} - \sum_{n=2}^{\infty} I_n \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1} P_n(\cos \Theta) \right), \quad (1.6.4.65)$$

სადაც f არის გრავიტაციული მუდმივა,

M — დედამიწის მასა,

R — დედამიწის ეკვატორული რადიუსი,

r — მანძილი დედამიწის ცენტრიდან თანამგზავრამდე (თანამგზავრის რადიუს-ვექტორი),

I_n — მუდმივები, რომლებიც ახასიათებენ დედამიწის გრავიტაციული ველის ზონალურ პარამონიკებს,

n — საშუალო კუთხური მოძრაობა,

Θ — მართკუთხა სფერული სამკუთხედის კათეტი, (7) ნახაზი,

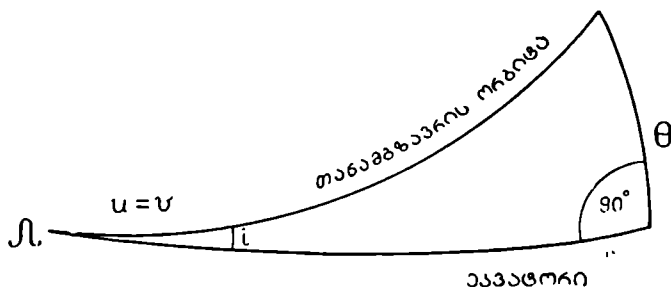
P_n — სფერული პოლინომები (ლეჟანდრეს პოლინომები).

როცა ეკვატორული სიბრტყე შერჩეულია ისე, რომ ის გადის დედამიწის მასის ცენტრში, მაშინ $I_1 = 0$. თუ (65) დამოკიდებულების ჯამს დავშლით მწკრივად და შევიწარმოებთ დაშლის პირველ წევრებს და გავარკვევთ P_n

სფერული პოლინომების მნიშვნელობებს, მაშინ დედამიწის გრავიტაციული პოტენციალი გამოისახება ასე:

$$U = \frac{fM}{R} \left(\frac{R}{r} + \frac{1}{2} I_2 \frac{R^2}{r^3} (1 - 3 \cos^2 \Theta) - \frac{1}{8} I_4 \frac{R^4}{r^5} (35 \cos^4 \Theta - 30 \cos^2 \Theta + 3) \right). \quad (1.6.4.66)$$

I_2 განსაზღვრული უნდა იქნეს (65) დამოკიდებულებიდან, ანუ I_2 და I_4 — (66) ტოლობიდან. ეს მომენტები წარმოადგენს დედამიწის დინამიკურ მახასიათებლებს. R პერტურბაციულ ფუნქციას წარმოადგენს (65) და (66) დამოკიდებულებები პირველი წევრების გარეშე. როდესაც საჭიროა განსაზღვრულ იქნეს მხოლოდ დედამიწის შეკუმშულობა, მაშინ საჭიროა განვიხილოთ ხელოვნური თანამგზავრის მოძრაობის შემოთავაზება მეორე ზონალური ჰარმონიკისაგან. ამ შემთხვევაში R პერტურბაციულ ფუნქციად



ნახ. 1. 6. 4. 7.

საჭიროა მივიღოთ (66) ტოლობის მეორე წევრი, რომელსაც შემდეგი სახით დავწერთ:

$$R = \frac{f M I_2 R^3}{r^3} \left(\frac{3}{2} \sin^2 \Theta - \frac{1}{2} \right). \quad (1.6.4.67)$$

პერტურბაციული ფუნქციის ეს მნიშვნელობა გავაწარმოთ i -თი და შევიტანოთ (54) ტოლობაში. ამისათვის კი $\sin \Theta$ გამოვსახოთ i ორბიტის დახრის საშუალებით (ნახ. 7).

(1.2.8.9) ტოლობის მიხედვით (7) ნახაზის შესაბამისად დავწერთ:

$$\sin \Theta = \sin u \cdot \sin i, \quad (1.6.4.68)$$

ე. ი. (67) ტოლობა ასე გადაიწერება:

$$R = \frac{f M I_2 R^3}{r^3} \left(\frac{3}{2} \sin^3 u \cdot \sin^2 i - \frac{1}{2} \right),$$

ხოლო გაწარმოებით

$$\frac{\partial R}{\partial i} = \frac{3 f M I_2 R^3}{r^3} \cdot \sin^3 u \cdot \sin i \cdot \cos i.$$

მაშასადამე, (50) ტოლობა მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\mathcal{L}' = \frac{d\mathcal{L}}{dt} = \frac{1}{na^2 \sqrt{1-e^2} \cdot \sin i} \cdot \frac{3f M I_2 R^3}{r^3} \cdot \sin^3 u \cdot \sin i \cdot \cos i. \quad (1.6.4.69)$$

ჩვეულებრივ, გაწარმოება ხდება არა t დროის, არამედ v კეპლერის ანომალიის მიხედვით. ამიტომ $\frac{d\mathcal{L}}{dt}$ შევცვალოთ $\frac{d\mathcal{L}}{dv}$ -ით. ამისათვის (20) ტოლობებიდან მივიღებთ:

$$\frac{du}{dt} = \frac{c}{r^3},$$

რაც ასე შეიძლება დაიწეროს:

$$\frac{du}{dt} = \frac{dv}{dt} = \sqrt{fMp} \cdot r^{-3}, \text{ საიდანაც } dt = \frac{r^3}{\sqrt{fMp}} dv;$$

აქ (29) ტოლობაში c -ს მნიშვნელობად $\sqrt{f(1+m)p}$ -ის ნაცვლად მიღებულია \sqrt{fMp} . (69) დამოკიდებულებაში dt მნიშვნელობის შეტანით მივიღებთ:

$$\frac{d\mathcal{L}}{dv} = \frac{r^3}{na^2 \sqrt{1-e^2} \cdot \sin i \sqrt{fMp}} \cdot \frac{3f M I_2 R^3}{r^3} \cdot \sin^3 u \cdot \sin i \cdot \cos i. \quad (1.6.4.70)$$

გამოვიყენოთ (1) ტოლობიდან $p = a(1-e^2)$, (38) ტოლობიდან $u = \sqrt{f} \times \frac{\sqrt{1+m}}{a^{3/2}} = \sqrt{f} \cdot \frac{\sqrt{M}}{a^{3/2}}$ და ჩავწეროთ (70) ტოლობაში, მივიღებთ

$$\frac{d\mathcal{L}}{dv} = \frac{3I_2 R^3}{p} \cdot \frac{\sin^3 u \cdot \cos i}{r}. \quad (1.6.4.71)$$

აქ თუ (1) ტოლობიდან შევიტანთ $r = \frac{p}{1+e \cos v}$ და (28) ტოლობიდან $u = v + \omega$, მივიღებთ:

$$\frac{d\mathcal{L}}{dv} = \frac{3I_2 R^3}{p^2} (1+e \cos v) \cos i \cdot \sin^3(v+\omega). \quad (1.6.4.72)$$

ჩვენ გვინტერესებს კვანძის გრძედის ცვალებადობის ნამატი (ჯამი) და არა მისი პერიოდული რხევა. ამიტომ (72) ტოლობაში უგულებელვყოთ პერიოდული წევრი, რომელშიც არის $\cos v$, მივიღებთ:

$$\frac{d\mathcal{L}}{dv} = \frac{3I_2 R^3}{p^2} \cdot \cos i. \quad (1.6.4.73)$$

ამ გამოსახულების ინტეგრირებით დაიწერება:

$$\mathcal{L} - \mathcal{L}_0 = \frac{3I_2 R^3}{p^2} \cdot \cos i v, \quad (1.6.4.74)$$

სადაც \mathcal{L}_0 — ინტეგრების მუდმივია (კერძოდ კი ის კვანძის გრძედის საწყისი მნიშვნელობაა).

(74) ტოლობა წარმოადგენს იმ ძირითად ფორმულას, რომელიც აკავშირებს კვანძის გრძედს დედამიწის შექუშულობასთან (I_2 მომენტის საშუალო

ბით). ამავ დროს, ეს ტოლობა გვიჩვენებს, რომ კვანძის გრძელი დეცლება v ჰერმარიტი ანომალიის, ანუ თანამგზავრის გარემოქცევის რაოდენობის, პროპორციულად (ნახ. 1).

კვანძის შეფოთებისა და პერიგეუმის გრძელის გამოსათვლელად არსებობს სხვადასხვა ფორმულა. ამ გამოყენების გარეშე მოვიყვანოთ კინგხილის ფორმულას, რომელიც მოიცავს დაშლის მაღალ ჰარმონიკებს. ამ ფორმულებში შემოკლების მიზნით შემოტანილია აღნიშვნა $p = a(1 - e^2)$ [(1) ფორმულა]:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}' = & - \left(\frac{fM}{a^3} \right)^{1/2} \left(\frac{R}{r} \right)^2 \cdot \cos i \left\{ \frac{3}{2} I_2 - \frac{3}{2} I_3 \frac{R}{p} \cdot \frac{e \cdot \sin \omega}{\sin i} \left(1 - \frac{15}{4} \sin^2 i \right) \right. \\ & - \frac{15}{4} I_4 \left(\frac{R}{p} \right)^2 \left[\left(1 - \frac{7}{4} \sin^2 i \right) \left(1 + \frac{3}{2} e^2 \right) + \left(\frac{7}{4} \sin^2 i - \frac{3}{4} \right) e^2 \cos^2 \omega \right] + \\ & + \frac{15}{4} I_5 \left(\frac{R}{p} \right)^3 e \operatorname{cosec} i \left[\left(1 - \frac{21}{2} \sin^2 i + \frac{105}{8} \sin^4 i \right) \left(1 + \frac{3}{4} e^2 \right) \sin \omega + \right. \\ & + \left. \frac{7}{8} \left(1 - \frac{15}{8} \sin^2 i \right) e^2 \sin 3\omega \right] + \frac{105}{16} I_6 \left(\frac{R}{p} \right)^4 \left[\left(1 - \frac{9}{2} \sin^2 i + \frac{33}{8} \sin^4 i \right) \times \right. \\ & \times \left. \left(1 + 5e^2 + \frac{15}{8} e^4 \right) - \frac{5}{2} \left(1 - 6 \sin^2 i + \frac{99}{16} \sin^4 i \right) \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \right) e^2 \cos 2\omega - \right. \\ & - \left. \frac{15}{32} \left(1 - \frac{33}{20} \sin^2 i \right) \sin^2 i \cdot e^4 \cdot \cos^4 \omega \right] - \frac{315}{32} I_8 \left(\frac{R}{p} \right)^6 \left(1 - \frac{33}{4} \sin^2 i + \right. \\ & + \left. \frac{143}{8} \sin^4 i - \frac{715}{64} \sin^6 i \right) + O(I_7, I_8 e^2, I_9, \dots) - \frac{9}{4} I_9^2 \left(\frac{R}{p} \right)^2 \times \\ & \times \left. \left(1 - \frac{19}{12} \sin^2 i \right) + O(I_2^2 e^2, I_2 I_3, I_3 I_4, \dots) \right\}. \quad (1.6.4.75) \end{aligned}$$

ანალოგიურად:

$$\begin{aligned} \omega' = & \left(\frac{fM}{a^3} \right)^{1/2} \left(\frac{R}{p} \right)^2 \left\{ 3I_2 \left(1 - \frac{5}{4} \sin^2 i \right) + \frac{3}{2} I_3 \frac{R}{p} \cdot \frac{\sin i \cdot \sin \omega}{e} \left[1 - \right. \right. \\ & - \left. \frac{5}{4} \sin^2 i + e^2 \left(\frac{35}{4} - \frac{35}{4} \sin^2 i - \frac{1}{\sin^2 i} \right) \right] - \frac{15}{2} I_4 \left(\frac{R}{p} \right)^2 \left[1 - \frac{31}{8} \sin^2 i + \right. \\ & + \left. \frac{49}{16} \sin^4 i + \sin^2 i \cdot \cos 2\omega \left(\frac{3}{8} - \frac{7}{16} \sin^2 i \right) \right] - \frac{15}{4} I_5 \left(\frac{R}{p} \right)^3 \frac{\sin i \cdot \sin \omega}{e} \times \\ & \times \left(1 - \frac{7}{2} \sin^2 i + \frac{21}{8} \sin^4 i \right) + \frac{105}{8} I_6 \left(\frac{R}{p} \right)^4 \left[1 - 8 \sin^2 i + \frac{129}{8} \sin^4 i - \right. \\ & - \left. \frac{297}{32} \sin^6 i \right] + \left(\frac{5}{4} - \frac{15}{4} \sin^2 i + \frac{165}{64} \sin^4 i \right) \sin^2 i \cdot \cos 2\omega - \\ & - \frac{315}{4} I_8 \left(\frac{R}{p} \right)^6 \left(1 - \frac{331}{32} \sin^2 i + \frac{2057}{64} \sin^4 i - \frac{19887}{512} \sin^6 i + \right. \\ & + \left. \frac{16445}{1024} \sin^8 i \right) + O(I_4 e^2, I_4 e^4, I_5 e^2, I_7, I_8 \cos 2\omega, I_8 e^2, I_9, I_{10}) + \\ & + O(I_9^2, I_2 I_3, \dots) \left. \right\}. \quad (1.6.4.76) \end{aligned}$$

მოყვანილ ფორმულებში 0 სიმბოლოთი აღნაშნულია მაღალი რიგის მცირე ოდენობების ზოგიერთი ფუნქცია.

იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა მხოლოდ დედამიწის შეკუმშულობის განსაზღვრა, მაშინ (75) და (76) ტოლობები მარტივდება და გადაიწერება ასე:

$$\mathcal{J}' = - \left(\frac{fM}{a^3} \right)' \left(\frac{R}{\rho} \right)^2 \cos i \cdot \frac{3}{2} I_2, \quad (1.6.4.77)$$

და

$$\omega' = \left(\frac{fM}{a^3} \right)' = \left(\frac{R}{\rho} \right)^2 \cdot 3I_2 \left(1 - \frac{5}{4} \sin^2 i \right). \quad (1.6.4.76)$$

\mathcal{J}' და ω' ისახლკება ხელუენუ თანამგზავრებზე დაკვირვების შედეგად; I_2 ისახლკება ორბიტის ცნობილი ელემენტებით და R და $\frac{fM}{a^3}$ სიდიდეებით, სადაც a არის ორბიტის დიდი ნახევარღერძი, R დედამიწის ეკვატორული რადიუსი, ხოლო $\rho = a(1 - e^2)$.

f. დედამიწის გრავიტაციული ველის რიცხობრივი მახასიათებლები, რომლებიც მიღებული არიან ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებებით

ამ ბოლო ხანებში შესრულებულია რიგი ცდებისა, რათა ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებებით განსაზღვრული ყოფილიყო არა მარტო დედამიწის შეკუმშულობა, არამედ უფრო მაღალი პარამონიკები. მაგრამ, მაღალი I_2, I_3, I_4 პარამონიკების კოეფიციენტები ისახლკება ძლიერ არასაიმედოდ. ზუსტად მათი განსაზღვრისათვის საჭიროა დაახლოებითი ცოდნა უფრო მაღალი I_4, I_5, I_6 პარამონიკებისა. უფრო საიმედოდ ისახლკება I_4 -ის ლუწი მნიშვნელობები \mathcal{J}' კვანძის გრძედის კუკრესიაზე დაკვირვებით, ვიდრე ω' -თი, რადგანაც \mathcal{J}' -ს ვილებთ უშუალოდ დაკვირვებით, ხოლო ω' ისახლკება არაპირდაპირი გზით. მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა e ექსცენტრისიტეტი არის დიდი და პერის წინააღმდეგობა მცირე, მაშინ ω' ისახლკება იმავე სიზუსტით, როგორც \mathcal{J}' . ამ პირობების შესაბამის მაგალითს წარმოადგენს ამერიკული თანამგზავრი ა ე ა ნ გ ა რ დ 1.

ჩვენ ვნახეთ, რომ (75), (76) განტოლებებში შედის i დახრილობის შესაბამისი სხვადასხვა ტრიგონომეტრიული ფუნქციები. ამიტომ ხელოვნური თანამგზავრებზე დაკვირვებით დედამიწის ველის პარამეტრების განსაზღვრის დროს უნდა ვისარგებლოთ ისეთი თანამგზავრებით, რომელთა i დახრილობანი (75), (76) განტოლებებში არ გამოიწვევენ არახელსაყრელ პირობებს. ის თანამგზავრები, რომელთა ორბიტის i დახრილობა უახლოვდება 90° -ს, როგორც არის, მაგალითად, ამერიკული თანამგზავრე დისკავერე 2, უყარვისა დედამიწის გრავიტაციული ველის პარამეტრების განსაზღვრისათვის, რადგანაც მათთვის \mathcal{J}' ხდება ნულის ტოლი.

რამდენიმე თანამგზავრზე დაკვირვებით დედამიწის გრავიტაციული ველის პარამეტრების განსაზღვრის დროს სჯობს თანადროულად ვისარგებლოთ სხვადასხვა (ურთიერთგანსხვავებულ) დახრილობის მქონე თანამგზავრებით. ხელოვნური თანამგზავრების გაშუების პირველ წლებში მნიშვნელოვანი რაოდენობის

დენობის განსაზღვრები იყო შესრულებული დედამიწის ფიგურის პარამეტრების დადგენისათვის. აქ მოვიყვანთ მხოლოდ (3) და (4) ცხრილებს.

ცხრილი 1.6.4.3.

აეტორი	წელი	თანამგზავრი	$I_2 \cdot 10^6$	$I_4 \cdot 10^6$	$I_6 \cdot 10^6$
ააკია	1958	II საბჭოთა ავანგარდი I	1032,7	-2	-
კინგ-ხილ, მერსონი	1959	II საბჭოთა ავანგარდი I ექსპლორერი 4	$1093,1 \pm 0,2$	$-1,4 \pm 0,2$	$-0,1 \pm 1,5$
კინგ-ხილი	1959	-	$1093,0 \pm 0,2$	$-1,3 \pm 0,2$	$-0,1 \pm 1,5$
უნგოლოვიჩი	1960	II საბჭოთა III საბჭოთა	$1083,3 \pm 0,7$	$-4,1 \pm 0,7$	-
ზე.ბარი	1960	-	$1083,0 \pm 0,4$	$-1,1 \pm 0,5$	-
კოზაი	1960	-	$1082,19 \pm 0,09$	$-2,1 \pm 0,1$	-
კინგ-ხილი	1960	II საბჭოთა ექსპლორერი 7	$1082,79 \pm 0,15$	$-1,4 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,8$
კოზაი	1962	-	$1082,47 \pm 0,06$	$-1,84 \pm 0,009$	$0,99 \pm 0,009$

ცხრილი 1.6.4.4.

აეტორი	წელი	თანამგზავრი	I_3	I_6
ოკიფი, კელსი და სკეიარი	1959	ავანგარდი I	$-2,4 \pm 0,2 \cdot 10^{-6}$	=
კოზაი	1959	ავანგარდი I	$-2,2 \pm 0,1$	-
ოკიფი და სხეები	1959	-	$-2,4 \pm 0,3$	$-0,1 \pm 0,1$
უნგოლოვიჩი	1960	I, II, III საბჭოთა	$-2,0 \pm 0,3$	-
კოზაი	1960	ავანგარდი I	$-2,29 \pm 0,02$	$-2,3 \pm 0,2$
კოზაი	1962	-	$-2,556 \pm 0,012$	$-0,063 \pm 0,019$

დედამიწის შეკუმშულობისა და I_2 კოეფიციენტის გამოსათვლელად ვსარგებლობთ ფორმულით:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(3I_2 + \frac{R\omega^2}{g_s} (1-a) \right) \left(1 + \frac{3}{4} I_2 + \frac{3}{8} \frac{R\omega^2}{g_s} (1-a) \right). \quad (1.6.4.79)$$

როცა $I_2 = 1,082,79$, მაშინ $\alpha = 1:298,24 \pm 0,02$, რაც ძლიერ ახლოა კრასოვსკის ელიფსოიდისა და ჰელმერტის გრავიმეტრიულ შეკუმშულობასთან.

Handwritten signature or mark

1.6.5. მსოფლიო ელიფსოიდი. რიზენ-ელიფსოიდი

იმის გამო, რომ გეოიდის ზედაპირის გამოყენება არ შეიძლება დედამიწის ხილულ ზედაპირზე განაზომების რედუცირებისა და მათი მათემატიკური დამუშავებისათვის, საჭირო გახდა აპროქსიმაციის ხერხის გამოყენება. მაშასადამე, გვემართა ზედაპირად უნდა მივიღოთ შედარებით მარტივი მათემატიკური ზედაპირი, რომელიც ზედმიწევნით გამოსახავს დედამიწის საერთო სახეს, ანუ რაც შეიძლება ახლო იქნება წარმოდგენით ძიებულ გეოიდთან, მაგრამ შეგვეძლება სათანადო გაზომვების შედეგად მისი პარამეტრების დადგენა. ცხადია, ასეთ ზედაპირად უნდა მიღებულ იქნეს ისევე ბრუნვის ელიფსოიდი, მხოლოდ ისეთი, რომელიც გამოდგება მთელი დედამიწის ხილული ზედაპირის განაზომთა რედუცირება-დამუშავებისათვის.

ბრუნვის ელიფსოიდს (სფეროიდს), — რომელიც ზედმიწევნით წარმოადგენს დედამიწის იდეალურ სახეს, ამავე დროს გამოდგება დედამიწის ნამდვილი სახის ყველა განაზომი ელემენტების მასზე რედუცირებისათვის და კონტინენტებისა და კუნძულების ერთიან კოორდინატთა სისტემაში მათემატიკური დამუშავებისათვის, — უწოდებენ საერთო, მსოფლიო, აბსოლუტურ ან დედამიწის ელიფსოიდს. ამ ელიფსოიდის ცენტრი უნდა ემთხვეოდეს დედამიწის სიმძიმის (ინერციის) ცენტრს, ხოლო მცირე ღერძი — დედამიწის ბრუნვის ღერძს, ანუ ეკვატორის სიბრტყე — დედამიწის ეკვატორის სიბრტყეს; მისი მოცულობა ტოლი უნდა იყოს გეოიდის მოცულობისა და ამ ელიფსოიდის ზედაპირიდან გეოიდის სიმაღლეთა (გადახრების) კვადრატების ჯამი იყოს მინიმუმი.

მსოფლიო ელიფსოიდის პარამეტრების დადგენისათვის საჭიროა დედამიწის მთელ ხილულ ზედაპირზე შესრულებულ იქნეს უდიდესი გრადუსული, ანუ ასტრონომიული, გეოდეზიური და გრავიმეტრიული გაზომვები. ასეთი მასშტაბით მსოფლიო გაზომვები ჯერ-ჯერობით არ არის შესრულებული და ამიტომ მსოფლიო (საერთო) ელიფსოიდის პარამეტრების დადგენა ჯერ კიდევ მომავლის საქმეა.

ზემოხსენებული მიზეზით გარკვეული სახელმწიფო ან სახელმწიფოები თავის ტერიტორიაზე შესრულებული განაზომების მათემატიკური დამუშავების შედეგად ადგენენ ადგილობრივი (კერძო) გამოყენების ელიფსოიდს, რომელზეც ნორმალების საშუალებით აგვიგვილებენ დედამიწის ხილულ ზედაპირზე განაზომებს და აწარმოებენ მათ მათემატიკურ დამუშავებას. ასეთ საშუალო, ანუ დასაყრდენ, ელიფსოიდს სათანადოდ მოათავსებენ (ორიენტირებას გაუკეთებენ) დედამიწის ტანში, რომელსაც გერმანელი დიდი მეცნიერის, პედაგოგისა და პრაქტიკოსის ფ. ჰელმერტის (1843—1917) წინადადებით უწოდეს რედუცირებული ელიფსოიდი. მაშასადამე, რედუცირებული ელიფსოიდი ეწოდება მოცემული სახელმწიფოს ან სახელმწიფოების ტერიტორიაზე შესრულებული უზუსტესი გაზომვების შედეგად დადგენილ საშუალო ელიფსოიდს, რო-

მელსაც აქვს გარკვეული ზომები, თავისებურად არის ორი ენტირებელი დედამიწის ტანში და მიღებულია ხსენებულ სახელმწიფოს ან სახელმწიფოების ტერიტორიის წერტილთა ნორმალებით მასზე დაგეგმილებისათვის და ამ დაგეგმილებული განაზომების მათემატიკური დაშუშავენისათვის. აგრეთვე, როგორც ვნახავთ, იგი დედამიწის ნამდვილი სახის სასიმალო საფუძველსაც წარმოადგენს. ცხადია, როგორი სიზუსტითაც არ უნდა იყოს განსაზღვრული რეფერენც-ელიფსოიდის პარამეტრები, მისი ზედაპირი ზუსტად არასდროს არ დაემთხვევა როგორც მსოფლიო ელიფსოიდს, ისე გეოიდის ზედაპირს.

(1.6.2) პარაგრაფში იყო აღნიშნული გრადუსულ გაზომვებში გამოყენებული რკალებისა და ფართობების მეთოდების შესახებ, მაგრამ არ იყო განმარტებული საკითაჟი ამ მეთოდებისადმი ძირითადი მოთხოვნების შესახებ. თანამედროვე გრადუსულ გაზომვებში, რკალების მეთოდით საზღვრავენ რა ელიფსოიდის ზომებს და ასრულებენ დედამიწის ტანში მის ორიენტირებას, არ მოითხოვენ, რომ გარკვეულ სივრცეზე ელიფსოიდის ზედაპირი გეოიდის ზედაპირის რომელიმე ფართობს ზედმიწევნით შეესაბამებოდეს (ახლო იყოს), აქ მოითხოვება, რომ გამოყენებული რკალების მიმართულებით ზუსტი შესაბამისობა იყოს დაცული გეოიდის პროფილებისადმი. ფართობების მეთოდში კი ძირითადი მოთხოვნაა მიღებული ელიფსოიდის ზომები და დედამიწის ტანში მისი ორიენტირება ისე იყოს შესრულებული, რომ გარკვეულ სივრცეებზე მისი ზედაპირი ზუსტად უდგებოდეს გეოიდის ზედაპირს და აგრეთვე ამ სივრცეებზე ელინდებოდეს გეოიდის ფორმა (რელიეფი).

ამა თუ იმ რეფერენც-ელიფსოიდის პარამეტრების სიზუსტე, ანუ მსოფლიო ელიფსოიდისადმი მისი ახლოობის ხარისხი დამოკიდებულია: რეფერენც-ელიფსოიდის დადგენისათვის შესრულებული გრადუსული გაზომვების სივრცეების ოდენობაზე; შესრულების პროგრამაზე; გაზომვების სიზუსტეზე; განაზომთა მათემატიკური დამუშავების მეთოდიკასა და დადგენილი რეფერენც-ელიფსოიდის დედამიწის ტანში ორიენტირებაზე.

სხვადასხვა მეცნიერმა XIX და XX საუკუნეებში გამოყენებული მასალებისა და დამუშავების თავისებური მეთოდების შესაბამისად მიიღეს რეფერენც-ელიფსოიდების ელემენტების ურთიერთგანსხვავებული ოდენობები, რომელთაგანაც ზოგიერთი გამოიყენებოდა და გამოიყენება გეოდეზიაში. ასეთი რეფერენც-ელიფსოიდის პარამეტრები ქრონოლოგიურად მოყვანილია პირველ ცხრილში.

(1) ცხრილში აზ არის მოყვანილი დალამბერის მიერ 1800 წელს გამოქვეყნებული ელიფსოიდის პარამეტრები, რადგანაც მას მხოლოდ მეტრის სიგრძის დადგენის მიზანი ჰქონდა. პარიზზე ამ ელიფსოიდის კვეთილობის მეთოთხედი 10000000 მეტრის ტოლია. აქედან მიღებულ მიახლოებითს დამოკიდებულებებს ამჟამადაც იყენებენ გეოდეზიაში. მაგალითად, 1° განედის ნაზრდს შეესაბამება მერიდიანის რკალი ≈ 111 კმ, ხოლო 1' — 1800 მ და 1" — 30 მ.

ვალბეკის ელიფსოიდს გასული საუკუნის ოთხმოციან წლებამდე იყენებდნენ რუსეთსა და ამიერკავკასიაში ტრიანგულაციის (სამკუთხედთა) მწკრივების დასამუშავებლად.

№№	შეცნევის გვარი	განსაზღვრის წელი	დიდი ნასევარღერძი, მეტრებში	პოლარული შეკუმ-შულობა
1	2	3	4	5
1	ვალბეკი	1819	6 376 896	1 : 302,78
2	ვეერესტი	1830	6 377 276	1 : 300,41
3	ერი	1830	6 376 542	1 : 299,33
4	ბესელი	1841	6 377 397	1 : 299,15
5	კლარკი	1866	6 376 206	1 : 294,38
6	კლარკი	1837	6 378 249	1 : 293,47
7	პელმერტი	1907	6 378 200	1 : 293,3
8	ჰეიფორდი	1909	6 378 388	1 : 297,0
9	ჰეიფორდი	1910	6 378 246	1 : 295,8
10	კრასოვსკი	1936	6 378 210	1 : 293,6
11	კრასოვსკი	1940	6 376 245	1 : 298,3

ევერესტის ელიფსოიდს გეოდეზიური და კარტოგრაფიული სამუშაოებისათვის იყენებდნენ ინდოეთში, ხოლო ერის ელიფსოიდს ინგლისში -- ტრიანგულაციის სამუშაოებზე.

ვალბეკის, ევერესტისა და ერის ელიფსოიდების პარამეტრების ოდენობები გამოთვლილია გრადუსული გაზომვების შედარებით მცირე მასალაზე დაყრდნობით და უკვე მოძველებულია, რის გამო ამჟამად მათ დაკარგეს შეცნიერული ღირებულება.

ბესელის ელიფსოიდს გეოდეზიური სამუშაოებისათვის იყენებდნენ და ახლაც ნაწილობრივ იყენებენ გერმანიაში, ავსტრიაში, ალბანეთში, უნგრეთში, საბერძნეთში, პოლანდიაში, ინდონეზიაში, იტალიაში, ნორვეგიაში, შვეიცარიაში, შვეიცარიაში, იუგოსლავიაში, ჩილესა და იაპონიაში.

ბესელის ელიფსოიდს იყენებდნენ, აგრეთვე, გეოდეზიური და კარტოგრაფიული სამუშაოებისათვის საბჭოთა კავშირში 1942 წლამდე, რის შემდეგ იგი შეცვალეს კრასოვსკის (1878—1948) ელიფსოიდით, რადგანაც საბჭოთა შეცნიერებმა კრასოვსკის ხელმძღვანელობით აღმოაჩინეს, რომ ბესელის ელიფსოიდის დიდი ნახევარღერძის ოდენობა მცდარია 848 მეტრით (ცხრილი 1) და ამიტომ იგი არ უღებება საბჭოთა კავშირის გრანდოზულ ტერიტორიას.

კლარკის მიერ 1866 წელს დადგენილ ელიფსოიდს იყენებდნენ და ამჟამადაც იყენებენ ჩრდილოეთ ამერიკის შეერთებულ შტატებში, კანადასა და მექსიკაში, ხოლო მეორე 1880 წელს დადგენილ ელიფსოიდს იყენებენ საფრანგეთში, მის კოლონიებსა და სამხრეთ აფრიკის კავშირში.

ჰეიფორდის ელიფსოიდი მიღებულია ამერიკის შეერთებული შტატების ასტრონომიულ-გეოდეზიური მასალით. იგი გეოდეზიისა და გეოფიზიკის საერთაშორისო კავშირის გეოფიზიკური ასოციაციამ 1924 წელს მიიღო, როგორც საერთაშორისო და რეკომენდებულ იქნა გეოდეზიური სამუშაოებისათვის, რის შემდეგ მას იყენებენ არგენტინაში, ბულგარეთში, ბელგიაში, ეგვიპტეში, პორტუგალიაში, რუმინეთში, თურქეთსა და ფინეთში. 1945—1951 წლებში იგი გამოყენებულ იქნა ევროპული ქვეყნებისა და ჩრდილო აფრიკის ტრიანგულაციის მოწესრიგების საქმეში, რომელიც სრულდებოდა ამერიკის

B გეოდეზიური განედი და L გეოდეზიური გრძედი წარმოადგენს პორიზონტალურ კოორდინატებს, რომლებიც რეფერენც-ელიფსოიდზე შემოხსენებული წერტილების მდებარეობას განსაზღვრავენ (II ტომი), ხოლო H გეოდეზიური სიმაღლეები კი აღნიშნული წერტილების მესამე სივრცობრივ კოორდინატებია, რომლებიც გამოსახავენ რეფერენც-ელიფსოიდის ან სფეროს ზედაპირიდან ნორმალზე მანძილებს დედამიწის ხილულ ზედაპირამდე.

ერთი მხრივ, აღნიშნული სიმაღლეებით დგინდება დედამიწის ნამდვილი სახე რელიეფით, რომელსაც გამოსახავენ ტოპოგრაფიულ რუკებზე; მეორე მხრივ, ადგილის წერტილის სიმაღლეების ზუსტი ოდენობების ცოდნა აუცილებელია მრავალნაირი საინჟინრო ნაგებობების პროექტირება-შენებლობისა და სპეციალური გამოთვლებისათვის, სადაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს დედამიწის ნამდვილი სახის წერტილთა ზუსტი სივრცობრივი განლაგებების ცოდნას და მესამე მხრივ, გეოდეზიური სიმაღლეები აუცილებელია დედამიწის ხილული ზედაპირის ელემენტების განაზომების (ხაზები, მიმართულებები, კუთხეები, სიმაღლეა სხვაობები და სხვა) რეფერენც-ელიფსოიდზე რედუცირებისათვის, რათა მასზე მოხდეს მათი მკაცრი მათემატიკური დამუშავება და ორ-ორი (B, L) კოორდინატის ზუსტად განსაზღვრა.

ვინაიდან H გეოდეზიური სიმაღლის პირდაპირი განსაზღვრისას დიდ დაბრკოლებებს წვაწყლებით, ამიტომ ამჯობინებენ მისი ოდენობის განსაზღვრას ნაწილ-ნაწილ H^I ნორმალური და H^Z ანომალური სიდიდეებით, რომლებიც ისაზღვრებიან დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე სხვადასხვა მეთოდებით შესრულებული განაზომებით და შემდეგ იკრიბებიან. ასე რომ,

$$H = H^I + H^Z. \quad (1.6.7.1)$$

ამ დანაწილებას როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული გამართლება აქვს. მაგალითად, შვეული მიმართულებით დედამიწის ფიზიკური ზედაპირიდან კვაზიგეოიდაზე მანძილი, ანუ H^I ნორმალური სიმაღლეები ისაზღვრება ზუსტად დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული გეომეტრიული ნიველობით (პორიზონტული სხივის საშუალებით წერტილთა შორის აღმატებების განსაზღვრა), რომელშიც შეაქვთ შესწორებები, გამოწვეული ნორმალური გრავიტაციული ველის დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობითა და ნამდვილი ველის ნორმალურისაგან გადახრებით.

ასევე შვეული მიმართულებით მანძილი, ანუ H^Z ანომალია, ისაზღვრება დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული ნიველობით. პირველ რიგში დგინდება კვაზიგეოიდის სახე H^Z ანომალებით (ნახ. 1), ხოლო შემდეგ H^I ნორმალური სიმაღლეებით მიიღება დედამიწის ნამდვილი სახის შესაბამისი სურათი. ორივე წარმოადგენს შვეულის მონაკვეთებს და გადაზომება რეფერენც-ელიფსოიდის ნორმალზე.

როგორც ვხედავთ, კვაზიგეოიდის წარმოქმნის თეორიულ მიზეზს წარმოადგენს შემოხსენებული H^I და H^Z ოდენობების ურთიერთდამოუკიდებელი და განსხვავებული მეთოდებით განსაზღვრის საჭიროება.

აღნიშნული დაყოფის პრაქტიკული მნიშვნელობა ის არის, რომ ადგილის რელიეფისა და ტოპოგრაფიული რუკების შედგენისათვის წერტილთა ფარდობითი სიმაღლეების დასადგენად ვიყენებთ წყნარ მდგომარეობაში

როგორც მყოფ ოკეანეთა საშუალო დონეს, რომელსაც, როგორც ცნობილია, ძირითადად ემთხვევა კვაზიგეოიდის ზედაპირი, და პრაქტიკაში დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის უგულებელყოფით ერთნაირი სიმაღლის მქონე წერტილებზე გატარებულ საბრტყეებს ვიღებთ პორიზონტალურად. გარდა ამისა, H^X ნორმალური სიმაღლეებზე არ ახდენს გავლენას რეფერენც-ელიფსოიდის ელემენტების განსაზღვრისა და დედამიწის ტანში მისი ორიენტირების შეცდომები და თავისებურებანი. აღნიშნულას გამო ადგილის გამო-სავალი წერტილების სიმაღლეები კატალოგებში წარმოდგენილია H^X ნორმალური სიმაღლეებით. საბჭოთა კავშირში გამოსავალია ბალტიის ზღვაზე, ლენინგრადში (ქრონდშტატის), ფუტშოკის (ლარტყის) ნელი.

როგორც ვხედავთ, სიმაღლეების გამოთვლების დროს პრაქტიკულად საქმე გვაქვს ორი სახის ასათვლელ ზედაპირთან:

1. რეფერენც-ელიფსოიდთან H გეოდეზიური სიმაღლეების გადასაზომად (ასათვლელად). რომელთა საშუალებით დგინდება დედამიწის ნამდვილი სახე და მასზე სდება დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომთა რეღუციება;

2. კვაზიგეოიდთან H^X ნორმალური სიმაღლეების ასათვლელად, რომელთაც საქმარისი სიზუსტის გამო ვიყენებთ წერტილთა ფარდობითი სიმაღლეების, რელიეფის ქაღალზე გამოსახვისა და სხვადასხვა პრაქტიკული ამოცანების ამოსახსნელად. მათი ოდენობები მოცემულია კატალოგებში.

მაშასადამე, მეცნიერული და პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად აუცილებელია დედამიწის ნებისმიერი წერტილის H გეოდეზიური სიმაღლეების ცოდნა მისი შემადგენელი H^X ნორმალური სიმაღლისა და ζ^X ანომალიის ჯამის სახით.

ქვემოთ ენახავთ, რომ შედარებით მცირე სივრცეებზე H_N^X ნორმალური სიმაღლის ნაცვლად წერენ H_N , რომელშიც იგულისხმება კვაზიგეოიდიდან შეკული მიმართულებით მანძილი, განსაზღვრული მხოლოდ გეომეტრიული ნიველობით; ე. ი. მასში შეტანილი არ არის ნორმალური გრავიტაციული ველის დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობითა და ნამდვილი ველის ნორმალურისაგან გადახრებით გამოწვეული შესწორება. H_N უწოდებენ აბსოლუტურ სიმაღლეს (ალტიტუდს).

C. შვეულის გადახრის ორგანო სახე და მისი ოდენობის განსაზღვრის მეთოდები

დედამიწის მოცემულ წერტილში შვეულის გადახრას უწოდებენ კუთხეს, რომელსაც შვეული (სიმძიმის ძალის ნორმალური ველის ძალური ხაზების მხები) ქმნის დედამიწის ელიფსოიდის ზედაპირის ნორმალთან.

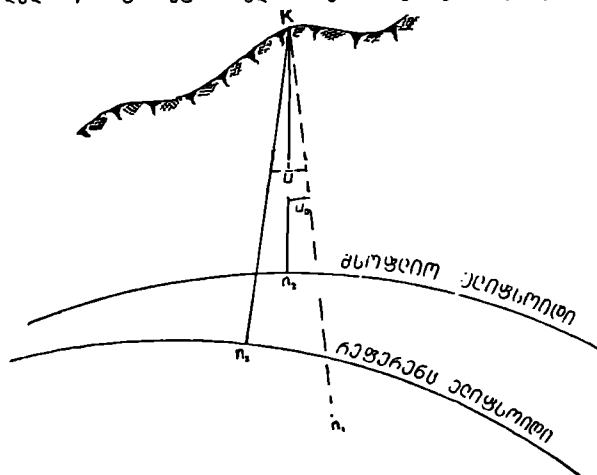
არჩევენ შვეულის აბსოლუტურ და სრულ ფარდობით ასტრონომიულ-გეოდეზიურ გადახრას. პირველი დაკავშირებულია მსოფლიო ელიფსოიდთან (ნახ. 2, $u_0 = n_1 k n_2$ კუთხე) და მეორე კი რეფერენც-ელიფსოიდთან ($u = n_1 k n_2$ კუთხე). შვეულის u_0 აბსოლუტური გადახრის ოდენობა განპირობებულია მხოლოდ და მხოლოდ დედამიწის ტანში მასების რეალურად არათანაბარი განაწილებით, რადგანაც მსოფლიო ელიფსოიდის პარამეტრების განსაზღვრისა და თვით ელიფსოიდის დედამიწის ტანში ორიენტა-

ციის შეცდომები არასაგულისხმო ოდენობებად ითვლება. ამიტომ მისი ოდენობების ცოდნა ძლიერ საჭიროა დედამიწის შიგა აგებულების შესწავლისათვის.

შვეულის აბსოლუტური გადახრები, თავის მხრივ, ისევე როგორც კვაზიგეოიდის ტალღები, იყოფა ზოგად და ადგილობრივ გადახრებად.

შვეულის აბსოლუტური გადახრების ზოგადი სახე შეესაბამება კვაზიგეოიდის საერთო ტალღებს; ეს გადახრები არ აღემატება 8" და მათი წარმოშობის ძირითად მიზეზად უნდა ჩაითვალოს ოკეანური ღრმულები და კონტინენტური ამალღებები, რომელთა ზეგავლენა იწვევს შვეულის გადახრების ნელ და ერთსახოვან ცვალებადობას დიდ სივრცეებზე, როგორცაა კონტინენტები.

შვეულის აბსოლუტური გადახრების ადგილობრივი სახე კი შეესაბამება კვაზიგეოიდის ადგილობრივ ტალღებს, რომელთა წარმოშობის მიზეზია დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე მთა-გორები და დიდი ოკეანური



ნახ. 1. 6. 7. 2.

ღრმულები. ეს გადახრები ვრცელდება შედარებით მცირე სივრცეებზე და სწრაფი შეცვლის გამო მათი ოდენობები მნიშვნელოვნად განსხვავდება შედარებით ახლო წერტილებში. როგორც ცნობილია, ჯერჯერობით მსოფლიო ელიფსოიდის პარამეტრები დადგენილი არ არის, რის გამო ამჟამად ვსარგებლობთ მხოლოდ შვეულის u სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრით, რომლის ოდენობა გაპირობებულია: 1) დედამიწის ტანში მასების არათანაბარი განაწილებით, ანუ ყოველ წერტილში შვეულის აბსოლუტური გადახრებით; 2) რეფერენც-ელიფსოიდის პარამეტრების განსაზღვრის შეცდომებით; 3) დედამიწის ტანში რეფერენც-ელიფსოიდის ორიენტირების შეცდომებით (II ტომი).

როგორც ჩანს, ფაქტობრივად ყოველ წერტილში შვეულის u_0 აბსოლუტური გადახრების ოდენობება ნაკლები იქნება, ვიდრე u .

შეერთებული შტატების არმიის კარტოგრაფიული სამსახურის ხელმძღვანელობით.

სხვადასხვა რეფერენც-ელიფსოიდების პარამეტრების ურთიერთდაუშთხვევლობა (ცხ. 1) ადასტურებს იმას, რომ ჯერჯერობით საერთო (მსოფლიო) ელიფსოიდის პარამეტრების დადგენისათვის არა გვაქვს საკმარისი განაზოგები მთელ დედამიწაზე.

ფ. კრასოვსკიმ გამოიყენა საბჭოთა კავშირის, ამერიკის შეერთებული შტატების, დასავლეთი ევროპისა და ინდოეთის გრადუსული განაზომები, აგრეთვე, პირველმა გამოიყენა გრავიმეტრიული განაზომები და თავის კოლეგებთან და მოწაფეებთან ერთად 1940 წელს გამოაქვეყნა ჩვენი რეფერენც-ელიფსოიდის ელიმენტების ზომები: $a=6378245$ მ და $\alpha=1:298,3$. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ დიდი ნახევარსფეროს შეცდომა არის ± 60 მეტრი, ხოლო შეკუმშულობისა — მისი მნიშვნელის ერთეული. როგორც იყო აღნიშნული, ამ ელიფსოიდის გამოყენება ჩვენში დაიწყო 1942 წლიდან, ხოლო საბჭოთა კავშირის მინისტრთა საბჭოს 1946 წლის 7 აპრილის დადგენილებით ზემოხსენებული პარამეტრები ელიფსოიდისა, როგორც უფრო შესაბამისი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის მიმართ, მიღებულ იქნა საკავალდებულოდ გეოდეზიური სამუშაოების შესრულებისას და თვით რეფერენც-ელიფსოიდს ეწოდა კრასოვსკის სახელი. კრასოვსკის ელიფსოიდის გეოდეზიური სამუშაოებისათვის იყენებენ სოციალისტურ ქვეყნებში. უკანასკნელ დროს ხელოვნური თანამგზავრებით სრულიად დამოუკიდებლად განსაზღვრულია საერთო (მსოფლიო) ელიფსოიდის შეკუმშულობა $1:298,31$ (მხოლოდ ეკვატორული რადიუსია 6375750 მ, ჩრდილო პოლარული რადიუსი 6355390 მ, სამხრეთი კი 6355360 მ, ე. ი. სამხრეთი პოლუსი 30 მეტრით ახლოა დედამიწის ცენტრთან, ვიდრე ჩრდილო პოლუსი). მაშასადამე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კრასოვსკის ელიფსოიდი შეიძლება აღიარებულ იქნეს მსოფლიო ელიფსოიდისადმი უადრესად ახლო ელიფსოიდად. ამჟამად ჩვენში უკვე შესრულებულია ბესელის ელიფსოიდიდან კრასოვსკის ელიფსოიდზე გადასვლა.

დასასრულ მოვიყვანთ ბრუნვის ელიფსოიდის პარამეტრების გამოსათვლელ ფორმულებს და კრასოვსკის ელიფსოიდისათვის მათ ოდენობებს:

ელიფსოიდის მერიდიანული კვეთის ობობის პირველი და მეორე შეკუმშულობა

$$\alpha = \frac{a-b}{a}, \quad \alpha' = \frac{a-b}{b}, \quad \text{სადა } a = 6378245 \pm 60 \text{ მ,} \quad (1.6.5.1)$$

$$\alpha = \frac{1}{298,3 \pm 1,0}.$$

პირველი და მეორე ექსცენტრისიტეტის კვადრატები.

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}; \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}. \quad (1.6.5.2)$$

ეს პარამეტრები ურთიერთდაკავშირებულია ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} h &= a(1-\alpha) = a(1-e^2)^{\frac{1}{2}}, \\ e^2 &= 2\alpha - \alpha^2, \\ e'^2 &= \frac{e^2}{1-e^2} = \frac{2\alpha - \alpha^2}{(1-\alpha)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.6.5.3)$$

მიახლოებითი გამოთვლების დროს α^2 ოდენობების შეცდომის დაშვებით იღებენ:

$$e^2 \approx 2\alpha = \frac{1}{150}. \quad (1.6.5.4)$$

ბრუნვის ელიფსოიდის სიმრუდის პოლარული რადიუსი, ანუ პოლუსებთან სფეროიდის სიმრუდის რადიუსი

$$c = \frac{a^3}{b}. \quad (1.6.5.5)$$

კრასოვსკის ელიფსოიდის პარამეტრების ოდენობები:

$$\begin{aligned} a &= 6\,378\,245,00\,000 \text{ მ}, & \lg a &= 6.8047011973, \\ b &= 6\,356\,863,01\,877 \text{ მ}, & \lg b &= 6.8032428531, \\ c &= 6\,399\,698,90\,178 \text{ მ}, & \lg c &= 6.8061595414, \\ \alpha &= 0,003352329869 \text{ (1 : 298,3)}, & \lg \alpha &= 7.5253467466_{-10}, \\ e^2 &= 0,006693421623, & \lg e^2 &= 7.8256481823_{-10}, \\ e'^2 &= 0,006738525415. & \lg e'^2 &= 7.8285648706_{-10}. \end{aligned} \quad (1.6.5.6)$$

მერიდიანის მეოთხედის, ანუ ეკვატორიდან ერთ-ერთ პოლუსამდე, სრული სიგრძე

$$Q = \frac{\pi}{2} \cdot a \left(1 - \frac{1}{4} e^2 - \frac{3}{64} e^4 - \frac{5}{256} e^6 - \dots \right) \approx 10008550 \text{ მ}. \quad (1.6.5.7)$$

სრული ზედაპირი

$$S = 4\pi a^2 \left(1 - \frac{1}{3} e^2 - \frac{1}{15} e^4 - \frac{1}{35} e^6 - \dots \right) \approx 5101 \cdot 10^9 \text{ კმ}^2,$$

უფრო ზუსტად

$$\begin{aligned} S &= 4\pi b^2 \left(1 + \frac{2}{3} e^2 + \frac{3}{5} e^4 + \frac{4}{7} e^6 + \frac{5}{9} e^8 + \dots \right) = \\ &= 510083059,347 \text{ კმ}^2. \end{aligned} \quad (1.6.5.8)$$

სრული მოცულობა

$$\begin{aligned} V &= \frac{4}{3} \pi a^3 b = \frac{4}{3} \pi a^3 \left(1 - \frac{1}{2} e^2 - \frac{1}{8} e^4 - \frac{1}{16} e^6 - \dots \right) \approx \\ &\approx 1083 \cdot 10^9 \text{ კმ}^3. \end{aligned} \quad (1.6.5.9)$$

(2) ცხრილში მოცემულია ფ. კრასოვსკის 1942 წლის ელიფსოიდის ერთი გრადუსის შესაბამისი პარალელებისა და მერიდიანების რკალების სიგრძეები, კილომეტრებში.

ფ	1° პარალელის სიგრძე	ფ	1° მერიდიანის სიგრძე
0°	111,321	0°—1°	110,576
5	110,901	5—6	110,587
10	109,641	10—11	110,613
15	107,552	15—16	110,656
20	104,649	20—21	110,712
25	100,952	25—26	110,783
30	96,488	30—31	110,863
35	91,290	35—36	110,951
40	85,395	40—41	111,047
45	78,844	45—46	111,144
50	71,697	50—51	111,241
55	63,995	55—56	111,335
60	55,801	60—61	111,423
65	47,176	65—66	111,502
70	38,187	70—71	111,570
75	28,902	75—76	111,625
80	19,394	80—81	111,665
85	9,735	85—86	111,689
89	1,349	89—90	111,695

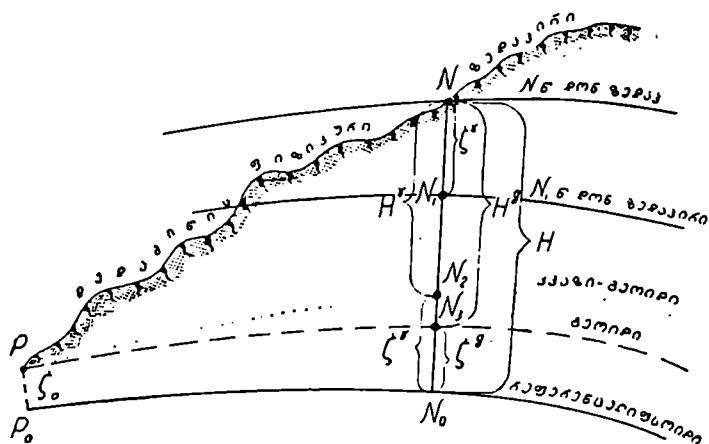
1.6.6. რაფერენც-ელიფსოიდზე განაზომთა რედუცირებისა და დედამიწის ნამდვილი სახის პრობლემის თანამედროვე ამოხსნის შესახებ

სანამ შევეჩებოდეთ დედამიწის ხილულ ზედაპირზე განაზომების ელიფსოიდზე დაყვანის, ანუ რედუცირების, არსის გადმოცემას, საჭიროა ისევ გეოიდის საკითხს დავუბრუნდეთ, მხოლოდ მას განვიხილავთ არა როგორც გეგმილთ ზედაპირს, რომელზეც შეიძლებოდა განაზომთა დაგეგმილება და მათი მათემატიკური დამუშავება, არამედ როგორც წერტილთა სიმაღლეების საფუძველს და როგორც დამხმარე ზედაპირს ხილულ ზედაპირზე მიღებული განაზომების რეფერენც-ელიფსოიდზე რედუცირებისათვის. ამ მიზნით გეოიდის ზედაპირს აღვწინ უკვე ცნობილი ელიფსოიდის საშუალებით, რისთვისაც საზღვრავენ ელიფსოიდის ნებისმიერი წერტილის მიმართ ნორმალის მიმართულებით გეოიდის წაღმარებებს (ნახ. 1). ამ აღმარებებს საზღვრავენ სტოქსის (1.6.3.2) ფორმულის საშუალებით, რისთვისაც საჭიროა მთელი დედამიწის შესწავლა გრავიმეტრიულად, რაც ჯერჯერობით მიუწეული არ არის (1.6.3: პარაგრაფი). ამიტომ სხვადასხვა მეცნიერთა (ჰეისკანენი, ჟანგოლოვიჩი, კაულა და სხვა) მიერ. ცნობილი და ხშირად უცნობი სიდიდეების ექსტრაპოლირებით (სხვა არეებზე გავრცელებით), ჰიპოთეზების დაშვებითა და სხვა საშუალებებით დაახლოებით აღვწინ გეოიდების ზედაპირებსა და რუკებს, რომლებიც ერთიმეორისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან. ასეთი გზით დადგინდ გეოიდს იყენებენ როგორც დამხმარე ზედაპირს ელიფსოიდზე განაზომების მხოლოდ რედუცირებისათვის.

უკანასკნელ დრომდე რეფერენც-ელიფსოიდზე რედუცირებას ახდენენ განშლისა და დაგეგმილების მეთოდებით.

განშლის მეთოდის არსის არის, რომ ხილულ ზედაპირზე განაზომი ელემენტების რედუცირებას გეოიდის ზედაპირზე ახდენენ ცნობილი შეუღლი

მიმართულებისა და ე. წ. H^0 ორთომეტრული (ნახ. 1) სიმაღლეების (ოქსიდაციის ფიზიკური ზედაპირის წერტილების დაშორება გეოიდის ზედაპირიდან შევეული მიმართულებით) საშუალებით და შემდეგ ყოველგვარი შესწორების გარეშე ეს ელემენტები გადააქვთ რეფერენც-ელიფსოიდზე, ანუ, როგორც ამბობენ, გეოიდის ზედაპირზე რედუცირებული ელემენტების დალაგებასა და განშლას აწარმოებენ რეფერენც-ელიფსოიდზე. როგორც ვხედავთ, ამ მეთოდში გეოიდისა და რეფერენც-ელიფსოიდს შორის განსხვავებას არ გულის-



ნახ. 1. 6. 6. 1.

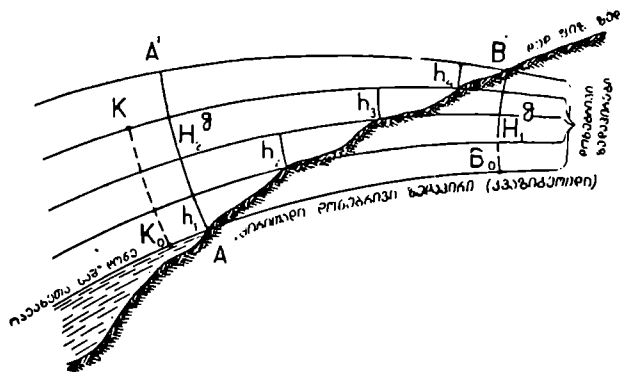
ხობენ. გეოიდზე რედუცირება გამოწვეულია მხოლოდ იმით, რომ შევეულების მიმართულებები და სიმაღლეები დაკავშირებულია მასთან. ასეთი გაიგივება გეოიდისა და რეფერენც-ელიფსოიდისა იწვევს მნიშვნელოვან შეცდომებს, რადგანაც ფაქტობრივად მათი ურთიერთდაშორება 150 მეტრამდე აღწევს. ასე რომ, დიდი სივრცეების გაზომვების დროს ეს მეთოდი დაუშვებელ შეცდომებს იწვევს.

დაგეგმილების მეთოდი შემოღებული იყო ოცდაათიან წლებში ფ. კრასოვსკის მიერ, რომლის მიხედვით განაზომების რედუცირებას ახდენენ გეოიდზე H^0 ორთომეტრული სიმაღლეებით და შემდეგ ნორმალების მიმართულებით რეფერენც-ელიფსოიდისაღმე გეოიდის Z^0 აღმატებების საშუალებებით მათ აგეგმილებენ რეფერენც-ელიფსოიდზე (ნახ. 1). როგორც ვხედავთ, ამ შემთხვევაში N წერტილის ე. წ. გეოდეზიური სიმაღლე

$$H = H^0 + Z^0. \quad (1.6.6.1)$$

მ. მოლოდენსკის, ვ. ერემევეისა და სხვა საბჭოთა გეოდეზისტების მიერ დადგინდა, რომ რედუცირების არც ეს გზაა მისაღები შემდეგი მიზეზებით: ხილულ ზედაპირზე განაზომების გეოიდზე დაგეგმილებისას უცნობია ძალური ხაზების, მაშასადამე, შევეულების მიმართულებები წილის ქანების სხვადასხვა სიმკვრივეების გამო და არც გვეკოდინება ამ მასების განაწილების ცოდნის გარეშე. იმავე მიზეზით ჩვენ არ ვიცით რეფერენც-ელიფ-

სოილისადმი ნორმალის მიმართულება; აგრეთვე, როგორც ვიცით, დონებრივი ზედაპირები ურთიერთპარალელურები არ არის და ამიტომ ხილული ზედაპირის წერტილების სიმაღლეები გეოიდიდან ერთმნიშვნელოვნად არ ისაზღვრება, ვიღებთ მათს მიახლოებით სიმაღლეებს. მაგალითად (ნახ. 2), B წერტილის აღმატება A წერტილის მიმართ, რომელიც ტოლია H_1^g ოდენობისა, შეიძლება მივიღოთ როგორც H_1^g , ისე H_2^g -ს ტოლი, რადგანაც როგორც A წერტილიდან დონებრივი ზედაპირის მიმართულებით B_0 წერტილამდე, ისე A' წერტილიდან B წერტილამდე აღმატებათა ჯამი ნული იქნება; მაგრამ, $H_1^g \neq H_2^g$. როგორც ვხედავთ, A და B -ს შორის მიიღება ურთიერთგანსხვავებული იმდენი აღმატება, რამდენ სხვადასხვა სვლასაც გავაყეთებთ A -დან B



ნახ. 1. 6. 6. 2.

წერტილისაქენ უკვე დადგენილი სხვადასხვა დონებრივი ზედაპირების მიმართულებების გამოყენებით. მაშასადამე, H გეოდეზიური სიმაღლეების შემადგენლები: H^g ორთომეტრული სიმაღლეები და ζ^g აღმატებები დიდი შეცდომებით ისაზღვრება. აქვე დავძენთ, რომ K წერტილის ნამდვილი (ფაქტობრივი) სიმაღლე მეტია, ვიდრე B წერტილის ($KK_0 > BB_0$) მიუხედავად იმისა, რომ წერტილის სიმაღლის წარწერის (ნიშნულის) მიხედვით B წერტილის მეტი სიმაღლე აწერია.

მ. მოლოდენსკიმ დაასაბუთა, რომ ლითოსფეროს წიაღში ნივთიერებების სიმკვრივის განაწილების ცოდნის გარეშე არ შეიძლება გეოიდის ფიგურის ზუსტად განსაზღვრა, რაც, მისი აზრით, გეოდეზიის მეცნიერული და პრაქტიკული საკითხების გადაწყვეტისათვის არაა აუცილებელი. მ. მოლოდენსკის წინადადებით ჩვენს ძირითად ამოცანას უნდა შეადგენდეს უშუალოდ დედამიწის ნამდვილი სიმაღლის, ანუ რეალური ფიგურისა და მისი გრაფიკატაციული ველის შესწავლა. მანვე დაამუშავა მეთოდურად ზემოხსენებულის მსგავსი, მაგრამ პრინციპულად განსხვავებული თეორია, რომელიც საშუალებას იძლევა დედამიწის ხილულ ზედაპირზე ფაქტობრივად (პირდაპირი გზით) შესრულებული ასტრონომიულ-გეოდეზიური და გრაფიკატაციული გაზომვების საშუალებით ზუსტად შევისწავლოთ მისი ფი-

გურა ისე, რომ არ გავეცელოთ ფიზიკურ ზედაპირზე მიღებული გრავიტაციული განაზომები წიადისადმი და არ გამოვიყენოთ რაიმე პიკოთეზა დედამიწის შინაგანი აგებულების შესახებ. მაშასადამე, მ. მოლოდენსკის თეორიის მიხედვით ისაზღვრება თვით დედამიწის ხილული ზედაპირი (ნამდვილი სახე) და არა გვიოიდის ზედაპირი. ამოცანა მდგომარეობს სხვა გზით რეფერენც-ელიფსოიდის მიმართ ხილული ზედაპირის წერტილების (ხაზების, კუთხეების) H გეოდეზიური სიმაღლეების განსაზღვრაში. ყოველი წერტილის H გეოდეზიური სიმაღლე H^i ნორმული სიმაღლისა და ζ^i სიმაღლის ანომალიის (რეფერენც-ელიფსოიდიდან კვაზიგეოიდის სიმაღლის) ჯამს უდრის (იხ. შემდეგი პარაგრაფი). ისინი სხვადასხვა მეთოდებით შესტად ისაზღვრებიან დედამიწის ხილულ ზედაპირზე შესრულებული გაზომვებით (ნახ. 1). H გეოდეზიური სიმაღლე შეიძლება პირდაპირაც განისაზღვროს, მაგრამ საჭირო გახდება დიდი სიძნელების გადალახვა. აგრეთვე ნაწილნაწილ მის განსაზღვრას სხვა თეორიული და პრაქტიკული გამართლებაც აქვს (1.6.7 პარაგრაფი): ხილულ ზედაპირზე განაზომები ამ სიმაღლეთა და ვეკულის გადახრათა ცოდნის საშუალებით ნორმალებით შესტად შეიძლება დაგვემიღდეს რეფერენც-ელიფსოიდზე, დამუშავდეს და, პირიქით, სიმაღლეთა სათანადო სისტემის საშუალებით დადგინდეს დედამიწის ნამდვილი სახე, რომლის თეორია და პრაქტიკული ფორმულები დამუშავებულია მ. მოლოდენსკის მიერ. როგორც ვხედავთ, დედამიწის ნამდვილი სახე (ფიგურა) თანამედროვე მიდგომით შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ელემენტების საშუალებით: 1. რეფერენც-ელიფსოიდის a — დიდი ნახევარღერძისა, 2. მისი α შეკუმშულობისა და 3. გეოდეზიურ სიმაღლეთა ერთობლიობებით, რომლებიც შედგებიან ნორმალური $N_i N = H^i$ და ანომალიური $N_i N_g = \zeta^i$ ნაწილებისაგან. როგორც აღვნიშნეთ, ყველა ეს ელემენტი პრაქტიკულად (რეალურად) შეიძლება განისაზღვროს დედამიწის ხილულ ზედაპირზე გაზომვების შედეგად (ნახ. 1).

ზემოხსენებულის მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ განხილავი თავის შესავალში დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისათვის დასმული სამი ამოცანა მ. მოლოდენსკის, ვ. ერემევეისა და სხვათა შრომების საფუძველზე როგორც თეორიულად, ისე პრაქტიკულად ძირითადად ამოხსნილია. რეფერენც-ელიფსოიდი, გამოჰყოფს რა დედამიწიდან მის მთავარ ნაწილს მშვიდი ზედაპირის სახით, დედამიწის საერთო სახეს უახლოვდება, იგი ხილული ზედაპირის წერტილების მესამე კოორდინატების (სიმაღლეების) საფუძველია და აგრეთვე მასზე ხდება ადგილის განაზომთა ამ სიმაღლეების საშუალებით რელევირება და მათი მათემატიკური დამუშავება, ანუ წერტილთა ორ-ორი კოორდინატის განსაზღვრა. მაშასადამე, რეფერენც-ელიფსოიდი არის საკოორდინატო (დასაყრდენი, ამოსავალი) ზედაპირი, რომლის მიმართ ისაზღვრება ადგილის პუნქტების (დასაყრდენი წერტილების) სამივე კოორდინატი, რაც საშუალებას გვაძლევს დედამიწის ნამდვილი სახის გეომეტრიულად წარმოდგენისათვის. მხოლოდ იმისათვის, რომ იგი მსოფლიო ელიფსოიდად გამოდგეს, საჭიროა მთლიანად მის ზედაპირზე შესრულდეს ზემოხსენებული ასტრონომიულ-გეოდეზიური, გრავიმეტრიული და ასტრონომიული სამუშაოები.

შენიშვნა: დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომების რედუცირებისათვის პირველ რიგში გაზომილ ხაზებს (მიმართულებებს და კუთხეებს) მის ერთ-ერთ წერტილში გატარებულ თარაზულ სიბრტყეზე აგეგმილებენ, შემდეგ ამ ქვედებულებს H_1^r ნორმალური სიმაღლეებით აგეგმილებენ კვაზიგეოიდის (1.6.7. პარაგრაფი) ზედაპირზე და ბოლოს ამ ელემენტებს ζ^r ანომალიებით საბოლოოდ აგეგმილებენ რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე, რის შემდეგ ხდება ამ პროექციების მათემატიკური დამუშავება (წერტილთა კოორდინატების გამოთვლები და სხვა).

აქვე დასძინთ, რომ რედუცირების დროს პრაქტიკულად ხდება უგულვებელყოფა: 1) H გეოდეზიურ სიმაღლესა და შესაბამის შვეულ მანძილს შორის სხვაობისა, 2) ნორმალსა და შვეულ მანძილს შორის განსხვავებისა, 3) ნორმალისა და შვეული მიმართულების განსხვავებისა, ხოლო 2.1 თავში ვნახავთ, რომ ე. წ. გეოდეზიური კოორდინატების გამოთვლების დროს პრაქტიკულად ითვალისწინებენ შვეულების ნორმალებიდან გადახრებს, ანუ ძალური ხაზების სიმრუდეებს.

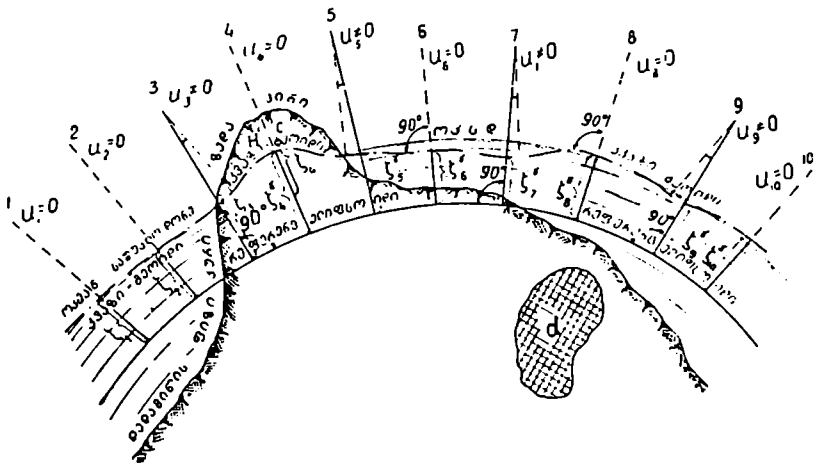
1.6.7. კვაზიგეოიდი. გეოდეზიური სიმაღლის ნორმალურ და ანომალიურ სიმაღლეებად დანაწილების თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. შვეულის გადახრის ორგვარი სახე

A. კვაზიგეოიდი

მიუხედავად იმისა, რომ მ. მოლოდენსკის თეორიის მიხედვით დედამიწის ხილულ ზედაპირზე განაზომების რეფერენც-ელიფსოიდზე რედუცირებისათვის საჭირო არ არის რაიმე დამხმარე ზედაპირი, მაინც პრაქტიკული საჭიროების გამო მ. მოლოდენსკის შემოაქვს არა გეოიდი, არამედ კვაზიგეოიდი (თითქოს ან თითქმის გეოიდი) როგორც სფეროს, ელიფსოიდისა და გეოიდის შემდეგ მეოთხე მიახლოება დედამიწის საერთო სახისადმი და როგორც ხილული ზედაპირის წერტილების გეოიდისმაგვარი სასიმაღლო საფუძველი. კვაზიგეოიდი ძირითადად განსხვავდება გეოიდისაგან იმით, რომ ის არ არის სულ მთლიანი ძირითადი დონებრივი ზედაპირი. მისი ზედაპირი დგინდება უშუალოდ ხილულ ზედაპირზე შესრულებული ასტრონომიული, გეოდეზიური და გრაფიკული განაზომების საშუალებით განსაზღვრული ζ^r ანომალიების რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან ნორმალის მიმართულებით გადაზომვით (ნახ. 1) ისე, რომ საჭირო არაა რაიმე პიპოთეზების დაშვება და მიწის ქერქის აგებულების ცოდნა. კვაზიგეოიდს შეიძლება ეწოდოს გეოიდის თვისებების მქონე წყვეტილი — ძირითადი დონებრივი ზედაპირი. მსოფლიო ოკეანეთა სივრცეებზე კვაზიგეოიდი დაახლოებით ემთხვევა გეოიდის ზედაპირს; ამავე დროს მისი ზედაპირი ისე, როგორც გეოიდისა, ვადის კრონდშტატის ფუტშტოკის ნულზე, ხოლო ხმელეთის ფარგლებში მათი ზედაპირების ურთიერთდამორება 2—3 მეტრამდე აღწევს. შეიძლება დავასკვნათ, რომ კვაზიგეოიდის ზედაპირი დგინდება მკაცრად და ზუსტად და იგი შეიძლება მიღებულ იქნეს როგორც მიახლოებითი გამოსახულება გეოიდისა (ნახ. 1). მაშასადამე, მისი ზედაპირის რეფერენც-

ელიფსოიდის ზედაპირიდან გადახრები, ისევე როგორც გეოიდის ზედაპირისა, 0 ± 150 მეტრამდე აღწევს. ვ. ერემეევის შრომებით ნაჩვენებია, რომ მაშინაც, როცა ელიფსოიდზე რედუცირებას ახდენდნენ გეოიდის, როგორც დამხმარე ზედაპირის, შესაბამისი ფორმულებისა და ელემენტების საშუალებით, ფაქტიურად იყენებდნენ და საქმე გვექონდა არა გეოიდიდან, არამედ კვაზიგეოიდიდან.

(1) ნახაზზე კვაზიგეოიდის (ან გეოიდის) ზედაპირი წააგავს ტალღას რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირის მიმართ, იგი სიმაღლეში სხვადასხვა ოლე-



ნახ. 1 6. 7. 1.

ნობის ანომალიების მქონეა. სიმაღლეში ეს დაუმთხვევლობა ანუ ტალღის სახე ძირითადად დამოკიდებულია ელიფსოიდის პარამეტრების ზომების ოდენობებზე, დედამიწის ტანში მისი ორიენტაციების მეთოდისა და ლითოსფეროსა და ზემო მანტიის აგებულების თავისებურებაზე. კვაზიგეოიდის რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირთან შეუთავსებლობას ორნაირი სახე აქვს: ზოგადი ტალღისა, რომელსაც იწვევს ლითოსფეროსა და ზემო მანტიის ზოგადი აგებულების არათანაბრობა, და ადგილობრივი ტალღებისა, გამოწვეული ლითოსფეროსა და ხმელეთის ზედაპირის ადგილობრივი თავისებურებით (ნახ. 1, c მთა-გორები და d მკერვივი ქანები). ზოგადი ტალღების ამპლიტუდა (ანომალური) აღწევს ± 150 მ-მდე და ხასიათდება დიდი განფენილობებითა და მდოვრულობით; ადგილობრივ ტალღებს კი აქვს მცირე განფენილობა, სწრაფად ქრება და ამავე დროს იწვევს კვაზიგეოიდის ზედაპირის სიმრუდის მკვეთრად შეცვლას (ნახ. 1, c და d უბნების საზღვრები).

B. გეოდეზიური სიმაღლის ნორმულ და ანომალურ სიმაღლეებად დანაწილების თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა

როგორც ცნობილია, რეფერენც-ელიფსოიდის, როგორც ძირითად საკოორდინატო ზედაპირის, მიმართ ისაზღვრება დედამიწის ნამდვილი სახის შესაბამისი დამახასიათებელი წერტილების სამ-სამი კოორდინატი.

■ გადახრას სრულს უწოდებენ, რადგანაც მას ხშირად საზღვრავენ მისი № და 7 მდგენელებით. პირველი მდგენელი იმყოფება დაკვირვების წერტილის მერიდიანის სიბრტყეში, მეორე კი მთავარი (პირველი) ვერტიკალის სიბრტყეში (2.1.1.1 ნახაზი), მას ასტრონომიულ-გეოდეზიური პქვია იმიტომ, რომ მისი ოდენობის დადგენა ხდება წერტილების ასტრონომიული და გეოდეზიური კოორდინატების შედარებით ((2.1.1.4), (2.1.1.5), (2.1.1.7), (2.1.1.8) ფორმულები), ხოლო ფარდობითს უწოდებენ იმიტომ, რომ დედამიწის ერთი და იმავე წერტილში სხვადასხვა რეფერენც-ელიფსოიდს შეესაბამება სხვადასხვა ოდენობების მქონე გადახრები. მაგალითად, როგორც ვიცით, ჩვენში იყენებდნენ ბესელის ელიფსოიდს (1.6.5 პარაგრაფი), ამჟამად კი გამოყენებულია კრასოვსკის ელიფსოიდი, რის გამოც მოხდა ყოველ წერტილში ახალი გადაანგარიშებები (2.1.3 პარაგრაფი). ამჟამად ■ საზღვრავენ ასტრონომიულ-გეოდეზიური და გრავიმეტრიული მეთოდებით. ასე რომ, მას უწოდებთ შვეულის სრულ ფარდობითს ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიულ გადახრას.

თუ დავაკვირდებით წ' ანომალიებს და შვეულის ■ გადახრებს, მათ შორის უნდა იყოს ახლო კავშირი, რადგანაც ორივე ოდენობა გაპირობებულია დედამიწის შინაგანი აგებულების თავისებურებებით. აზიტომ მათი ოდენობების დადგენა უაღრესად საჭიროა დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისათვის.

როგორც ვხედავთ, შვეულის გადახრების დადგენისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ სამი მეთოდი: 1) ასტრონომიულ-გეოდეზიური, 2) გრავიმეტრიული და 3) ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული. ეს მეთოდები განხილულია (2.1.2), (2.1.3), (2.1.4) პარაგრაფებში.

დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენის შესახებ განხილად თავში მოყვანილი მისალის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს ასეთი დასკვნა:

დედამიწის საერთო სახედ იღებდნენ სფეროს (პირველი მიახლოება) და მის მიმართ ისაზღვრებოდა დედამიწის ნამდვილი სახე (I პერიოდი. ჩე. წ. ა. VI საუკუნიდან ჩვენი წ. ა. XVII საუკუნის ბოლომდე).

დედამიწის საერთო სახედ იღებდნენ სფეროიდს — ბრუნვის ელიფსოიდს (მეორე მიახლოება) და მის მიმართ ისაზღვრებოდა დედამიწის ნამდვილი სახე (II პერიოდი. XVII საუკუნის ბოლოდან XIX საუკუნის დასაწყისამდე).

დედამიწის საერთო სახედ იღებდნენ გეოიდს, რომლის ზედაპირი ისაზღვრებოდა რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან მის ნორმალზე აღმატებების გადაზომვებით (არაზუსტად) და გეოიდის ზედაპირიდან იმავე ნორმალზე ორთომეტრიული სიმაღლეების გადაზომვით დაახლოებით დგინდებოდა დედამიწის ნამდვილი სახე (III პერიოდი. XIX საუკუნის დასაწყისიდან XX საუკუნის პირველ ნახევრამდე).

დედამიწის საერთო სახედ იღებენ კვაზიგეოიდს (თითქოს ან თითქმის გეოიდი), რომლის ზედაპირი ისაზღვრება რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირთან მის ნორმალზე ანომალიების გადაზომვებით (ზუსტად) და ამ კვაზიგეოიდის ზედაპირიდან იმავე ნორმალზე ნორმალური სიმაღლეების გადაზომვით ზუსტად დგინდება გარკვეული სახელმწიფოს ან სახელმწიფოების შესაბამისი დედამიწის ნამდვილი სახე (IV პერიოდი. XX საუკუნის პირველი ნახევრის ბოლოდან).

დედამიწის საერთო სახედ იღებენ კვაზიგეოიდს, რომლის ზედაპირი უნდა იყოს განსაზღვრული მსოფლიო (აბსოლუტური) ელიფსოიდის ზედაპირიდან მის ნორმალეზზე ანომალიების გადაზომვებით. კვაზიგეოიდის ზედაპირიდან იმავე ნორმალეზზე ნორმალური სიმაღლეების გადაზომვებით ზუსტად დადგინდება მთელი დედამიწის ნამდვილი სახე. ეს მომავლის საქმეა, რადგანაც განაზომების რედუცირებისათვის საჭირო ან შესაძარ ზედაპირად (დედამიწის საერთო სახედ) ჯერჯერობათ მხოლოდ რეფერენც-ელიფსოიდი გვაქვს (V ბოლო პერიოდი).

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Беррот А., Хофман В., Космическая геодезия, Иностран. литерат., Москва, 1963.
2. Блажко С. Н., Курс общей астрономии, Гостехиздат, 1947.
3. Блажко С. Н., Курс сферической астрономии, Гостехиздат, 1953
4. Блажко С. Н., Курс практической астрономии, Гостехиздат, 1951.
5. ბალაქაძე ბ., გრავიმეტრიის კურსი, თბ. სახ. უნ. გამომცემლობა, 1972.
6. ბალაქაძე ბ., დედამიწის შინაგანი აგებულება, „ცოდნა“, თბილისი, 1965.
7. ბენაშვილი ან., სფერული ასტრონომია, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1938.
8. ბენაშვილი ან., სფერული ტრიგონომეტრია, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1933.
9. Грушинский Н. П., Теория фигуры земли, физ.-мат. изд-во, Москва, 1963.
10. ჭანელიძე ალ., ზოგადი გეოლოგიის მოკლე კურსი, თბილისის სახ. უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1968.
11. Закатов П. С., Курс высшей геодезии, Недра, Москва, 1964.
12. Зданович В. Г. и другие, Высшая геодезия, Недра, Москва, 1970.
13. Иордан В., Эггерт О., Кненигсль М. Руководство по геодезии, том 6. Недра, Москва, 1971.
14. იმნაძე შ., ზოგადი ასტრონომია, სამეცნ. შეთ. კაბინეტის გამომცემლობა, თბილისი, 1951
15. Каула У., Спутниковая геодезия, Мир, Москва, 1970.
16. Клейд Орр., Между землей и космосом, Гидрометиздательство, Ленинград, 1964.
17. Красовский Ф. Н., Избранные сочинения, том IV, геодезиздат, Москва, 1955
18. Макаров Н. П., Геодезическая гравиметрия, Недра, Москва, 1968.
19. Михалов А. А., Курс гравиметрии и теории фигуры земли, ГУГК, 1939.
20. Морозов В. П., Курс сферической геодезии, Недра, Москва, 1968.
21. Полак И. Ф., Курс астрономии, Гостехиздат, 1955.
22. Соловьев А. Ф. и другие, Геодезия, военное изд-во, Москва, 1966.
23. Степанов Н. Н., Сферическая тригонометрия, Гостехиздат, 1948.
24. Струве О., Линдс Э., Пиланс «Элементарная астрономия», Наука, Москва, 1964.
25. Струве О., В. Зетвергс., Астрономия XX века, Мир, Москва, 1968.
26. ტაბატაძე კ., სფერული ტრიგონომეტრია, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1954.
27. ტაბატაძე კ., უმალღესი გეოდეზია, I ნაწილი, ცოდნა, თბილისი, 1959.
28. თევზაძე ნ., განაზომთა შეცდომების თეორია, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1957.
29. თევზაძე ნ., განაზომთა აღზომების თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა, ცოდნა, თბილისი, 1968.
30. თევზაძე ნ., უმცირეს კვადრატთა მეთოდი, ცოდნა, თბილისი, 1964.
31. ხარაძე ევგ., ასტრონომია, ცოდნა, თბილისი, 1961.
32. ხარაძე ევგ., ზოგადი ასტროფიზიკის კურსი, თბილისის სახ. უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1960.

რ ე ც ე ნ ზ ე ნ ტ ე ბ ი:

ს. ქართველს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტ,
მეცნიერების დასახურებული შოლვაწე, ფიზიკა-მათემატიკის მეც-
ნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ბ. ბალავაძე**
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი **ხ. შათაშვილი**
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,
დოცენტი **დ. ლონდაძე**
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,
დოცენტი **ი. ტარახაშვილი**

რედაქტორი პ. ლაბარტუავა
მხატვრული რედაქტორი ელ. სულთანშვილი
ტექნიკური რ. შაქავარიანი
კორექტორი პ. დგებუაძე

გადაეცა წარმოებას 4. IV, 73. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 5. II, 71, საბეჭდო ქაღალდი № 1,
ქაღალდის ზომა 70 X 108¹/₁₆, პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 26.95. საარტიცხო-საგამომცემლო
თაბახი 23.03.

ტირაჟი 3.000,

შეკვეთა № 269

უე 00312

შპსი 1 მან. 74 კპპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ., 5.

Издательство «Ганатлсба», Тбилиси, ул. Марджанишвили № 5.
1974

სპი-ს სტამბა, ლენინის, 69

Типография ГПИ, ул. Ленина, 69.