Բ. Ե. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ
Լ. Վ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ

ԱՍՏՂԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Բ. Ե. ԹՈՒՄԱՆՑԱՆ, Լ. Վ. ՄԻՐԶՈՑԱՆ

ԱՍՏՂԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Թույլատրված է Հայկ. ՍՍՀ բարձրագույն և միջնակարգ մասնագիտական կրթության մինիստրության կողմից՝ որպես ուսումնական ձեռնարկ բուհերի ուսանողների համար

ԵՐԵՎԱՆԻ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆ — 1978

«Աստղագիտության» ներկա ձեռնարկը գոյություն ունեցող դասագրքերից տարբերվում է հիմնականում իր շարադրանքով: Այն ունի որոշակի աստղաֆիզիկական կողմնորոշում: Նրանում զգալի տեղ է հատկացված աստղաֆիզիկական այն պրոբլեմներին (անկայուն տիեզերական մարմիններ և համակարգեր, գալակտիկաների կորիզներ և քվազարներ, գերխիտ նյութ և այլն), որոնք հայտնաբերվեցին վերջին տասնամյակներում և արմատապես փոխեցին մեր պատկերացումները նյութի գոյավիճակների ու բընույթի մասին: Դրա շնորհիվ աներևակայելիորեն աճեց աստղագիտության գիտական ու ճանաչողական նշանակությունը:

Ձեռնարկի նպատակն է տալ այդ հարցերի մատչելի շարադրանքը աստղագիտության հետ առնչվող ուսանողների, ինչպես նաև ոչ մասնագետների համար: Ձեռնարկը կազմել են աստղաֆիզիկայի ամբիոնի պրոֆեսորներ Լ. Վ. Միրզոյանը և Բ. Ե. Թումանյանը: Նրա առանձին մասերը գրել են՝ Լ. Վ. Միրզոյանը՝ ներածությունը և II, VII, VIII, IX, X, XI գլուխները. Բ. Ե. Թումանյանը՝ I, III, IV, V, VI գլուխները և հավելվածները:

52
Թ—76
60602—02
Թ 41—76
704(02)—77

© Երևանի համալսարանի հրատարակչություն, 1977

ТУМАНЯН БЕНИК ЕСАЕВИЧ
МИРЗОЯН ЛЮДВИК ВАСИЛЬЕВИЧ
АСТРОНОМИЯ
Учебное пособие
(На армянском языке)
Издательство Ереванского университета
Ереван — 1977

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

§ 1. Աստղագիտության առարկան և բաժինները

Աստղագիտության ուսումնասիրության առարկան մեզ շրջապատող նյութական աշխարհն է՝ տիեզերքը: Աստղագիտական հետազոտությունները ընդգրկում են նյութի տիեզերական բոլոր գոյաձևերը՝ լուսին ու մոլորակներ (այդ թվում, երկիրը, որպես մոլորակ), գիսավորներ ու աստուպներ, արեգակ ու աստղեր, միգամածություններ ու միջաստղային նյութ, աստղակույտեր ու աստղափյուռներ, մեր Կաթնի Համակարգ (Գալակտիկա) ու նրանից դուրս գտնվող միևնույն բնույթի աստղային համակարգեր (գալակտիկաներ), գալակտիկաների ֆիզիկական խմբեր ու կույտեր և այլն: Աստղագիտությունը զբաղվում է երկնային մարմինների տարածական բաշխման ու շարժումների, կառուցվածքի ու քիմիական բաղադրության, ֆիզիկական բնույթի ու հատկությունների, առաջացման ու զարգացման հարցերով:

Ըստ ուսումնասիրության խնդիրների, այն կարելի է բաժանել հետևյալ հիմնական բաժինների՝ աստղաչափություն (աստրոմետրիա), տեսական աստղագիտություն, աստղաբաշխություն և աստղաֆիզիկա:

Աստղաչափության *հիմնական խնդիրը երկնքում երկնային մարմինների դիրքերի անկյունաչափական դիտումներն են և չափումների արդյունքները պարունակող կատալոգների կազմումը: Դրա հիման վրա աստղաչափությունը մեթոդներ է մշակում ժամանակի ընթացքում երկնային մարմինների տեսանելի շարժումների օրինաչափությունները բացահայտելու համար: Մասնավորապես, այդ տվյալներով որոշվում են տեղի աշխարհագրական կոորդինատները և ճշգրիտ ժամանակը:*

Տեսական աստղագիտությունը *մաթեմատիկական մեթոդներ է մշակում երկնային մարմինների տեսանելի դիրքերի դիտումների հիման վրա նրանց ուղեծրերի որոշման խնդրի, ինչպես նաև նրա հակադարձ (ուղեծրերի միջոցով տեսանելի դիրքերի կանխորոշման)*

խնդրի լուծման համար: Տեսական աստղագիտությանը սերտորեն հարում է երկնային մեխանիկան, որը ուսումնասիրում է երկնային մարմինների շարժման օրենքները, զբաղվում է երկնային մարմինների զանգվածների, ձևերի և նրանց համակարգերի կայունության պայմանների որոշմամբ:

Աստղաբաշխությունն ուսումնասիրում է աստղերի, նրանց ֆիզիկական համակարգերի, միգամածությունների ու միջաստղային նյութի բաշխման և շարժման օրինաչափությունները:

Աստղաֆիզիկան, աստղագիտության ամենածավալուն և բուռն զարգացող բաժինը, զբաղվում է երկնային մարմինների ու Տիեզերքում տեղի ունեցող երևույթների ֆիզիկական ուսումնասիրությամբ, տիեզերական մարմինների կառուցվածքի, վիճակի ու քիմիական բաղադրության, տիեզերական նյութի հատկությունների բացահայտմամբ ու մեկնաբանությամբ: Ըստ ուսումնասիրության մեթոդների այն երբեմն բաժանում են ենթաբաժինների (օպտիկական աստղագիտություն, ռադիոաստղագիտություն, ինֆրակարմիր աստղագիտություն, ռենտգենյան աստղագիտություն և այլն): Սովորաբար աստղաֆիզիկային են վերագրում նաև կոսմոգոնիան և կոսմոլոգիան:

Կոսմոգոնիան մշակում է երկնային մարմինների ու նրանց համակարգերի, այդ թվում Արեգակնային համակարգության, առաջացման և զարգացման հարցերը, իսկ **կոսմոլոգիան՝** Տիեզերքի, որպես ամբողջության, կառուցվածքի ու զարգացման ընդհանուր օրինաչափությունները:

Աստղագիտության բոլոր թվարկված բաժինները սերտորեն կապված են իրար հետ և աստղագիտության ամեն մի նման դասակարգում, կրում է բավական ձևական բնույթ:

Աստղագիտության առաջացման և զարգացման պատմությունից: Աստղագիտությունը հնագույն գիտություններից է: Նրա ծնունդը և զարգացումը հին դարերում ամբողջապես պայմանավորված էր մարդու գործնական կյանքում կենսական նշանակություն ունեցող կողմնորոշման և ժամանակի որոշման խնդիրներով:

Դեռևս մեր թվականությունից առաջ աստղագիտությունը բավականաչափ զարգացած էր Բաբելոնում, Եգիպտոսում, Չինաստանում և Հունաստանում: Որոշ տվյալներ կան այն մասին, որ նույն ժամանակաշրջանում Փոքր Ասիայում, մասնավորապես Հայկական լեռնաշխարհում, բնակվող ժողովուրդներն ունեցել են իր ժամանակի համար հարուստ աստղագիտական գիտելիքներ:

Հազարամյակների ընթացքում աստղագիտությունը մարդկանց օգնել է երկնային մարմինների դիտումների միջոցով երկրի վրա

կողմնորոշվելու, ժամանակը որոշելու, օրացույց և աշխարհագրական քարտեզներ կազմելու, ծովագնացության և օդագնացության ծառայությունների սպասարկման գործում մեթոդներ մշակելուն:

17-րդ դարի սկզբից, աստղադիտակի հայտնագործումից հետո, խիստ ընդլայնվեցին աստղագիտական հետազոտությունների նպատակները, բարձրացավ նրանց ճշգրտությունն ու արդյունավետությունը: Որակապես ընդլայնվեց աստղագիտական հետազոտությունների բովանդակությունը: Գործնական նշանակություն ունեցող խնդիրների հետ միասին, աստղագիտությունն սկսեց զբաղվել երկնային մարմինների բնույթի, նրանց առաջացման ու զարգացման հարցերով: Այդ բնույթի հարցերը, հետագայում, կարևորագույն տեղ գրավեցին աստղագիտության մեջ:

Աստղագիտության զարգացումը կարելի է բնութագրել, որպես աստղագիտական դիտումների մեթոդների, աստղագիտական գործիքների ու զգայուն լուսաընդունիչների կիրառության միջոցով Տիեզերքի մեր դիտումների համար մատչելի մասի չափերի անընդհատ աճի մի պրոցես, որը, հաճախ, ուղեկցվել է որակապես նոր բնույթի մարմինների և երևույթների հայտնագործմամբ ու ուսումնասիրությամբ: Աստղագիտության լուրջ հաջողությունները ձեռք են բերվել, հիմնականում, հզոր աստղադիտակների և ուսումնասիրության նոր մեթոդների կիրառության շնորհիվ:

Ուսումնասիրության օբյեկտների բնույթից ելնելով աստղագիտության պատմությունը կարելի է բաժանել երեք հիմնական փուլերի:

Առաջին, համեմատաբար երկարատև փուլը, մինչև 19-րդ դար, գրեթե ամբողջովին նվիրված էր Արեգակնային համակարգության ուսումնասիրությանը:

Աստղագիտության զարգացման հաջորդ, երկրորդ փուլը, որն սկսվեց 19-րդ դարի կեսերին, կապված էր միջին մեծության աստղադիտակների կիրառության հետ և նվիրված էր հիմնականում, մեր աստղային համակարգի՝ Գալակտիկայի ուսումնասիրությանը:

Վերջապես, զարգացման վերջին, երրորդ փուլում, որը սկսվեց մեր դարի 20-ական թվականներին, շնորհիվ մեծ աստղադիտակների կիրառության, աստղագիտական ուսումնասիրության կարեվորագույն օբյեկտներ դարձան Գալակտիկայից դուրս գտնվող արտագալակտիկական տիեզերական մարմինները՝ հեռավոր գալակտիկաներն ու նրանց ֆիզիկական համակարգերը:

Ներկայումս, աստղագիտության աննախընթաց զարգացման դարաշրջանում, հետազոտությունները տարվում են աստղագիտու-

թյան բոլոր երեք թվարկված «մակարդակներում»՝ արեգակնային, գալակտիկական և արտագալակտիկական։

§ 2. Աստղագիտության նշանակությունը

Աստղագիտության գործնական կարևոր նշանակությունը, առաջին հերթին պայմանավորված է մարդկային հասարակության կյանքում ժամանակի որոշման ու պահպանության, աստղագիտական կողմնորոշման (աշխարհագրական կոորդինատներ), օրացույցի ու քարտեզների կազմման կիրառական խնդիրների լուծմամբ։

Մեր ժամանակներում աստղագիտությունը նոր գործնական կիրառություն գտավ մարդու ստեղծած «տիեզերական» մարմինների՝ ավտոմատ գիտական կայանների ու տիեզերանավերի շարժման ուղեծրերի նախագծման և աստղերի օգնությամբ նրանց թռիչքների կողմնորոշման հարցերում։

Մեծ է Տիեզերքի ուսումնասիրության ճանաչողական նշանակությունը։ Աստղագիտական հետազոտությունները որոշում են Երկրի, հետևաբար և մարդկության տեղը Տիեզերքում։ Նրանք վճռական դեր են խաղացել Տիեզերքի վերաբերյալ մատերիալիստական ուսմունքի մշակման և հիմնավորման գործում։

Տիեզերական մարմինների ու երևույթների ուսումնասիրությունը, որի շնորհիվ բացահայտվում են մեզ շրջապատող նյութական աշխարհի կառուցվածքի ու զարգացման օրինաչափությունները, ապացուցում է Տիեզերքի նյութականությունը, նրա նյութական միասնությունը ժամանակի և տարածության մեջ, նրա բնական, օրինաչափ զարգացումը։

Աստղագիտական հետազոտությունների հիման վրա բնության մեջ բացահայտվում են նյութի Երկրի վրա անծանոթ գոյաձևեր, օժտված միանգամայն նոր հատկություններով, որը հաստատում է դիալեկտիկական մատերիալիզմի հիմնական դրույթն այն մասին, որ նյութի որակական վիճակներն անսահմանորեն բազմազան են։

Աստղագիտական հետազոտությունների ճանաչողական կարևոր նշանակության շնորհիվ աստղագիտությունն, իր ամբողջ պատմության ընթացքում, եղել և ներկայումս մնում է մատերիալիստական ու իդեալիստական աշխարհայացքների պայքարի մի թատերաբեմ, որտեղ մատերիալիստական աշխարհայացքի տարած բազմաթիվ հաղթանակները սրել են պայքարը և այն ծավալել ավելի ու ավելի բարդ խնդիրներում։

Տիեզերական մարմինների ու երևույթների ֆիզիկական ուսումնասիրությունը, վերջապես, չափազանց կարևոր է բնագիտության հիմնական պրոբլեմի՝ նյութի կառուցվածքի և զարգացման օրի-

նաչափությունների բացահայտման համար։ Այդ ուսումնասիրության արդյունքները վկայում են, որ տիեզերական նյութը հաճախ գտնվում է այնպիսի արտասովոր վիճակներում (գերխիտ, գերնոսր, բարձր ջերմաստիճանային և այլն), որոնք բացակայում են Երկրի վրա։ Մի շարք դեպքերում այդ վիճակները հնարավոր չէ վերարտադրել երկրային լաբորատորիաներում։ Ուստի, նյութի այդպիսի վիճակները չեն կարող ուսումնասիրվել անմիջականորեն, երկնային ֆիզիկայում։ Մինչդեռ, աստղաֆիզիկական հետազոտությունները վկայում են, որ նման արտասովոր վիճակներում գտնվող տիեզերական նյութն օժտված է նույնպես արտասովոր, հաճախ գիտությանն առայժմ անծանոթ, հատկություններով։ Տիեզերքում նյութի վիճակների հսկայական բազմազանության շնորհիվ աստղաֆիզիկական հետազոտություններն արդեն նպաստել են նյութի կառուցվածքի և արմատական հատկությունների վերաբերյալ մեր պատկերացումների ընդլայնմանն ու խորացմանը, բազմիցս օգնել նոր ֆիզիկական օրինաչափությունների բացահայտմանը, նյութական աշխարհի խոր ճանաչմանը։

Այդ բանի փայլուն հաստատումներն էին, օրինակ, Երկրի վրա մինչ այդ անհայտ, նոր քիմիական տարրի՝ հելիումի հայտնաբերումը Արեգակի մթնոլորտում, վերջինիս սպեկտրի դիտումների հիման վրա, և էներգիայի ջերմամիջուկային աղբյուրների հայտնագործումը՝ Արեգակի ու աստղերի ճառագայթման հնարավոր աղբյուրների տեսական ուսումնասիրության շնորհիվ։

Վերջին ժամանակներս աստղագիտական հետազոտությունները հանգեցրել են տիեզերական նոր մարմինների՝ գալակտիկաների կորիզների, քվազարների[1] և բաբախիչների (պուլսարների)[2] հայտնագործմանը, որոնք իրենց բնույթով արմատապես տարբերվում են տիեզերական նյութի հայտնի գոյաձևերից՝ սովորական աստղերից, միջաստղային գազից ու փոշուց։ Աստղերում և աստղային համակարգերում բացահայտվել են ֆիզիկական անկայունության այնպիսի երևույթներ, որոնք ուղեկցվում են էներգիայի վիթխարի քանակների ազատմամբ և որոշիչ դեր են խաղում տիեզերական նյութի զարգացման մեջ։

Հիշյալ մարմինների, նրանց հետ կապված ֆիզիկական երևույթների բազմակողմանի ուսումնասիրություն անկասկած, ա-

[1] Քվազար-քվազի աստղային օբյեկտ (քվազի նշանակում է գրեթե)։ Քվազարները օպտիկական ու ռադիոճառագայթման շատ հզոր, աստղանման աղբյուրներ են։

[2] Այդպես են կոչվում իրենց ճառագայթման պարբերական և իմպուլսաձև փոփոխությունների համար։

վելի կհարստացնի և կխորացնի մեր գիտելիքները նյութի կառուցվածքի, նրա արմատական հատկությունների և զարգացման օրինաչափությունների վերաբերյալ։

Աստղագիտության այդ առանձնահատկություններով է պայմանավորված այն փաստը, որ ներկայումս նա դարձել է ժամանակակից գիտության ամենահետաքրքիր ու հեռանկարային բնագավառներից մեկը, որի նշանակությունն օրեցօր աճում է։

§ 3. Աստղագիտությունը դիտողական գիտություն է

Աստղագիտությունը հիմնվում է տիեզերական մարմինների և երևույթների բազմատեսակ դիտումների արդյունքների վրա և այդ իմաստով զուտ դիտողական գիտություն է։ Աստղագիտությունը, գործնականում, զուրկ է տիեզերական մարմինների ու երևույթների հետ փորձեր կատարելու, նրանց վրա ներգործելու հնարավորությունից։

Ճիշտ է, Երկրի արհեստական արբանյակների արձակումից հետո աստղագիտությունը ձեռք բերեց նման փորձեր կատարելու որոշ հնարավորություններ, որոնք ժամանակի ընթացքում անկասկած կընդլայնվեն։ Սակայն, անկասկած է, որ աստղագիտության փորձարարական հնարավորությունները հեռավոր ապագայում էլ խիստ սահմանափակ կլինեն, փորձերի համար մատչելի ծավալի, հետևաբար նյութի առկա գոյաձևերի բազմազանության տեսակետից։

Իրոք, ժամանակակից խոշորագույն աստղադիտակների ու ռադիոդիտակների համար «հասանելի» ամենահեռավոր տիեզերական մարմինների ճառագայթումը՝ լույսը կամ ռադիոալիքները, մեզ հասնում է շուրջ տաս միլիարդ տարում։ Եթե Տիեզերքի մեր դիտումների համար մատչելի այդ ծավալը մտովի ներկայացնենք Երկրի չափերն ունեցող մի գնդի (տրամագիծը շուրջ 13.000 կմ) ձևով, որի կենտրոնում տեղավորենք Արեգակը, ապա Արեգակնային համակարգության ամենահեռավոր մոլորակը, Պլուտոնը, կգտնվի նրանից մոտ մեկ միկրոն (1 միկրոն=0,001 մմ) հեռավորության վրա։ Այլ կերպ ասած, մեր մոդելում Արեգակնային համակարգությունն ամբողջովին կտեղավորվի ընդամենը մեկ միկրոն շառավղով գնդի ներսում։

Մյուս կողմից, չնայած հրթիռային տեխնիկայի և տիեզերական թռիչքների բնագավառում ձեռք բերված հսկայական նվաճումներին, մարդու ստեղծած գիտական ավտոմատ կայանները առայժմ կարողացել են հասնել միայն մեր անմիջական տիեզերական հարևաններին՝ Լուսնին և մոտակա մոլորակներին (Վեներա, Մարս, Յուպիտեր, Մերկուրի)։ Արեգակնային համակարգության ավելի հեռավոր մոլորակներին (Սատուրն, Ուրան, Նեպտուն, Պլուտոն) կարելի կլինի հասնել թերևս մոտ ապագայում։ Սակայն, Արեգակնային համակարգության սահմաններից դուրս թռիչքների և Արեգակի մոտակա հարևան աստղերին հասնելու մասին առայժմ դեռ վաղ է խոսել։

Ուստի, որպես ծայրահեղ լավատեսության արտահայտություն միայն կարելի է օգտագործել Երկրի արհեստական արբանյակների և տիեզերական ավտոմատ գիտակայանների թռիչքների կապակցությամբ մեր օրերում տարածված «Տիեզերքի նվաճում և իրացում» արտահայտությունը։ Բոլոր դեպքերում այն վերաբերում է միայն Արեգակնային համակարգության ծավալին։

Եթե նկատի ունենանք, որ աստղագիտական դիտումների համար մատչելի ծավալի ընդարձակումը մինչև այժմ հաճախ ուղեկցվել է նյութի տիեզերական նոր գոյաձևերի հայտնաբերմամբ, ապա պարզ կդառնա նշված սահմանափակության սկզբունքային բնույթը։

Բարեբախտաբար, աստղագիտության ուսումնասիրության օբյեկտների և երևույթների հսկայական բազմազանությունը լիովին փոխհատուցում է նրա փորձարարական խիստ սահմանափակ հնարավորությունները։ Տիեզերական նյութի անսահմանորեն բազմազան վիճակների դիտումների հնարավորությունը աստղագիտության կարևորագույն առանձնահատկությունն է, աստղագիտական հետազոտությունների արդյունավետության երաշխիքը։

§ 4. Աստղագիտության տեղը բնական գիտությունների շարքում

Աստղագիտությունը սերտորեն կապված է այլ բնական գիտությունների հետ։

Աշխարհագրության և գեոդեզիայի ծնունդն ու զարգացումը անմիջականորեն պայմանավորված են աստղագիտական դիտումների գործնական կիրառություններով (աշխարհագրական կոորդինատների որոշում, Երկրագնդի ձևի ու չափերի, նրա ձգողական դաշտի ուսումնասիրություն և այլն)։

Ավելի նշանակալից է աստղագիտության կապը ֆիզիկայի և մաթեմատիկայի հետ։ Աստղագիտությունը զգալիորեն ազդել է այդ գիտությունների զարգացման վրա, իր հերթին լայնորեն օգտվելով այդ գիտությունների մեթոդներից։

Այսպես, Արեգակի շուրջը մոլորակների շարժումների օրինաչափությունների ուսումնասիրության հիման վրա Յոհան Կեպլերը 17-րդ դարի սկզբում հայտնագործեց մոլորակների շարժման օրենքները, իսկ Իսահակ Նյուտոնը որոշ ժամանակ անց տվեց նրանց գի-

տական բացատրությունը, տիեզերական ձգողականության, երկայումս իր անունը կրող, օրենքի օգնությամբ։ Հենց այդ հետազոտությունները, փաստորեն հիմք ծառայեցին հիշյալ ժամանակաշրջանում ֆիզիկայի հիմնական բաժնի՝ տեսական մեխանիկայի ձևավորման և զարգացման համար։ Մոլորակների և գիսավորների շարժումների ուսումնասիրությունը 18-րդ դարի վերջերին կարլ Գաուսին սկզբունքային նշանակություն ունեցող արդյունքների հանգեցրեց մաթեմատիկայի կարևոր բաժիններում (անվերջ շարքեր, չափումների մաթեմատիկական մշակում և այլն)։

Աստղագիտությունն իր հետազոտություններում մշտապես օգտվում է ֆիզիկայի և մաթեմատիկայի հզոր զինանոցից։ Աստղագիտության դասական բաժիններում մեծ մասամբ օգտագործվում էին մաթեմատիկայի մեթոդները, իսկ հետագայում, հիմնականում աստղաֆիզիկայի ձևավորումից հետո, լայն կիրառություն ստացան նաև փորձարարական, ինչպես նաև տեսական ու մաթեմատիկական ֆիզիկայի մեթոդները։ Իրականում, աստղաֆիզիկայի ծնունդը հենց կապված էր ֆիզիկական մեթոդներով Արեգակի ու աստղերի ուսումնասիրության հետ։

Բնական գիտությունների հետ աստղագիտության բեղմնավոր փոխազդեցությունը մեր օրերում շարունակվում է։

§ 5. Տիեզերքի կառուցվածքի համառոտ ուրվագիծ

Մեզ շրջապատող Տիեզերքում դիտվում են բազմաթիվ երկնային մարմիններ ու նրանց համակարգեր։

Երկրագունդը կամ Երկիրը, մարդկության օրրանը այդ մարմիններից մեկն է։ Նա մոլորակ է՝ սեփական ճառագայթումից գործնականորեն զուրկ, սառած մի մարմին։ Նույն բնույթի ուրիշ մեծ, մի քանի հազար փոքր մոլորակների, բազմաթիվ գիսավորների ու աստղային մարմինների հետ միասին նա կազմում է Արեգակի ընտանիքը՝ Արեգակնային համակարգությունը։

Արեգակն, իր բնույթով ու չափերով, ավելի բարձր դասի երկնային մարմին է։ Նա մի աստղ է, շիկացած գազերի հրե մի գունդ, որն օժտված է սեփական հզոր ճառագայթմամբ։ Շնորհիվ այն բանի, որ Արեգակը Երկրին ամենամոտ աստղն է, նա բացառիկ կարևոր դեր է խաղում մարդկության կյանքում։ Երկրի վրա գոյություն ունեցող օրգանական կյանքը ամբողջովին պայմանավորված է Արեգակի ճառագայթմամբ։

Ամռան և աշնան անլուսին գիշերներին երկնակամարի վրա աչքի ընկնող Միր Կաթնի պայծառ շերտը մեծ հեռավորությունների

վրա գտնվող տասնյակ միլիարդավոր աստղերի միաձուլված լույսն է։ Միր Կաթնի բոլոր աստղերը, մեզ շատ ավելի մոտ գտնվող և այդ պատճառով զատ-զատ դիտվող աստղերի հետ միասին, մրտնում են մի վիթխարի աստղային համակարգի կազմի մեջ, որին անվանում են Գալակտիկա (Միր Կաթնի անվանումն է հունարեն լեզվով)։ Արեգակը, Արեգակնային համակարգության հետ, Գալակտիկայի մի շարքային անդամ է։

Աստղերի ընդհանուր թիվը Գալակտիկայում շուրջ հարյուր միլիարդ է։ Արեգակի նման միայնակ աստղերից բացի, Գալակտիկայում կան ձգողական ուժերով իրար հետ կապված աստղերի բազմաթիվ խմբավորումներ՝ կրկնակի, եռակի և ավելի մեծ բազմակիության համակարգեր, աստղակույտեր և աստղասփյուռներ։

Գոյություն ունեն անուղղակի վկայություններ այն մասին, որ ինչպես Արեգակի, այնպես էլ Գալակտիկայի աստղերի մի մասի շուրջը գոյություն ունեն մութ արբանյակներ՝ մոլորակներ։

Գալակտիկայում շատ են նաև նոսր գազից ու փոշուց կազմված գոյացությունները՝ տարբեր տիպի միգամածությունները։ Դրանք, մեծ մասամբ, գազի համեմատաբար խիտ կուտակումներ են, փոշու որոշ խառնուրդով։ Միջաստղային տարածությունը ևս դատարկ չէ։ Այն լցված է շատ նոսր և խիստ անհամասեռ, առանձին ամպերի ձևով բաշխված, գազափոշային նյութով։ Գազափոշային նյութի ընդհանուր զանգվածը Գալակտիկայում կազմում է նրա ամբողջ զանգվածի շուրջ երկու տոկոսը։

Նույնպիսի բաղադրություն ունեն Գալակտիկայից դուրս ըրտնրվող, հիմնականում միևնույն բնույթի, մյուս աստղային համակարգերը՝ գալակտիկաները[3]։ Գալակտիկաների ընդհանուր թիվը, Տիեզերքի մեր դիտումների համար մատչելի մասում, մի քանի հարյուր միլիոնից անցնում է։

Գալակտիկաները, իրենց ճնշող մեծամասնությամբ, հանդիպում են ֆիզիկական համակարգերի՝ բազմագալակտիկաների, գալակտիկաների կույտերի կազմում, իսկ այս վերջինները՝ ավելի խոշոր համակարգերի, գալակտիկաների գերկույտերի, կազմում։

Բոլոր դիտվող բազմագալակտիկաները, գալակտիկաների կույտերն ու գերկույտերը միասին մտնում են մեզ հայտնի ամենաբարձր կարգի մի վիթխարի համակարգի կազմի մեջ։ Այդ համակարգը կոչվում է Մետագալակտիկա։ Ենթադրվում է, որ Մետագալակտիկայի սահմանները գտնվում են Տիեզերքի՝ մեր դիտումների համար մատչելի ծավալից դուրս։

---

[3] Ի տարբերություն մեր Գալակտիկայի, նրանց անունը գրվում է փոքրատառով։

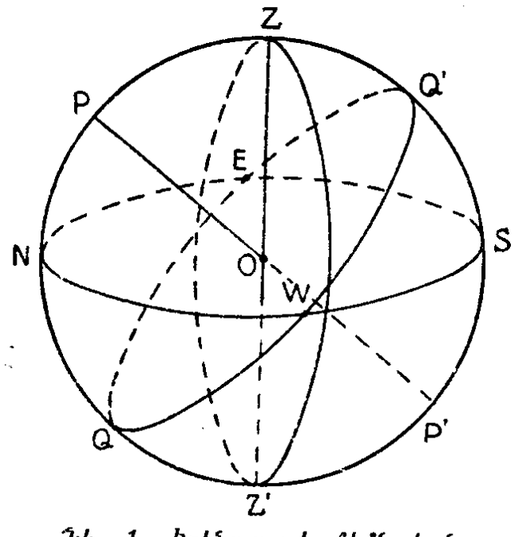
Գ լ ու խ I

ԵՐԿՆՈԼՈՐՏԻ ՏԵՍԱՆԵԼԻ ՇԱՐԺՈՒՄԸ

§ 6. Երկնոլորտ

Անկախ նրանից, թե դիտողը երկրի մակերևույթի որ մասում է գտնվում, նրան թվում է, թե իրեն շրջապատում է մի կիսագունդ, որի վրա ամրացված են լուսատուները: Իրականում գնդային այդպիսի մակերևույթ գոյություն չունի: Լուսատուները գտնվում են տարբեր հեռավորությունների վրա: Քանի որ նրանց հեռավորությունները շատ մեծ են, մեր աչքերը հնարավորություն չունեն նրանց տարբերելու, ուստի նրանք թվում են միևնույն հեռավորության վրա: Ցերեկը գնդային հիշյալ մակերևույթը կապտավուն է, քանի որ մեր մթնոլորտում առավելապես ցրվում են Արեգակի կապտավուն ճառագայթները:

Աստղագիտության մեջ, լուսատուների իրական շարժումներն ուսումնասիրելիս, հաշվումները հեշտացնելու նպատակով, որպես մաթեմատիկական հասկացողություն ընդունվում է երկնոլորտը (երկնային սֆերա): Դա այն գնդային մակերևույթն է, որի կենտրոնում գտնվում է դիտողի աչքը և որի շառավիղը կամավոր է (սովորաբար ընդունվում է անվերջ մեծ):



Նկ. 1. Երկնոլորտի հիմնական կետերն ու շրջանները:

Երկնոլորտի հիմնական ուղղություններից է ուղղաձիգ ուղղությունը՝ ZZ′ *(Երկրի մակերևույթի տվյալ կետում ծանրության ուժի ուղղությունը): Ուղղաձիգ ուղղության և երկնոլորտի հատման կետերից մեկը (դիտողի գլխավերևում գտնվողը) կոչվում է* զենիթ (Z), *իսկ մյուսը՝* նադիր (Z′): *Երկնոլորտի կենտրոնով անցնող և ուղղաձիգ ուղղությանն ուղղահայաց հարթությունը կոչվում է* հորիզոնի հարթություն *(նկ. 1): Վերջինիս և երկնոլորտի հատման մեծ շրջանագիծը՝ մաթեմատիկական հորիզոն կամ ուղղակի՝* հորիզոն:

Երկնոլորտի մյուս հիմնական ուղղությունը նրա կենտրոնով անցնող և Երկրի առանցքին զուգահեռ տարված ուղղությունն է: Նրա և երկնոլորտի հատման կետերը կոչվում են աշխարհի հյուսիսային (P) և հարավային (P′) բևեռներ, *իսկ բևեռները միացնող գիծը՝* աշխարհի առանցք (PP′):

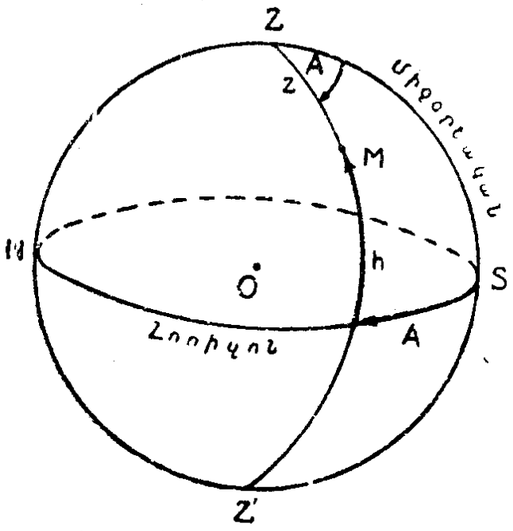
Երկնոլորտի կենտրոնով անցնող և աշխարհի առանցքին ուղղահայաց հարթությունը կոչվում է հասարակածային հարթություն: Երկնոլորտի հետ վերջինիս հատման մեծ շրջանագիծը կոչվում է երկնային հասարակած: *Բևեռներով, զենիթով ու նադիրով անցնող շրջանագիծը կոչվում է* երկնային միջօրեական: *Հասարակածի ու Հորիզոնի հատման կետերն անվանվում են* արևելքի (E) *ու* արևմուտքի (W) *կետեր: Դրանցից 90° հեռավորության վրա գտնվող Հորիզոնի կետերը կոչվում են հյուսիսի (N) և հարավի (S) կետեր. իսկ նրանց միացնող տրամագիծը (NS) կոչվում է* միջօրեի գիծ:

§ 7. Երկնային կոորդինատներ

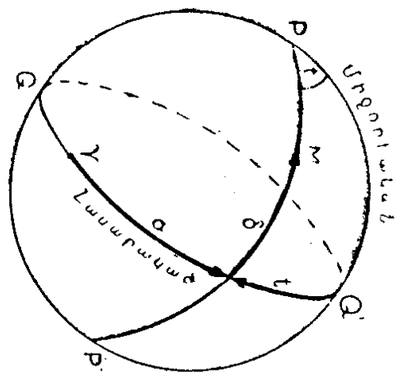
Երկրի մակերևույթի վրա տվյալ վայրի դիրքը որոշվում է երկու կոորդինատներով՝ աշխարհագրական լայնությամբ ու երկայնությամբ: Առաջինը այդ վայրի անկյունային հեռավորությունն է Երկրի հասարակածից, իսկ երկրորդը՝ այդ վայրով և Գրինվիչի աստղադիտարանով անցնող միջօրեականներով կազմված անկյունը: Աստղագիտության մեջ համանման ձևով որոշում են լուսատուների դիրքերը երկնոլորտի վրա: Կախված հիմնական հարթության ընտրությունից, այստեղ օգտագործում են կոորդինատների հորիզոնական, հասարակածային և այլ համակարգեր:

1. Հորիզոնական կոորդինատների համակարգ: *Այստեղ հիմնական հարթությունը հորիզոնի հարթությունն է (նկ. 2): Կոորդինատներից մեկը լուսատուի անկյունային հեռավորությունն է հորիզոնից, որը կոչվում է* բարձրություն (h). *փոփոխվում է 0°-ից մինչև +90° (հորիզոնից վերև) և 0°-ից մինչև —90° (հորիզոնից ներքև) սահմաններում: Լուսատուով, զենիթով ու նադիրով անցնող շրջանագիծը կոչվում է* բարձրության շրջան:

Լուսատուի մյուս կոորդինատը միջօրեականի հարթությամբ և նրա բարձրության շրջանով կազմված երկնիստ անկյունն է, որը կոչվում է ազիմուտ (A). *չափվում է հարավի կետից դեպի արև-*



Նկ. 2. Հորիզոնական կոորդինատներ։



Նկ. 3. Հասարակածային կոորդինատներ։

մուտք. ստանում է 0°-ից մինչև 360° արժեքներ[4]։ Բարձրության փոխարեն հաճախ հարմար է լինում օգտագործել զենիթային հեռավորությունը (z), որը լուսատուի անկյունային հեռավորությունն է զենիթից։ Այն փոփոխվում է 0°-ից (զենիթում) մինչև 180°-ի (նադիրում) սահմաններում։ Լուսատուի բարձրությունն ու զենիթային հեռավորությունը իրար հետ կապված են

$$h+z=90^\circ$$

առնչությամբ։

Սովորաբար հորիզոնական կոորդինատներն օգտագործում են լուսատուների օրական շարժումների ուսումնասիրման ժամանակ (ծագում, մայրամուտ, միջօրեականով անցնելու պահ և այլն)։

2. Հասարակածային կոորդինատների համակարգ։ Այստեղ որպես հիմնական հարթություն ընդունվում է հասարակածի հարթությունը (նկ. 3)։ Տարբերում են հասարակածային կոորդինատների երկու համակարգ.

ա) Հասարակածային կոորդինատների առաջին համակարգ։ Կոորդինատներից մեկն ընդունվում է լուսատուի անկյունային հեռավորությունը հասարակածից, որը կոչվում է հակում (δ)։ Չափվում է 0°-ից +90°-ի (հյուսիսային կիսագնդի լուսատուների դեպքում) և 0°-ից —90°-ի (հարավային կիսագնդի լուսատուների դեպքում) սահմաններում։ Բևեռներով և լուսատուով անցնող շրջանը կոչվում է հակման շրջան։

[4] Գեոդեզիայում, ինչպես նաև արհեստական երկնային մարմինների դիտումների ժամանակ, սովորաբար, ազիմուտը չափվում է հյուսիսի կետից։

Մյուս կոորդինատը միջօրեականի և լուսատուի հակման շրջանի հարթություններով կազմված երկնիստ անկյունն է, որը կոչվում է ժամային անկյուն (t)։ Չափվում է միջօրեականից, երկնոլորտի պտտման ուղղությամբ (հյուսիսային բևեռից նայելիս ժամացույցի սլաքի պտտման ուղղությամբ)։ Սովորաբար այն արտահայտում են ժամանակի միավորներով՝ 15°-ին 1 (1°-ին 4^m և 1′-ին՝ 4) հաշվով։ Այնպես որ փաստորեն t-ն փոփոխվում է 0^h-ից 24^h-ի սահմաններում[5]։

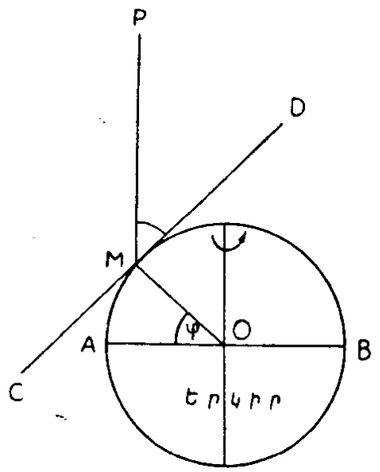
բ) Հասարակածային կոորդինատների երկրորդ համակարգ։ Երկնոլորտի օրական պտտման ընթացքում լուսատուները շարժվում են երկնային հասարակածին զուգահեռ շրջանագծերով։ Նշանակում է, վերը նշված կոորդինատներից միայն հակումն է, որը ժամանակի ընթացքում չի փոփոխվում։ Աստղացուցակներ և աստղային քարտեզներ կազմելիս նպատակահարմար է ունենալ այնպիսի կոորդինատներ, որոնք անկախ են երկնոլորտի օրական պտույտից։ Այդ նպատակով օգտագործվում է հասարակածային կոորդինատների երկրորդ համակարգը։ Այստեղ ևս կոորդինատներից մեկը հաստատուն է հակումը։ Մյուս կոորդինատի հաստատուն լինելու համար անհրաժեշտ է, որ նրա հաշվման սկզբնակետը ևս մասնակցի երկնոլորտի օրական պտույտին։ Այդպիսի կետ է ծառայում գարնանային գիշերահավասարի կետը՝ հասարակածի այն կետը, ուր լինում է Արեգակը գարնանային գիշերահավասարի օրը (մարտի 21-ին)։ Երկրորդ կոորդինատը հասարակածի այն աղեղն է, որն ընկած է գարնանային գիշերահավասարի կետի և լուսատուի հակման շրջանի միջև։ Անվանվում է ուղղակի ծագում (α)։ Չափվում է երկնոլորտի պտտման հակառակ ուղղությամբ։ Սովորաբար ուղղակի ծագումը ևս արտահայտվում է ժամանակի միավորներով. հետևաբար նրա արժեքը գտնվում է 0^h-ից 24^h-ի սահմաններում։

Գարնանային գիշերահավասարի կետի անկյունային հեռավորությունը միջօրեականից (Q′V) կոչվում է աստղային ժամանակ. (s)։ Նկ. 3-ից երևում է, որ աստղային ժամանակի, լուսատուի ժամային անկյան և ուղղակի ծագման միջև գոյություն ունի $s=\alpha+t$ առնչությունը։

[5] Այստեղ, ինչպես նաև հետագայում, ժամանակի միավորները կօգտագործվեն *ժամի*՝ h, *րոպեի*՝ m և *վայրկյանի*՝ s ընդունված նշանակումներով (որոնք լատիներեն hora-*ժամ*, minuta-*րոպե* և secunda-*վայրկյան* բառերի սկզբնատառերն են)։

§ 8. Բևեռի բարձրության կախումը աշխարհագրական լայնությունից

Աշխարհագրական լայնություն ասելով հասկացվում է, թե տրված վայրը Երկրի հասարակածից ի՞նչ անկյունային հեռավորության վրա է գտնվում: Նկ. 4-ից երևում է, որ այն հավասար կլինի ∠MOA-ին, ուր M-ը դիտման վայրն է, իսկ AB-ն՝ Երկրի հասարակածը: Դիտողի համար աշխարհի բևեռը կգտնվի Երկրի պտտման առանցքին զուգահեռ ուղղության վրա: Իսկ հորիզոնը (CD) կլինի այդ կետում Երկրի մակերևույթին տարված շոշափողը: Բևեռի անկյունային հեռավորությունը հորիզոնից հավասար կլինի ∠PMD-ին: Բայց, քանի որ ∠MOA-ի և ∠PMD-ի կողմերը փոխադարձ ուղղահայաց են, ուստի և նրանք իրար հավասար են: Այսպիսով, բևեռի բարձրությունը (կամ նրա անկյունային հեռավորությունը հորիզոնից) հավասար է տեղի աշխարհագրական լայնությանը՝



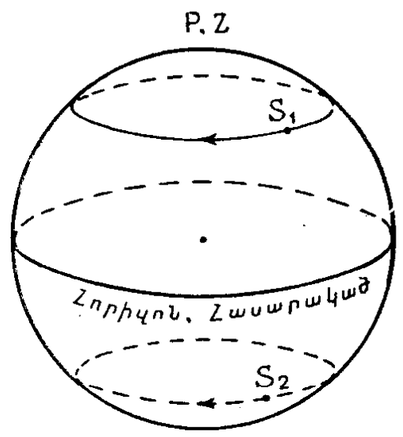
Նկ. 4. Տեղի աշխարհագրական լայնության և բևեռի բարձրության կապը:

$$\varphi = h_p :$$

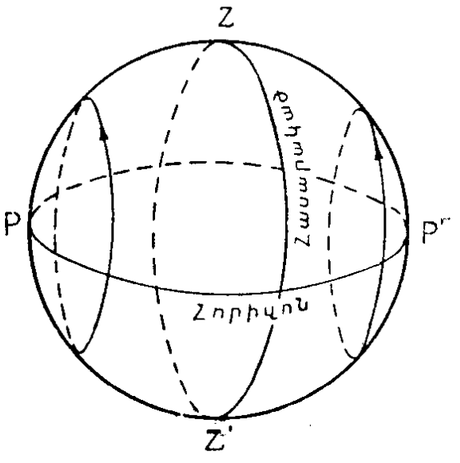
§ 9. Երկնոլորտի տեսանելի օրապտույտը տարբեր աշխարհագրական լայնություններում

Երկրի առանցքային պտույտի հետևանքով դիտողին թվում է, թե ինքն է անշարժ և նրա շուրջը այդ նույն պարբերությամբ, բայց հակառակ ուղղությամբ, պտտվում է երկնոլորտը՝ նրա վրա «ամրացված» լուսատուների հետ միասին: Քանի որ լուսատուն իր օրապտույտը կատարում է հասարակածին զուգահեռ, իսկ բևեռներում գտնվողների համար հասարակածն ու հորիզոնը համընկնում են (նկ. 5), այդ վայրերում կդիտվեն միայն այն լուսատուները, որոնք հորիզոնից վերև են գտնվում: Այդպիսինները դիտողի շուրջը կգծեն շրջանագծեր և մշտապես կերևան (օրինակ, S_1 աստղը), իսկ որոնք հորիզոնից ցած են, չեն երևում, մշտապես կգտնվեն հորիզոնից ներքև (օրինակ, S_2 աստղը): Այսպիսով, բևեռներում աստղերի մի մասը կլինի մայր չմտնող, իսկ մյուս մասն էլ՝ չծագող:

Երկրի հասարակածի վրա գտնվող դիտողի համար հորիզոնը



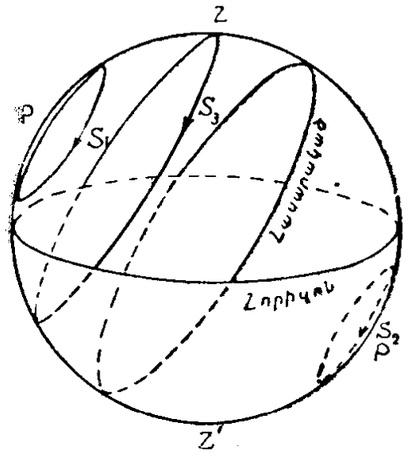
Նկ. 5. Լուսատուների օրական շարժումը բևեռներում:



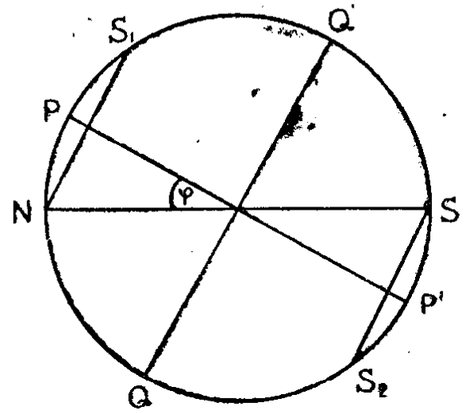
Նկ. 6. Լուսատուների օրական շարժումը հասարակածում:

ուղղահայաց է հասարակածին: Դրա համար էլ բոլոր լուսատուները կլինեն ծագող և մայր մտնող. ընդ որում յուրաքանչյուրը ուղիղ կես օր կերևա, կես օր էլ՝ չի երևա (նկ. 6):

Միջանկյալ լայնություններում հասարակածն ու հորիզոնը իրար նկատմամբ թեք են (կազմում են 0°-ից և 90°-ից տարբեր անկյուններ): Դրա համար էլ այստեղ աստղերի մի մասը (երևացող բևեռին մոտ գտնվողները) իրենց շարժման ընթացքում երբեք մայր չեն մտնի (օրինակ, S_1 աստղը. տե՛ս նկ. 7): Չերևացող բևեռին մոտ գտնվողներն էլ հորիզոնից չեն բարձրանա, այսինքն՝ կլինեն չծագողներ (օրինակ, S_2 աստղը): Մնացած լուսատուները պարբերաբար կծագեն և մայր կմտնեն (օրինակ, S_3-ը): Օրվա ընթացքում լուսատուի բարձրությունը կփոփոխվի: Նրա ուղին միջօրեականի PSP′ մասի հետ հատվելիս բարձրությունը կլինի առավելագույնը. ընդունված է ասել, որ այդ դեպքում լուսատուն կատարում է վերին կուլմինացիա. իսկ մյուս կեսին հատելիս՝ նվազագույնը. այս դեպքում լուսատուն կատարում է ստորին կուլմինացիա: Այժմ քննարկենք թե ի՞նչ կոորդինատներ ունեցող լուսատուները տվյալ φ աշխարհագրական լայնության դեպքում կլինեն մայր չմտնող, ո՞ր դեպքում չծագող և, վերջապես՝ ծագող ու մայր մտնող: Նկ. 8-ում տրված է երկնոլորտի պրոյեկցիան միջօրեականի հարթության վրա: NS-ը հորիզոնն է, QQ′-ը՝ հասարակածը: Աշխարհի առանցքի և հորիզոնի կազմած անկյունը կլինի φ-ն: S_1 աստղը գտնվում է այնպիսի հեռավորության վրա, որի օրական զուգահեռականն ընկած է հորիզոնից վերև, իսկ S_2-ինը՝ հորիզոնից ներքև: S_1-ի հակումը՝ $\delta_1 = S_1Q' = NQ = 90° - \varphi$, իսկ S_2-ի հակումը հավասար կլինի նախորդին, բայց հակառակ նշանով՝ $\delta_2 = -(90° - \varphi)$:



Նկ. 7. Լուսատուների օրական շարժումը միջին աշխարհագրական լայնություններում:



Նկ. 8. Մայր չմտնող, չծագող, ծագող ու մայր մտնող լուսատուները:

Այսպիսով ստացվում է, որ եթե լուսատուի $\delta \geqslant 90° - \varphi$, *ապա այն կլինի մայր չմտնող: Եթե* $\delta \leqslant -(90° - \varphi)$, *կլինի չծագող, և վերջապես, միջանկյալ դեպքերի համար, այսինքն, երբ δ-ն բավարարում է*

$$-(90° - \varphi) < \delta < 90° - \varphi,$$

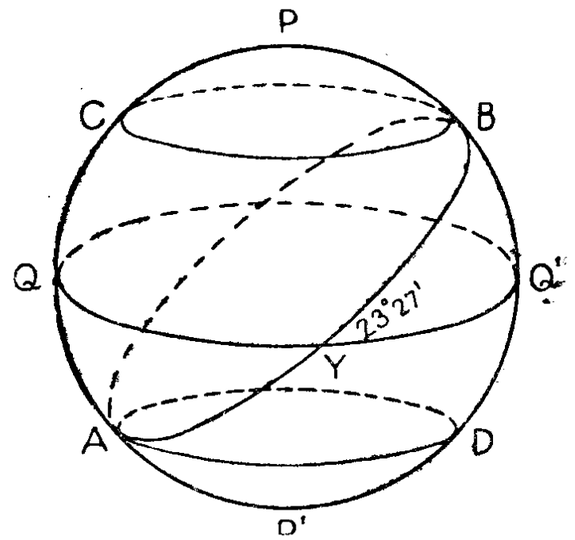
պայմանին, այդպիսի լուսատուն տվյալ վայրի համար կլինի ծագող ու մայր մտնող:

§ 10. Արեգակի տեսաանկյան շարժումը: Խավարածիր

Արեգակը, մյուս լուսատուների նման, մասնակցում է երկնոլորտի ընդհանուր օրապտույտին: Սակայն Արեգակի շուրջը Երկրի տարեպտույտի հետևանքով Արեգակը, աստղերից հետզհետե ետ ընկնելով, նրանց նկատմամբ տեղափոխվում է դեպի արևելք: Իսկ Երկրի օրական պտտման առանցքի թեք լինելու և այդ առանցքն ինքն իրեն զուգահեռ մնալու պատճառով էլ փոփոխվում են նաև Արեգակի կեսօրյա բարձրությունն ու նրա ծագման և մայրամուտի կետերը: Հյուսիսային կիսագնդում հունիսի 22-ին բարձրությունն ստանում է առավելագույն արժեք, իսկ ձմռանը փոքրանում է, դեկտեմբերի 22-ին ստանալով նվազագույն արժեք: Մարտի 21-ին և սեպտեմբերի 23-ին Արեգակը ծագում է արևելքի կետում և մայր մտնում՝ արևմուտքի կետում: Ամառային ամիսներին ծագման ու մայրամուտի կետերը տեղափոխվում են դեպի հյուսիս, իսկ ձմեռային ամիսներին՝ դեպի հարավ: Եթե ամեն օր նշենք Արեգակի դիրքը աստղային քարտեզի վրա, ապա կտեսնենք, որ այն հետզհետե տեղափոխվելով, մեկ տարի պարբերությամբ վերականգնում է իր

նախկին դիրքը: Այն ուղին, որով տեղի է ունենում Արեգակի տեսանելի շարժումը երկնոլորտով, կոչվում է **խավարածիր** (էկլիպտիկա): *Խավարածիրն անցնում է տասներկու համաստեղություններով (Ձկներ, Խոյ, Ցուլ, Երկվորյակներ, Խեցգետին, Առյուծ, Կույս, Կշեռք, Կարիճ, Աղեղնավոր, Այծեղջյուր, Ջրհոս), որոնք կոչվում են* **կենդանակերպի** (Զոդիակոս) *համաստեղություններ: Այդ համաստեղություններում Արեգակը գտնվում է շուրջ մեկական ամիս:*

Խավարածիրը (AB) *երկնոլորտի մեծ շրջաններից մեկն է, որը հասարակածի հետ կազմում է 23° 27′ անկյուն: Խավարածրի ու հասարակածի հատման այն կետը, որով Արեգակը հարավային կիսագնդից անցնում է հյուսիսային կիսագունդ, կոչվում է* **գարնանային գիշերահավասարի** *կետ և նշանակվում է Խոյ համաստեղության նշանով՝* ♈ (նկ. 9): *Դրան տրամագծորեն հակառակ կետը կոչվում է* **աշնանային գիշերահավասարի** *կետ և նշանակվում է Կշեռք համաստեղության նշանով՝* ♎: *Խավարածրի այն կետերը, որոնք գիշերահավասարի կետերից գրաված են 90° հեռավորությունների վրա, կոչվում են* **արևադարձի կետեր**: A *կետը կոչվում է* **ամառային արևադարձի կետ**, *իսկ* B *կետը՝* **ամառային արևադարձի կետ**: *Արևադարձային են կոչվում, որովհետև այդ կետերում գտնվելուց հետո արևը դարձ է կատարում. եթե մինչ այդ մեծանում (փոքրանում) էր նրա կեսօրյա բարձրությունը, ապա հետագայում փոքրանում (մեծանում) է: Ամառային արևադարձի կետով անցնող օրական զուգահեռականը* (CB) *անվանվում է* **Խեցգետնի արևադարձ**, *իսկ ձմեռային արևադարձի կետով անցնող զուգահեռականը* (AD)՝ **Այծեղջյուրի արևադարձ**: *Այդ զուգահեռականները այդպես են կոչվել, քանի որ Արեգակը այդ օրերին մի ժամանակ գտնվել է հիշյալ համաստեղություններում:*



Նկ. 9. Արեգակի տեսանելի շարժումը:

Գարնանային գիշերահավասարի կետում Արեգակը լինում է մարտի 21-ին, ամառային արևադարձի կետում՝ հունիսի 22-ին, աշնանային գիշերահավասարի կետում՝ սեպտեմբերի 23-ին և ձմեռային արևադարձի կետում՝ դեկտեմբերի 22-ին: Խավարածրի

այդ կետերում Արեգակի հասարակածային կոորդինատներն ունեն հետևյալ արժեքները՝

	α	δ
Մարտի 21-ին	0^h	$0°$
Հունիսի 22-ին	6^h	$+23° 27'$
Սեպտեմբերի 23-ին	12^h	$0°$
Դեկտեմբերի 22-ին	18^h	$-23° 27'$

Գարնանային գիշերահավասարի կետով Արեգակի երկու հաջորդական անցումների միջև ընկած ժամանակամիջոցը կոչվում է **արևադարձային տարի**, որի տևողությունը մոտավորապես հավասար է 365,2422 օրվա, կամ 365 օր 5 ժամ 48 րոպե 46 վայրկյանի։

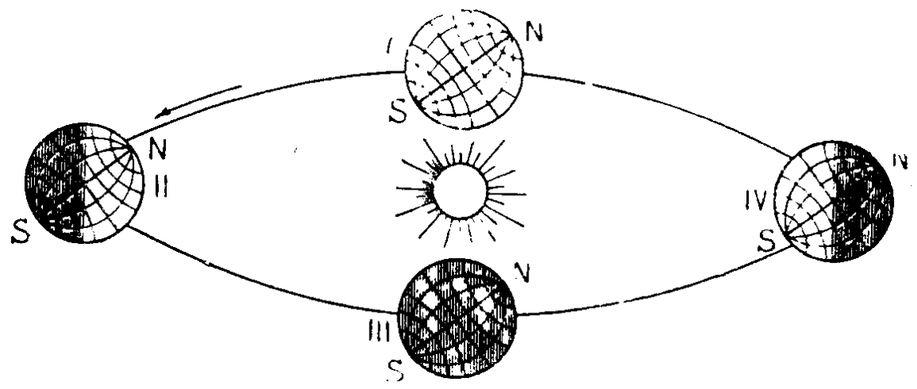
Հասարակածում տարվա բոլոր օրերին Արեգակը 12 ժամ գտնվում է հորիզոնից վերև, 12 ժամ հորիզոնից ներքև, այսինքն՝ գիշերն ու ցերեկը միշտ լինում են իրար հավասար։ Ցերեկվա ու գիշերվա տևողությունները միջանկյալ լայնություններում հավասարվում են միայն գիշերահավասարի օրերին։ Մարտի 21-ից հետո հյուսիսային կիսագնդում ցերեկն սկսում է երկարել (գիշերը՝ նույնքանով կարճանալ) հունիսի 22-ին հասնելով առավելագույն (նվազագույն) տևողության։ Այնուհետև Արեգակը դարձ է կատարում. ցերեկն սկսում է կարճանալ, իսկ գիշերը՝ երկարել։ Սեպտեմբերի 23-ին դրանց տևողությունները նորից են հավասարվում։ Այնուհետև ցերեկը շարունակում է կարճանալ (գիշերը երկարել) մինչև դեկտեմբերի 22-ը։ Այդ օրը ցերեկը տարվա մեջ ունենում է նվազագույն տևողություն, գիշերը՝ առավելագույն։ Դրանից հետո, Արեգակը նորից դարձ կատարելով, ցերեկն սկսում է հետզհետե երկարել (գիշերը կարճանալ) մինչև մարտի 21-ը, երբ նրանց տևողությունները հավասարվում են։

Ցերեկվա ու գիշերվա առավելագույն ու նվազագույն տևողությունների արժեքը կախված է տեղի աշխարհագրական լայնությունից։ Երևանում (որի $\varphi = 40° 14'$) ցերեկվա առավելագույն տևողությունը հասնում է 15 ժամի։ Այդ օրը (հունիսի 22-ին) գիշերը լինում է 9 ժամ։ Դեկտեմբերի 22-ին ունենում ենք հակառակ պատկերը։

Երկրի բևեռներում հասարակածը և հորիզոնը համընկնում են։ Նշանակում է, հյուսիսային բևեռում կերևան այն լուսատուները, որոնց $\delta > 0$։ Մարտի 21-ին Արեգակի $\delta = 0°$, նշանակում է այդ օրը այն կլինի հորիզոնի վրա։ Դրանից հետո, սպիրալաձև պտտվելով, հետզհետե կբարձրանա, հունիսի 22-ին հորիզոնից կգտնվի $23° 27'$ բարձր։ Այնուհետև սպիրալաձև հետզհետե կիջնի և գրեթե կես տա-

րի հետո՝ սեպտեմբերի 23-ին նորից կգտնվի հորիզոնի վրա։ Տարվա մյուս կեսում այնտեղ կլինի գիշեր, քանի որ Արեգակը կշարունակի հորիզոնից ցած իջնել մինչև դեկտեմբերի 22-ը, որից հետո հետզհետե կբարձրանա և կծագի մարտի 21-ին։

1. Արեգակի տեսանելի տարեպտույտը փաստորեն Երկրի շարժման անդրադարձումն է։ Իրականում ոչ թե Արեգակն է պտտվում Երկրի շուրջը, այլ Երկիրը՝ իր առանցքի և Արեգակի շուրջը։ Երկրի առանցքային մեկօրյա պտտման հետևանքով մերթ Երկրի մի կողմն է ուղղվում դեպի Արեգակ, մերթ՝ մյուս։ Այստեղից էլ առաջանում են ցերեկվա ու գիշերվա երևույթները։ Տարվա տարբեր օրերին դրանց տևողությունների փոփոխությունները հետևանք են ուղեծրի հարթությանը Երկրի պտտման առանցքի ուղղահայաց չլինելու, ինչպես նաև Արեգակի շուրջը Երկրի բոլորվելու։ Երկրի ուղեծիրը էլիպս է։ Երկրի պտտման առանցքը ուղեծրի հարթության ուղղահայացի հետ կազմում է $23° 27'$ անկյուն։ Ընդ որում այդ առանցքը տարածության մեջ մնում է ինքն իրեն զուգահեռ։ Նկ. 10-ում պատկերված է Երկրի չորս դիրքերը իր ուղեծրի վրա։



Նկ. 10. Տարվա եղանակների առաջացումը։

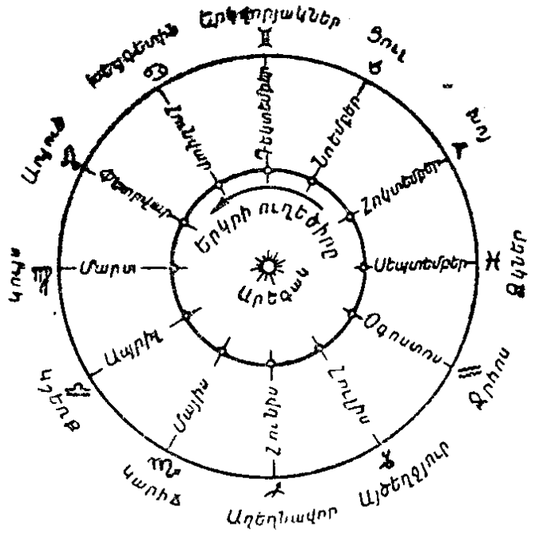
II դիրքում Երկիրը դեպի Արեգակ է թեքված իր հյուսիսային մասով։ Դրա համար էլ այդ կիսագնդում ցերեկները երկարատև են և Արեգակի ճառագայթները ավելի մեծ անկյան տակ են ընկնում Երկրի մակերևույթի վրա, հետևաբար և ուժեղ են տաքացնում։ Հյուսիսային կիսագնդում լինում է ամառ, հարավայինում՝ ձմեռ։ IV դիրքում ունենք հակառակ պատկերը։ Այս անգամ էլ հարավային կիսագնդում է լինում ամառ, իսկ հյուսիսայինում՝ ձմեռ։ I և III դիրքերում Երկիրը գտնվում է գիշերահավասարի օրերին, երբ նրա պտտման առանցքը ուղղահայաց է Արեգակից մեզ ուղղված ճառագայթներին։ Երկրի խավար ու լուսավոր կիսագնդերը բաժանող հատվածն անցնում է Երկրի առանցքով։ Այս դեպքերում ոչ

միայն ցերեկվա ու գիշերվա տևողություններն են հավասար, այլև հյուսիսային ու հարավային կիսագնդերը Արեգակի ճառագայթներից օգտվելու տեսակետից գտնվում են հավասար պայմաններում։ Եվ քանի որ հյուսիսային բևեռից նայելիս Երկիրը Արեգակի շուրջը պտտվում է ժամացույցի սլաքի պտտման հակառակ ուղղությամբ, ապա I դիրքում հյուսիսային կիսագնդում կլինի գարուն, իսկ հարավայինում՝ աշուն։ III դիրքում աշուն կլինի հյուսիսային կիսագնդում և գարուն՝ հարավայինում։

Տարվա եղանակները հյուսիսային կիսագնդում ունեն հետևյալ տևողությունները.

Գարուն . . . . . 92,8 օր,
Ամառ . . . . . 93,6 օր,
Աշուն . . . . . 89,8 օր,
Ձմեռ . . . . . 89,0 օր։

Տևողությունների անհավասար լինելը բացատրվում է նրանով, որ Երկիրը Արեգակի շուրջը պտտվելով էլիպսով, նրան մոտ մասերում շարժվում է արագ, իսկ հեռու մասերում՝ դանդաղ։

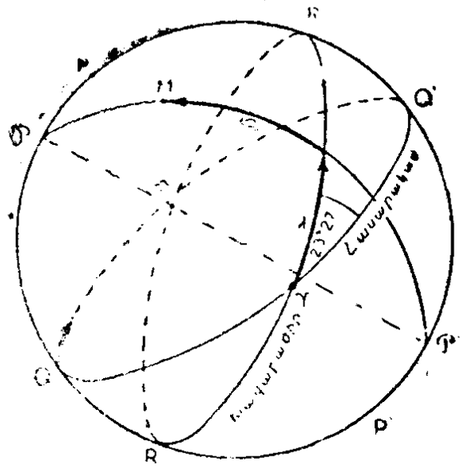


Նկ. 11. Արեգակի տեսանելի շարժումը կենդանակերպով։

Երկրի շարժման ուղեծիրը գտնվում է խավարածրի հարթության վրա։ Եվ փաստորեն խավարածիրը Երկրի ուղեծրի պրոյեկցիան է երկնոլորտի վրա։ Արեգակից Երկրին նայելիս այն կպրոյեկտվի կենդանակերպի համաստեղություններում (նկ. 11)։ Երբ Երկիրը լինում է մարտին համապատասխանող դիրքում, Արեգակը երևում է տեսադծի ուղղությամբ՝ Ձկներ համաստեղությունում։ Այնուհետև Երկիրը տեղափոխվելիս, մեզ թվում է, որ Արեգակն է այդ նույն ուղղությամբ տեղափոխվում, սակայն տրամագծորեն հակառակ դասավորված համաստեղություններով։

§ 11. Կոորդինատների խավարածրային (էկլիպտիկական) համակարգ

Այստեղ որպես հիմնական հարթություն ընդունվում է խավարածրի հարթությունը (նկ. 12)։ Կոորդինատներն են՝ խավարածրային լայնությունը (β) և երկայնությունը (λ)։ Առաջինը լուսատուի անկյունային հեռավորությունն է խավարածրից։ Փոփոխվում է 0°-ից +90° դեպի խավարածրի հյուսիսային բևեռը և 0°-ից —90° դեպի խավարածրի հարավային բևեռը։ Խավարածրային երկայնությունը խավարածրի այն աղեղն է, որն ընկած է գարնանային գիշերահավասարի կետի և լուսատուի խավարածրային լայնության շրջանի միջև։ Չափվում է 0°-ից 360° սահմաններում՝ երկնոլորտի պտտման հակառակ ուղղությամբ։ Ակնհայտ է, որ խավարածրային լայնությունն ու երկայնությունը անկախ են երկնոլորտի օրապտույտից։



Նկ. 12. Խավարածրային կոորդինատներ։

Կոորդինատների խավարածրային համակարգը սովորաբար օգտագործվում է Արեգակնային համակարգության անդամների (Արեգակի, Լուսնի, մոլորակների ու նրանց արբանյակների) տեսանելի շարժումներն ուսումնասիրելիս։

§ 12. Հիմնական տեղեկություններ ոլորտային (սֆերիկական) եռանկյունաչափությունից

Գնդային մակերևույթի այն մասը, որը սահմանափակված է երեք մեծ շրջանագծերի աղեղներով, կոչվում է սֆերիկ եռանկյուն։ Նրա գագաթներն ու կողմերը չափվում են անկյունային միավորներով. ընդ որում եռանկյան գագաթի անկյունը որոշվում է որպես գագաթով անցնող և եռանկյան կողմերին տարված շոշափողներով կազմված անկյուն։

Սֆերիկ եռանկյունը կստացվի, եթե գնդային մակերևույթը հատենք մի եռանիստ անկյունով, որի գագաթը գտնվում է գնդի կենտրոնում։ Ուստի, եռանիստ անկյան հայտնի հատկություններին համանման, ստացվում են սֆերիկ եռանկյան հետևյալ հատկությունները.

ա) Երկու կողմերի գումարը մեծ է, իսկ տարբերությունը՝ փոքր երրորդ կողմից։

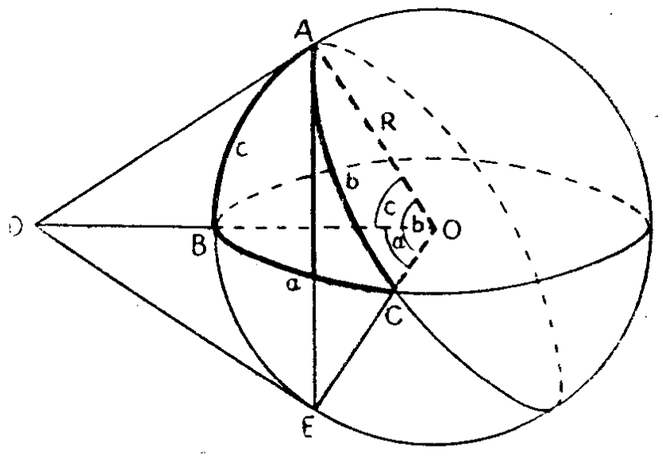
բ) Երեք կողմերի գումարը մեծ է 0°-ից և փոքր՝ 360°-ից։

գ) Երեք անկյունների գումարը մեծ է 180°-ից և փոքր՝ 540°-ից։ Այդ գումարը համեմատական է եռանկյան մակերեսին։

Արտածենք աստղագիտության մեջ օգտագործվող ոլորտային եռանկյունաչափության բանաձևերը։

1. Կոսինուսների բանաձևերը։ *Սրանք բանաձևեր են, որոնք կապ են ստեղծում սֆերիկ եռանկյան երեք կողմերի ու մի անկյան միջև։*

Նկ. 13-ում ստվար գծերով պատկերված է սֆերիկ եռանկյունը։



Նկ. 13. Սֆերիկ եռանկյուն։

O-ն գնդի կենտրոնն է։ Ակնհայտ է, որ եռանկյան կողմերին հավասար կլինեն a, b և c կենտրոնական անկյունները։ A գագաթից AB և AC կողմերին տանենք շոշափողներ մինչև OB և OC շառավիղների շարունակության հետ հատվելը։ Հատման կետերը միացնող DE հատվածը որոշենք DAE և DOE հարթ եռանկյուններից.

$$(DE)^2 = (AD)^2 + (AE)^2 - 2 \cdot AD \cdot AE \cdot \cos A,$$
$$(DE)^2 = (OD)^2 + (OE)^2 - 2 \cdot OD \cdot OE \cdot \cos a:$$

Նշանակում է՝

$$(AD)^2 + (AE)^2 - 2 \cdot AD \cdot AE \cdot \cos A = (OD)^2 + (OE)^2 - 2 \cdot OD \cdot OE \cdot \cos a: \qquad (1)$$

Բացի դրանից,

$$\Delta ADO\text{-}\text{ից}\ AD = R \cdot \operatorname{tg} c \text{ և } OD = R \cdot \sec c,$$
$$\Delta AEO\text{-}\text{ից}\ AE = R \cdot \operatorname{tg} b \text{ և } OE = R \cdot \sec b:$$

Այդ արժեքները տեղադրելով (1) հավասարության մեջ և R^2-ով կրճատելով, կստանանք՝

$$\operatorname{tg}^2 c + \operatorname{tg}^2 b - 2 \operatorname{tg} c \cdot \operatorname{tg} b \cdot \cos A = \sec^2 c + \sec^2 b - 2 \sec c \cdot \sec b \cdot \cos a:$$

Փոխարինելով $\sec^2 c = 1 + \operatorname{tg}^2 c$ և $\sec^2 b = 1 + \operatorname{tg}^2 b$ արժեքներով, և կատարելով միացումներ, կստանանք՝

$$-\operatorname{tg} c \cdot \operatorname{tg} b \cdot \cos A = 1 - \sec c \cdot \sec b \cdot \cos a,$$

որտեղից (բոլոր ֆունկցիաները արտահայտելով sin-ներով ու cos-ներով և բերելով ընդհանուր հայտարարի), կստանանք

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A:$$

Համանման ձևով բանաձևեր կստանանք նաև b և c կողմերի համար. այն է՝

$$\cos b = \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B,$$
$$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C,$$

այսինքն՝ սֆերիկ եռանկյան որևէ կողմի կոսինուսը հավասար է մյուս երկու կողմերի կոսինուսների արտադրյալին գումարած այդ նույն կողմերի սինուսների և նրանցով կազմված անկյան կոսինուսի արտադրյալը։

2. Սինուսների բանաձևերը։ *Կոսինուսների բանաձևերից առաջինը լուծենք* cos A-*ի նկատմամբ.*

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cdot \cos c}{\sin b \cdot \sin c}:$$

Բարձրացնենք քառակուսի և հավասարության երկու կողմերը հանենք 1-ից.

$$\sin^2 A = 1 - \frac{\cos^2 a - 2 \cos a \cdot \cos b \cdot \cos c + \cos^2 b \cdot \cos^2 c}{\sin^2 b \cdot \sin^2 c}:$$

Աջ մասը բերենք ընդհանուր հայտարարի, այնուհետև համարիչի սինուսները փոխարինենք կոսինուսներով։ Փակագծերը բացելուց, միացումներ կատարելուց և ձախ ու աջ մասերը $\sin^2 a$-ի վրա բաժանելուց հետո կստանանք՝

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cdot \cos b \cdot \cos c}{\sin^2 a \cdot \sin^2 b \cdot \sin^2 c}:$$

Եթե a, b և c տարրերի նկատմամբ կատարենք շրջանային տեղափոխություն, ապա աջ մասի համաչափությունից բխում է, որ այն չի փոխվի։ Նշանակում է, եթե նույն ձևով վարվենք կոսինուսների վերջին երկու բանաձևերի հետ, $\frac{\sin^2 B}{\sin^2 b}$ և $\frac{\sin^2 C}{\sin^2 c}$ հարաբերությունների համար կստանանք նույն արտահայտությունները, ինչ որ $\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a}$ հարաբերության համար։ Այստեղից էլ հետևում է նրանց հավասարությունը՝

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{\sin^2 B}{\sin^2 b} = \frac{\sin^2 C}{\sin^2 c},$$

կամ վերջնական տեսքով՝

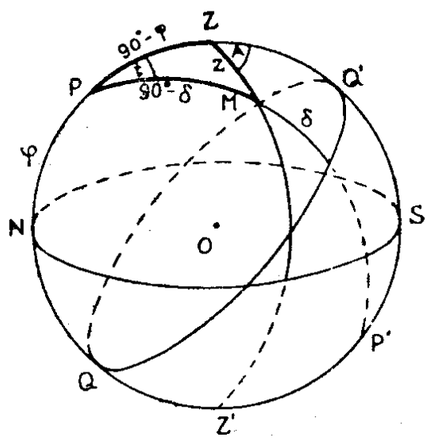
$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}:$$

Այսպիսով սֆերիկ եռանկյան կողմի և նրա դիմացի անկյան սինուսների հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է։

Նշման արժանի է այն, որ երկու բանաձևերում էլ բացակայում է R-ը։ Նշանակում է այդ բանաձևերը ճիշտ են ցանկացած շառավղով գնդային մակերևույթների համար. մասնավորապես դրանք կարելի է կիրառել երկնոլորտի նկատմամբ։

§ 13. Պարալակտիկ եռանկյուն

Այն սֆերիկ եռանկյունը, որի գագաթներն են հյուսիսային բեվեռը, զենիթը և լուսատուն կոչվում է պարալակտիկ (կամ աստղագիտական) եռանկյուն։ Նկ. 14-ից երևում է, որ այդ եռանկյան կողմերը կլինեն 90°—δ, z և 90°—φ։ Վերջինը բխում է նրանից, որ բևեռի բարձրությունը հորիզոնից հավասար է տեղի աշխարհագրական լայնությանը։ Անկյուններից մեկը (∠ZPM) ժամային անկյունն է (t), իսկ մյուսը՝ ∠PZM =180°—A, ուր A-ն լուսատուի ազիմուտն է։



Նկ. 14. Պարալակտիկ եռանկյուն։

Օգտվելով սինուսների ու կոսինուսների բանաձևերից, ծանոթանանք պարալակտիկ եռանկյան մի քանի կիրառություններին հետ։

1. Կոորդինատների ձևափոխությունը։ *Որոշենք լուսատուի հասարակածային կոորդինատները (δ, t), եթե հայտնի են նրա հորիզոնական կոորդինատները (z, A) և տեղի աշխարհագրական լայնությունը (φ)։*

Խնդիրը լուծելու համար անհրաժեշտ է պարալակտիկ եռանկյան կողմը և t անկյունը արտահայտել մնացած տարրերով։ Ըստ կոսինուսների բանաձևի այդ կողմի կոսինուսը հավասար կլինի՝

$$\cos(90°-\delta) = \cos(90°-\varphi)\cdot\cos z + \sin(90°-\varphi)\cdot\sin z\cdot\cos(180°-A),$$

կամ՝

$$\sin\delta = \sin\varphi\cdot\cos z - \cos\varphi\cdot\sin z\cdot\cos A: \qquad (1)$$

Կիրառելով սինուսների բանաձևը, կստանանք

$$\frac{\sin(90°-\delta)}{\sin(180°-A)} = \frac{\sin z}{\sin t},$$

կամ՝

$$\cos\delta\cdot\sin t = \sin z\cdot\sin A: \qquad (2)$$

(1) և (2) հավասարություններում դնելով z-ի, A-ի և φ-ի արժեքները, կորոշենք δ-ն և t-ն։

t-ի համար կստացվեն երկու արժեքներ՝ $t_1<180°$ (կամ 12^h-ից) և $t_2>180°$։ Նրանց ընտրությունը կախված կլինի ազիմուտի արժեքից։ Այն է, եթե ազիմուտը փոքր է 180°-ից, կվերցնենք t-ի առաջին արժեքը։ Իսկ եթե ազիմուտը մեծ է 180°-ից՝ երկրորդ արժեքը։

Հասարակածային երկրորդ համակարգի կոորդինատներից δ-ն կորոշվի նախորդ ձևով, իսկ α-ն ստանալու համար կօգտվենք s = α+t բանաձևից, որտեղ s-ը աստղային ժամանակն է։

Հակադարձ խնդիրը լուծելիս, եթե տրված են (δ, t)-ն ցանկանում ենք որոշել (z,A)-ն համապատասխան անհայտ կողմերի ու անկյունների նկատմամբ նույն բանաձևերը կիրառելով, կստանանք հետևյալ առնչությունները՝

$$\cos z = \sin\varphi\cdot\sin\delta + \cos\varphi\cdot\cos\delta\cdot\cos t, \qquad (3)$$
$$\sin z\cdot\sin A = \cos\delta\cdot\sin t,$$

որոնցով էլ կլուծվի այդ խնդիրը։

2. Լուսատուների ծագման ու մայրամուտի պահերի և ազիմուտների որոշելը։ *Լուսատուն ծագման կամ մայրամուտի պահին լինում է հորիզոնի վրա, այսինքն՝ նրա զենիթային հեռավորությունը հավասար է 90°-ի։ Այդ արժեքը տեղադրելով (1) և (2) հավասարություններում, կստանանք՝*

$$\sin\delta = -\cos\varphi\cdot\cos A,$$
$$\cos\delta\cdot\sin t = \sin A:$$

Տեղի աշխարհագրական լայնության և լուսատուի δ-ի արժեքները տեղադրելով այդ հավասարություններից առաջինում, կրստանանք ազիմուտի երկու արժեքներ։ Այն, որը գտնվում է 180°-ի և 360°-ի միջև, կհամապատասխանի լուսատուի ծագմանը. իսկ 0°-ի և 180°-ի միջև գտնվողը՝ մայրամուտին։ δ-ի և A-ի արժեքները տեղադրելով երկրորդ հավասարությունում, կստանանք ծագմանն ու մայրամուտին համապատասխանող ժամային անկյունները։ Իմանալով t-ն, կորոշենք նաև ծագման ու մայրամուտի պահե-

րը, օգտվելով $s=\alpha+t$ *բանաձևից, s աստղային ժամանակն էլ անհրաժեշտության դեպքում, կարող ենք վերածել արեգակնային ժամանակի։*

3. Լուսատուի կուլմինացիայի պահի և դիրքի որոշելը։ *Կուլմինացիայի պահին լուսատուն գտնվում է միջօրեականի հարթային մասում. այսինքն՝ նրա* $t=0$։ *Տեղադրելով* $s=\alpha+t$ *բանաձևում, կստանանք* $s=\alpha$։ *Այսինքն՝ կուլմինացիայի պահին աստղային ժամանակը հավասար է այդ լուսատուի ուղղակի ծագմանը (իսկ վերջինս նախօրոք հայտնի է աստղացուցակներից)։*

Որպեսզի որոշենք լուսատուի զենիթային հեռավորությունը կուլմինացիայի պահին, $t=0$ *արժեքը տեղադրենք (3) հավասարության մեջ. կստանանք՝*

$$\cos z = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta,$$

կամ

$$\cos z = \cos(\varphi - \delta).$$

որտեղից էլ՝

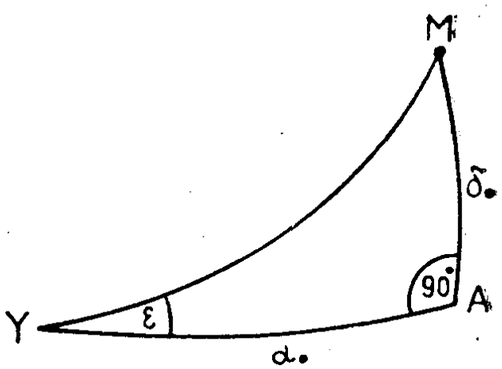
$z_1=\varphi-\delta$ *կամ* $z_2=\delta-\varphi$ *կախված նրանից թե կուլմինացիան կատարվում է զենիթից հարավ* (z_1-*ի դեպքում*), *թե հյուսիս* (z_2-*ի դեպքում*)։

4. Օրվա ժամի որոշելը։ *Նախորդ խնդրում ստացանք, որ աստղային ժամանակը հավասար է այն լուսատուի ուղղակի ծագմանը, որը տվյալ պահին գտնվում է վերին կուլմինացիայում։ Սովորաբար աստղային ժամանակը որոշելիս օգտվում են այդ պարզ առնչությունից։ Սակայն ժամանակը կարելի է որոշել նաև ցանկացած պահին (չսպասելով որ աստղը գտնվի կուլմինացիայում)։ Դրա համար կչափենք տվյալ լուսատուի բարձրությունը (կամ զենիթային հեռավորությունը)։ Այն կտեղադրենք (3) հավասարության մեջ։ Վերջինս կլուծենք նրա մեջ եղած միակ անհայտի՝* cost-*ի նկատմամբ.*

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin\varphi \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta}:$$

Այդ հավասարությունից t-*ի որոշված արժեքը տեղադրելով* $s=\alpha+t$ *բանաձևում, կստանանք աստղային ժամանակը։*

5. Գարնանային գիշերահավասարի կետի դիրքի որոշելը։ *Լուսատուների ուղղակի ծագումը որոշելու համար որպես հաշվման սկզբնակետ ընդունված է գարնանային գիշերահավասարի կետը։ Սակայն երկնքում այն որևէ կերպ չի նշված։ Նրա դիրքը որոշելու համար օգտվենք նկ. 15-ից։ M-ով պատկերված է Արեգակը վերին կուլմինացիայում, ϒM-ը՝ խավարածրի, իսկ ϒA-ն՝ հասարակածի աղեղներն են, ε-ն՝ նրանցով կազմված անկյունը։*



Նկ. 15. Գարնանային գիշերահավասարի կետի դիրքի որոշելը։

Ինչպես տեսանք, վերին կուլմինացիայում $z=\varphi-\delta$։ *Չափելով այդ պահին Արեգակի զենիթային հեռավորությունը, կստանանք* δ_0-*ն։* ε-*ն էլ հավասար է* $23^\circ 27'$։ ϒMA *սֆերիկ եռանկյան նկատմամբ կիրառենք սինուսների բանաձևը՝*

$$\frac{\sin\delta_\odot}{\sin\varepsilon} = \frac{\sin \Upsilon M}{\sin 90^\circ},$$

որից էլ կորոշվի ϒM *աղեղը։ Այն տեղադրելով*

$$\cos \Upsilon M = \cos\alpha_\odot \cdot \cos\delta_\odot + \sin\alpha_\odot \cdot \sin\delta_\odot \cdot \cos 90^\circ$$

կոսինուսների բանաձևում, կորոշենք α_0-*ն, այսինքն, թե տվյալ պահին գարնանային գիշերահավասարի կետը Արեգակի հակման շրջանից որքան է դեպի արևմուտք գտնվում։*

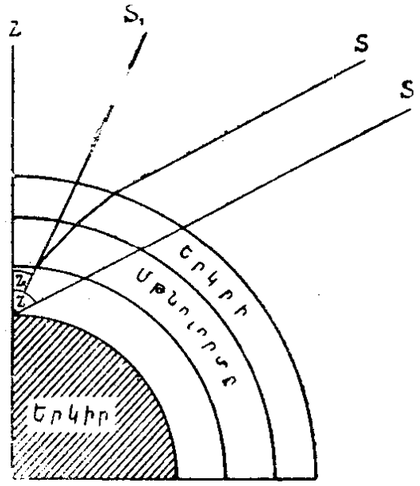
Լուսատուների ուղղակի ծագումը հաշվելու համար պարտադիր չէ, որ ամեն անգամ այդ եղանակով նախօրոք որոշվի ϒ-ի դիրքը և ապա չափումը կատարվի նրանից։ Եթե հայտնի է թեկուզ մի աստղի ուղղակի ծագումը, ապա նրա և անհայտ α-*ով աստղի հակման շրջանների անկյունային հեռավորությամբ (որը կորոշվի, օրինակ, կուլմինացիաների պահերի տարբերությամբ) դժվար չէ ստանալ նաև* α-*ն, (որոշվող* α-*ն հավասար կլինի հայտնի* α-*ով աստղի ուղղակի ծագմանը գումարած նրանց կուլմինացիաների պահերի տարբերությունը)։*

§ 14. Ռեֆրակցիա

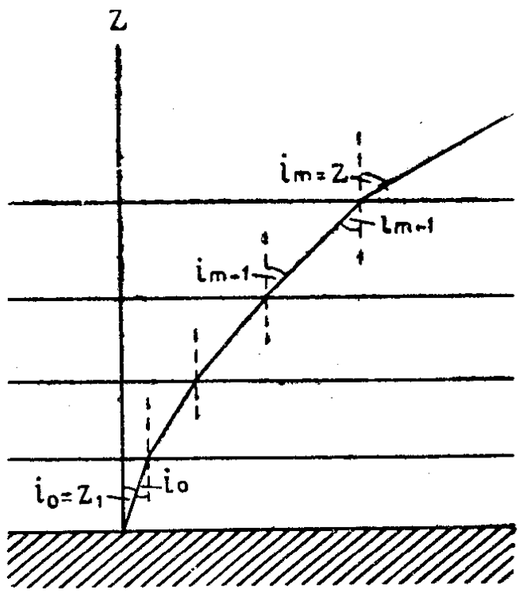
Լուսատուների լույսը երկրի մթնոլորտում շարժվում է կորագծով այն պատճառով, որ մթնոլորտի խտությունը աճում է երկրի մակերևույթին մոտենալիս։ Ուստի լուսատուի իրական՝ MS, *և դիտվող՝* MS_1 *ուղղությունները չեն համընկնում (նկ. 16ա, 16բ)։ Դրանցով կազմված անկյունը՝*

$$\rho = z - z_1$$

անվանվում է ռեֆրակցիայի անկյուն, կամ ուղղակի՝ ռեֆրակցիա (շեղում)։



Նկ. 16 ա. Աստղագիտական ռեֆրակցիա։



Նկ. 16 բ.

Քանի որ ընկնող և բեկված լույսը ուղղաձիգի հետ գտնվում են միևնույն հարթության մեջ, ուստի ռեֆրակցիան չի փոխում լուսատուների ազիմուտը. փոխվում է միայն նրանց զենիթային հեռավորությունը (այն նվազում է)։

Կուլմինացիայի պահին լուսատուի հակումը փոխվում է ռեֆրակցիայի չափով։ Ուղղակի ծագումը այդ դեպքում չի փոխվում։ Միջօրեականի վրա չգտնվելիս, ռեֆրակցիայի շնորհիվ փոփոխվում են լուսատուի թե՛ ուղղակի ծագումը և թե՛ հակումը։ Ռեֆրակցիայի ազդեցությունը գնահատելու համար ընդունենք, որ Երկրի մթնոլորտը կազմված է m շերտերից, որոնք զուգահեռ են Երկրի մակերևույթին. և որ յուրաքանչյուր շերտում մթնոլորտի խտությունը մնում է հաստատուն, իսկ մի շերտից մյուսին անցնելիս խտությունը փոփոխվում է, ընդ որում դեպի Երկրի մակերևույթ շարժվելիս այն մեծանում է։

Շերտերը համարակալենք 0-ից մինչև m՝ ըստ Երկրի մակերևույթից ունեցած բարձրության կարգի (նկ. 16բ)։ Այդ շերտերում բեկման ցուցիչները նշանակենք $n_0, n_1, \ldots, n_m$-ով։ Ըստ լույսի բեկման օրենքի, անկման ու բեկման անկյունների սինուսների հարաբերությունը հավասար է համապատասխան միջավայրերի բեկման ցուցիչների հարաբերության հակադարձին։ m և m—1 շերտերի դեպքում այն կգրվի՝

$$\frac{\sin i_m}{\sin i_{m-1}} = \frac{n_{m-1}}{n_m},$$

որտեղ i_m-ը m-րդ շերտի անկման անկյունն է, իսկ i_{m-1}-ը՝ բեկման անկյունը։ Հաջորդ շերտին անցնելիս կունենանք՝

$$\frac{\sin i_{m-1}}{\sin i_{m-2}} = \frac{n_{m-2}}{n_{m-1}}.$$

և այսպես շարունակ։ Երկրի մակերևույթին առնչվող շերտի համար՝

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_0} = \frac{n_0}{n_1}:$$

Ստացված հավասարությունների ձախ մասերը իրար հետ, իսկ աջ մասերն էլ իրար հետ բազմապատկելով և կատարելով կրճատումներ, կստանանք

$$\frac{\sin i_m}{\sin i_0} = \frac{n_0}{n_m}:$$

Ստացվում է, որ անկախ շերտերի բաժանումների քանակից, ամենաարտաքին և ամենաստորին շերտերի համար առաջինում անկման և երկրորդում բեկման անկյունների սինուսների հարաբերությունը հավասար է այդ շերտերի բեկման ցուցիչների հարաբերության հակադարձին։ Այն ճիշտ կլինի նաև այն դեպքում, եթե շերտերի քանակը անվերջորեն մեծացնենք, այսինքն՝ եթե ընդունենք մթնոլորտի իրական կառուցվածքը։

Համաձայն ընդունված պայմանների՝ $i_m = z$ և $i_0 = z_1$, որտեղ z-ը լուսատուի իրական, իսկ z_1-ը՝ տեսանելի զենիթային հեռավորություններն են։ Դրանց տարբերությունը հավասար է ռեֆրակցիային (ρ)։ Մյուս կողմից $n_m = 1$, քանի որ մթնոլորտից դուրս բեկման ցուցիչը 1 է։ i_m-ի, i_0-ի և n_m-ի արժեքները տեղադրելով վերջին հավասարության մեջ, կստանանք՝

$$\frac{\sin z}{\sin z_1} = n_0 \text{ կամ } \frac{\sin(\rho + z_1)}{\sin z_1} = n_0:$$

Չափելով մթնոլորտի Երկրի մակերևույթին առնչվող շերտի բեկման ցուցիչը և լուսատուի տեսանելի զենիթային հեռավորությունը, ստացված բանաձևով կարելի է որոշել ռեֆրակցիան։ Մթնոլորտի +10°C ջերմաստիճանի և նորմալ մթնոլորտային ճնշման (760 մմ սնդիկի սյուն) դեպքում ստացվում է, որ $n_0 = 1{,}00023$։ Բացելով $\sin(\rho + z_1)$-ը և հաշվի առնելով, որ փոքր զենիթային հե-

ռավորությունների դեպքում ρ-ն շատ փոքր է (cosρ≈1, sinρ= =ρ·sin1″), կստանանք՝

$$\rho = 58'',2 \cdot tgz_1:$$

Այս բանաձևը կիրառելի է 0°-ից մինչև 70° զենիթային հեռավորություն ունեցող լուսատուների համար։

Բանաձևից երևում է, որ զենիթում գտնվող լուսատուների դեպքում ռեֆրակցիան հավասար է զրոյի։ Հորիզոնի վրա գտնվող լուսատուների ռեֆրակցիան առավելագույնն է և մոտավորապես հավասար է 34′-ի։ Ստորև բերված աղյուսակում տրված են ռեֆրակցիայի արժեքները տարբեր զենիթային հեռավորությունների համար։

Աղյուսակ 1

Զենիթային հեռավ.	Ռեֆրակցիա	Զենիթային հեռավ.	Ռեֆրակցիա
0°	0′ 00″	50	1′ 09″
10	0 10	60	1 40
20	0 21	70	2 38
30	0 33	80	5 17
40	0 48	90	34 23

Ինչպես տեսանք, ռեֆրակցիայի շնորհիվ փոխվում են լուսատուների կոորդինատները (բացառությամբ ազիմուտի)։ Փոխվում են նաև լուսատուների ծագման ու մայրամուտի պահերը. լուսատուները ավելի շուտ են ծագում և ուշ մայր մտնում, քան այդ պահերը կլինեին, եթե երկիրը մթնոլորտով պատած չլիներ։ Դրանով է բացատրվում նաև այն, որ բևեռային ցերեկը ավելի երկարատև է, քան գիշերը, ինչպես նաև գիշերահավասարի օրերին ցերեկվա մի քանի րոպեով երկար լինելը գիշերվա տևողությունից։

Ռեֆրակցիան ազդում է մթնշաղերի և աղջամուղջերի տևողության վրա։ Ռեֆրակցիայի շնորհիվ Արեգակի ու Լուսնի սկավառակները հորիզոնին մոտ մասերում երևում են օվալաձև՝ սեղմված։ Դա բացատրվում է նրանով, որ ուղղաձիգ տրամագծի վերին և ստորին ծայրերը, ունենալով տարբեր զենիթային հեռավորություններ, ռեֆրակցիայի շնորհիվ տարբեր չափերով են բարձրանում. ստորինը՝ շատ, վերինը՝ քիչ։ Հետևանքը լինում է այն, որ ուղղաձիգ տրամագիծը երևում է ավելի կարճ (իր երկարության 1/6-ի չափով)։ Հորիզոնական տրամագիծը մնում է անփոփոխ, քանի որ նրա բոլոր կետերը, ունենալով միևնույն զենիթային հեռավորությունը, բարձրանում են համաչափորեն։

§ 15. Տեղի աշխարհագրական լայնության որոշելը

Ինչպես տեսանք, տեղի աշխարհագրական լայնությունը հավասար է բևեռի բարձրությանը։ Նշանակում է, եթե ճիշտ բևեռի ուղղությամբ աստղ լիներ, չափելով հորիզոնից նրա ունեցած անկյունային հեռավորությունը, կորոշեինք տեղի աշխարհագրական լայնությունը։ Սակայն ուղիղ բևեռում աստղ չկա։ Փոքր Արջ համաստեղության α աստղը, որին անվանում են Բևեռային աստղ, իրական բևեռից գտնվում է շուրջ 1° հեռավորության վրա և նրա բարձրությամբ որոշված աշխարհագրական լայնությունը իրականից կտարբերվի ± 1°-ի սահմաններում։

Բևեռի բարձրության արժեքը ավելի ճշգրիտ որոշելու համար ընտրում են բևեռամերձ աստղերից մեկը (ասենք, Բևեռային աստղը), որի վերին և ստորին կուլմինացիաները տվյալ լայնության վրա հնարավոր է դիտել (այսինքն, այդ աստղը մայր չմտնող է)։ Այդ պահերին աստղի բարձրությունների միջին թվաբանականը կլինի բևեռի անկյունային հեռավորությունը հորիզոնից կամ տեղի աշխարհագրական լայնությունը։ Սակայն այս մեթոդը այն թերությունն ունի, որ չափումները երկարատև են և անհրաժեշտ է ամեն անգամ հաշվի առնել ռեֆրակցիայի երևույթը։

Տեղի աշխարհագրական լայնության որոշման առավել ճշգրիտ մեթոդ է առաջարկել Տալկոտան։ Զենիթին մոտ ընտրվում են երկու աստղ, որոնք գտնվում են զենիթից մոտավորապես նույն անկյունային հեռավորության վրա և մեկը մյուսից մի քանի րոպե հետո պետք է գտնվեն կուլմինացիայում, ընդ որում նրանցից մեկը անցնում է զենիթից հյուսիս, իսկ մյուսը՝ հարավ։ Հորիզոնական տեղակայում ունեցող անկյունաչափ գործիքն ուղղում են դեպի այն աստղը, որն առաջինն է անցնելու միջօրեականով. դիտակն ուղղում են այնպես, որ աստղը կուլմինացիայում գտնվի օկուլյարի հորիզոնական տրամագծի վրա։ Այնուհետև դիտակի այդ դիրքը պահպանելով, գործիքը 180°-ով պտտում են ուղղաձիգ առանցքի շուրջը և սպասում մինչև որ մյուս աստղն անցնի միջօրեականով։ Երկրորդն, իհարկե, օկուլյարի ճշգրիտ հորիզոնական գծով չի անցնի, այլ նրանից կգտնվի որոշ անկյունային հեռավորության վրա։ Չափելով այդ հեռավորությունը (սովորաբար չափվում է միկրոմետրով) հեշտությամբ կորոշվի տեղի աշխարհագրական լայնությունը։ Եվ իրոք, դիցուք առաջին աստղը միջօրեականը հատում է զենիթից հյուսիս։ Նրա համար կարող ենք գրել՝

$$z_1 = \delta_1 - \varphi; \qquad (1)$$

երկրորդ աստղի համար էլ՝

$$z_2 = \varphi - \delta_2; \qquad (2)$$

(1) և (2) հավասարությունների կիսատարբերությունից կստացվի՝

$$\varphi = \frac{1}{2}\left(\delta_1 + \delta_2\right) + \frac{1}{2}\left(z_2 - z_1\right): \qquad (3)$$

$(z_2 - z_1)$ տարբերությունը կլինի միկրոմետրի ցուցմունքը։ Տեղադրելով նաև δ_1 և δ_2 արժեքները (աստղագիտական տարեգրքից), կստանանք φ-ն։

Այստեղ ռեֆրակցիան հաշվի առնելու կարիքը չկա, քանի որ, նախ զենիթին մոտ մասերում այն բավականին փոքր է, մյուս կողմից էլ, զենիթից միևնույն հեռավորության վրա մոտավորապես նույն արժեքն ունի. այսինքն z_1-ը և z_2-ը միևնույն չափով փոքրացված կլինեն։ Բայց քանի որ (3) հավասարությունը պարունակում է դրանց տարբերությունը, ապա ռեֆրակցիան փաստորեն կոչնչանա։

§ 16. Տեղի աշխարհագրական երկայնության որոշելը

Տեղի աշխարհագրական երկայնությունը տվյալ վայրով և Գրինվիչով անցնող միջօրեականներով կազմված անկյունն է։ Ակնհայտ է, որ այն հավասար կլինի տվյալ պահին այդ վայրերի տեղական ժամանակների տարբերությանը՝ արտահայտած անկյունային միավորներով։ Տվյալ վայրի տեղական ժամանակը որոշվում է աստղերի կամ Արեգակի դիտումներով։ Այդ նույն պահին Գրինվիչի ժամանակը իմանալու համար օգտվում են ռադիոազդանշաններից։

Կարելի է տեղի աշխարհագրական երկայնությունը (λ_M) որոշել, օգտվելով որևէ այլ վայրի ռադիոազդանշաններից, եթե նախօրոք մեզ հայտնի է այդ վայրի աշխարհագրական երկայնությունը (λ_A)։ Այդ դեպքում կօգտվենք

$$\lambda_M = \lambda_A + (T_M - T_A)$$

հավասարությունից, որտեղ T_M-ը և T_A-ն այդ վայրերի տեղական ժամանակներն են։

Լուծենք մի օրինակ։ Դիցուք, Մոսկվայից ժամը 8-ին տրված ռադիոազդանշանների ընդունման պահին մեզ մոտ տեղական ժամանակով 10 ժամ 30 րոպե է։ Նշանակում է մենք Մոսկվայից գտնվում ենք 2 ժամ 30 րոպե կամ $2{\cdot}15° + 7°{,}5 = 37°{,}5$ դեպի արևելք։ Բայց Մոսկվայի աշխարհագրական երկայնությունը հավասար է 2 ժամ 30,5 րոպեի կամ $37°37'$, 5։ Նշանակում է մեր գտնված վայրի աշխարհագրական երկայնությունը հավասար կլինի $37°{,}5 + 37°37'{,}5 = 75°7'30''$։

§ 17. Ժամանակի չափումը

Ժամանակի չափման համար անհրաժեշտ է ունենալ պարբերաբար կրկնվող երևույթ։ Բնության մեջ այդպիսին է ցերեկվա ու գիշերվա հերթափոխությունը։ Երկուսը միասին տալիս են օրվա մեծությունը։ Օրից ավելի փոքր ժամանակամիջոցները չափելու համար այն բաժանել են ժամերի, ժամը՝ րոպեների և րոպեն՝ վայրկյանների։ Դրանք կատարվել են կամայականորեն։ Համեմատաբար մեծ ժամանակամիջոցներ չափելու համար միավոր է ընդունվել Լուսնի փուլերի կրկնման պարբերությունը՝ ամիսը։ Իսկ էլ ավելի մեծ ժամանակամիջոցների համար օգտագործվել է տարվա եղանակների կրկնման պարբերությունը՝ արևադարձային տարին։ Մարդկային պատմության և բնության մեջ կատարվող երևույթների ժամանակագրություն ունենալու նպատակով սահմանվել են տարիները հաշվելու համակարգեր՝ դարագլուխներ։

§ 18. Աստղային և արեգակնային ժամանակներ

Աստղերի դիտվող օրապտույտի պարբերության, այսինքն՝ Երկրի իր առանցքի շուրջն ունեցած մեկ լրիվ պտույտի ժամանակամիջոցը կոչվում է աստղային օր։ Հարյուրամյակների ընթացքում այն գրեթե մնում է անփոփոխ։ Այդ ժամանակամիջոցը բաժանվում է 24 մասի՝ աստղային ժամերի։ Ժամն իր հերթին բաժանվում է 60 րոպեի, րոպեն էլ՝ 60 վայրկյանի։

Գարնանային գիշերահավասարի կետի ժամային անկյունը կոչվում է աստղային ժամանակ։ Այդ ժամանակի ընդունումն այն առավելությունն ունի, որ յուրաքանչյուր աստղ ունի իր ծագման և մայր մտնելու որոշակի ու հաստատուն ժամանակը։ Բացի այդ հեշտանում է աստղերի դիրքի որոշումը երկնքում։

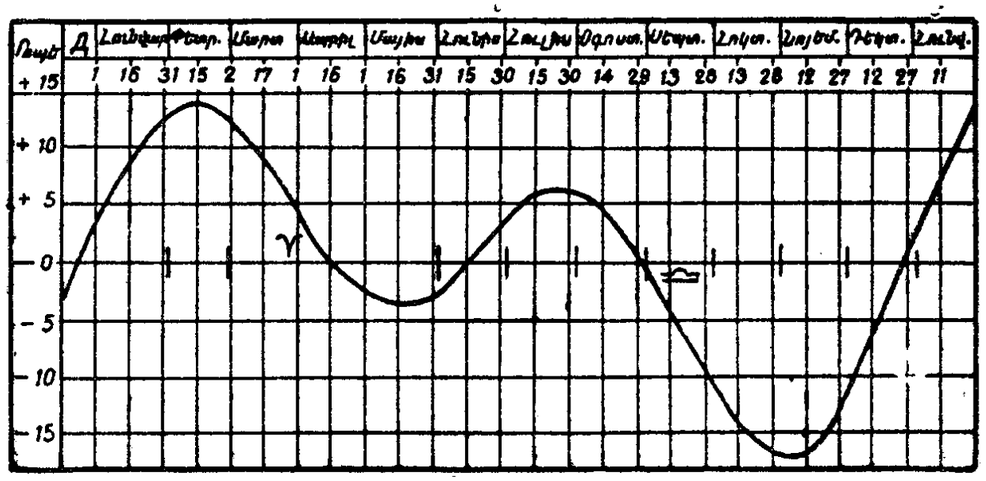
Եթե Արեգակի տեսանելի օրապտույտի ժամանակամիջոցը համեմատենք աստղերի տեսանելի պտտման ժամանակամիջոցի հետ, ապա դժվար չէ նկատել, որ այն $3^m\ 56^s$-ով երկար է։ Աստղային ժամանակը, եթե աստղագիտական դիտումների համար հարմար է, առօրյա կյանքում գործածության համար նպատակահարմար չէ։ Եվ իրոք, այդ տարբերությունը օրըստօրե կուտակվելով, տարվա մեջ տվյալ աստղագիտական ժամը կարող է լինել գիշերվա ու ցերեկվա ցանկացած պահին։ Մարդկային հասարակության կյանքը ամբողջապես հարմարեցված է արեգակնային օրվա հետ, այսինքն՝ ավելի հարմար է ունենալ Արեգակի տեսանելի շարժման հետ առնչվող ժամանակ։

Երբ Արեգակի սկավառակի կենտրոնը գտնվում է միջօրեակա-

նի վրա, այդ պահն անվանում են իրական կեսօր։ Երկու իրար հաջորդող իրական կեսօրների միջև ընկած ժամանակամիջոցը կոչվում է իրական արեգակնային or (որը հաշվելու սկիզբը համարվում է իրական կեսօրը)։ Արեգակի կենտրոնի ժամային անկյունը (չափված ժամանակի միավորներով) կոչվում է իրական արեգակնային ժամանակ։ Տարվա մեջ եղած իրական արեգակնային բոլոր օրերի տևողությունների միջին թվաբանականը կոչվում է միջին արեգակնային or:

Պատկերացնենք մի երևակայական կետ, որը Արեգակի հետ դուրս է գալիս գարնանային գիշերահավասարի կետից և հաստարակածով հավասարաչափ շարժվում այնպես, որ ուղիղ մեկ տարի հետո նորից իրական Արեգակի հետ վերադառնում է գարնանային գիշերահավասարի կետը։ Այն անվանվում է միջին Արեգակ: Միջին Արեգակը իրական Արեգակից մերթ առաջ ընկնելով, մերթ ետ մնալով միշտ միևնույն պահին կանցնի միջօրեականով։ Միջին Արեգակի երկու իրար հաջորդող վերին կուլմինացիաների միջև ընկած ժամանակամիջոցը կոչվում է միջին արեգակնային or: Միջին Արեգակի ժամային անկյունը կոչվում է միջին արեգակնային ժամանակ: Այդ ժամանակով է, որ մենք առօրյա կյանքում ղեկավարվում ենք։

Իրական և միջին արեգակնային ժամանակների տարբերությունը կոչվում է ժամանակի հավասարում: Այն տարվա մեջ միայն չորս անգամ է հավասարվում զրոյի։ Ամենամեծ տարբերությունը 15 րոպե է։ Նկար № 17-ում տրված է ժամանակի հավասարման գրաֆիկն ըստ տարվա ամիսների։



Նկ. 17. Ժամանակի հավասարման գրաֆիկը։

Աստղային և արեգակնային օրերի տարբերությունն առաջանում է հետևյալ պատճառով։ Դիցուք, երկրագունդը գտնվում է E_1

դիրքում և Արեգակը գտնվում է տվյալ բնակավայրի միջօրեականի վրա։ Այդ նույն ուղղության վրա թող գտնվի նաև որևէ աստղ։ Եթե երկրագունդը Արեգակի շուրջը չպտտվեր, ապա մեկ անգամ իր առանցքի շուրջը պտտվելուց հետո, Արեգակը և աստղը կհասնեին միջօրեականի վրա։ Սակայն երկրագունդը պտտվելով իր առանցքի շուրջը, միաժամանակ պտտվում է նաև Արեգակի շուրջը։ Իր առանցքի շուրջը մեկ լրիվ պտույտ կատարելուց հետո աստղը նորից կգտնվի միջօրեականի վրա (աստղերի հեռավորությունը շատ մեծ լինելով, E_1 և E_2 դիրքերից դիտելիս, դեպի աստղ ուղղությունները կլինեն իրար զուգահեռ), բայց Արեգակը դեռևս չի գտնվի։ Որպեսզի կեսօր լինի, անհրաժեշտ է, որ երկրագունդը լրացուցիչ անկյունով պտտվի։ Արեգակի շուրջը մի լրիվ պտույտ կատարելուց հետո այդ անկյունների գումարը կտա 360°։ Այսպիսով, տարվա ընթացքում աստղերի նկատմամբ երկրագունդը մի պտույտ ավելի կկատարի, քան Արեգակի նկատմամբ։ Այդ լրացուցիչ 24 ժամը բաժանելով 365-ի վրա, կստանանք, որ միջին արեգակնային օրը $3^m\ 56^s$ երկար է աստղային օրից։ Եվ իրոք, տարին հավասար է 365, 2422 միջին արեգակնային օրվա (դրանում հեշտ կարելի է համոզվել Արեգակի գարնանային գիշերահավասարի կետում իրար երկու հաջորդող պահերի միջև ընկած ժամանակամիջոցը բաժանելով օրվա տևողության վրա) կամ 366,2422 աստղային օրվա։ Որտեղից էլ միջին արեգակնային 1 օրը = 1,002738 աստղային օրվա = 1 աստղային օր + $3^m\ 56^s$. 56 աստղային ժամանակի։ Իսկ 1 աստղային օրը = 0,997270 միջին արեգակնային օրվա (միջին արեգակնային օր — $3^m\ 5^s$, 91 արեգակնային ժամանակ)։ Իմանալով այս առնչությունները, հեշտ կարելի է իմանալ նրանցից մեկը, եթե տրված է մյուսը, հաշվի առնելով նրանց օրական տարբերությունները։ Հաշվումները հեշտացնելու համար ավելորդ չէր լինի հիշել հետևյալ աղյուսակը, որը տալիս է աստղային ժամանակը կես գիշերին.

Մարտի 23	ժամը 12,
Հունիսի 22	ժամը 18,
Սեպտեմբերի 22	ժամը 24,
Դեկտեմբերի 22	ժամը 6։

§ 19. Տեղական, գոտիական և դեկրետային ժամանակներ

Ցերեկն ու գիշերը առաջանում են իր առանցքի շուրջը երկրագնդի պտտվելու պատճառով։ Նշանակում է տարբեր միջօրեականների վրա կունենանք ժամացույցի տարբեր ցուցմունքներ։ Դրանք

կոչվում են **տեղական ժամանակներ**: Առաջներում տեղական ժամանակով էլ ղեկավարվում էին: Սակայն, երբ հաղորդակցության միջոցները և տարբեր վայրերի անմիջական կապերը (տրանսպորտ, հեռախոս, հեռագիր և այլն) զարգացան, այն գործածության համար հարմար չէր: Ուստի, յուրաքանչյուր երկրում ընդունվեց իր մայրաքաղաքի կամ գլխավոր աստղադիտարանի տեղական ժամանակը: Այսպես, Անգլիայում առաջնորդվում էին Գրինվիչի աստղադիտարանի ժամանակով, Ֆրանսիայում՝ Փարիզի ժամանակով, Ռուսաստանում՝ պետերբուրգյան ժամանակով և այլն:

Ճիշտ է փոքր երկրների համար այդպիսի ժամանակի օգտագործումը հարմար է այն տեսակետից, որ իրական տեղական ժամանակների տարբերությունը մի քանի րոպեից չի անցնում, սակայն այնպիսի ընդարձակ տարածք ունեցող պետությունների համար, ինչպիսիք Ռուսաստանը, Չինաստանը և Ամերիկայի Միացյալ Նահանգներն են, այն բավարար լինել չէր կարող, քանի որ տեղական ժամանակների տարբերությունը հասնում էր մի քանի, նույնիսկ տասնյակ ժամերի: Այդ էր պատճառը, որ մայրաքաղաքի ժամանակով ղեկավարվելը մնաց միայն տրանսպորտում և զինվորական ու հեռագրային ծառայություններում: Ընդհանուր գործածության համար ընդունվեց այսպես կոչված **գոտիական ժամանակը**: Երկրագունդը միջօրեականներով բաժանվեց 24 գոտիների: Ընդ որում յուրաքանչյուր գոտու համար ընդունվեց նրա մեջտեղով անցնող միջօրեականի տեղական ժամանակը. այսինքն՝ տեղական և գոտիական ժամանակների տարբերությունը $^1/_2$ ժամից չի անցնում: Սկզբնական ժամագոտին, որ նշվում է զրո համարով, տարված է Գրինվիչի միջօրեականի շուրջը: Դեպի արևելք հաջորդաբար գտնվում են 1-ին, 2-րդ, 3-րդ և այլ ժամագոտիները, մինչև 23-րդը ներառյալ: Գոտիները բաժանող միջօրեականները միայն ընդհանուր ուղեցույց են հանդիսանում: Իրականում այդ եզրագծերը տարվում են հաշվի առնելով քաղաքական, տնտեսական և աշխարհագրական որոշ հանգամանքներ:

Գոտիական ժամանակն սկսել է գործածվել 19-րդ դարի վերջից: Սովետական Միությունում այն ընդունվել է 1919 թվականին: ՍՍՀՄ-ի ամենաարևմուտք գտնվող գոտին 2-րդն է, իսկ ամենաարևելքը՝ 12-րդը: Հայաստանը գտնվում է երրորդ գոտում, և նրա գոտիական ժամանակը Մոսկվայի ժամանակից տարբերվում է (առաջ է) մեկ ժամով:

Որոշ երկրներում, կառավարության որոշմամբ, ժամացույցների ցուցմունքը մեկ ժամով առաջ կամ ետ է գցվում: Այդպիսի ժամանակն անվանվում է **դեկրետային ժամանակ**: ՍՍՀՄ-ում 1930 թվականի հունիսի 16-ից ժամացույցները մեկ ժամով առաջ են գցվել: Այսպիսով, երևանում եթե ժամը 12-ն է, ապա գոտիական ժամանակով կլինի ժամը 11-ը:

§ 20. Ամսաթվի փոփոխման գիծ

16-րդ դարում, երբ հռչակավոր ծովագնաց Մագելանի արշավախմբի մասնակիցները, շուրջերկրյա ճանապարհորդություն կատարելով, վերադարձան իրենց հայրենիքը (Իսպանիա), նրանց հաշվով այդ օրը պետք է լիներ հինգշաբթի, այնինչ իրականում ուրբաթ էր: Որտեղի՞ց էր առաջացել այդ սխալը:

Ենթադրենք Գրինվիչում կեսօր է, այսինքն ժամը 12-ը: Նրանից դեպի արևելք, ժամանակը աճելով, 180°-ի տակ կլինի ժամը 24-ը, այսինքն՝ այդ օրվա վերջին պահը: Հակառակ ուղղությամբ, ժամանակը հետզհետե նվազելով, այդ նույն միջօրեականի վրա կլինի 0 ժամը. այսինքն՝ նույն օրվա առաջին պահը: Ստացվում է մեկօրյա տարբերություն: Առաջացող այդ սխալը վերացնելու նպատակով Գրինվիչից 180° հեռավորության վրա գտնվող միջօրեականը համարվում է **ամսաթվի փոփոխման գիծ**: Նրա մեկ և մյուս կողմերում գտնվող գոտիներում ամսաթվերը մեկ օրով տարբերվում են: Այդ է պատճառը, որ այդ գիծը հատող նավերում և ինքնաթիռներում գտնվողները կրկնում են ամսաթիվը, եթե հատումը տեղի է ունենում դեպի արևելք շարժվելիս, և մեկ օր բաց են թողնում, եթե հատումը կատարվում է հակառակ ուղղությամբ շարժվելիս:

§ 21. Օրացույցներ

Պատմությանը հայտնի են տարբեր սկզբունքներով կազմված մի քանի հարյուր օրացույցներ: Հին եգիպտացիների, հայերի և մի քանի այլ ժողովուրդների օրացույցներում տարին բաժանվել է 12 ամիսների, որոնցից յուրաքանչյուրը պարունակել է 30 օր, իսկ մնացած 5 օրը համարվել է ավելյաց ամիս: Այդ օրերը կամ առանձին են հաշվվել, կամ, հաշվի մեջ չմտցնելով, համարվել են տոնական օրեր: Ոչ հավասար մասերի՝ ամիսների, բաժանման սկզբունքով է կառուցված եղել հին հռոմեական օրացույցը, որը որոշ ձևափոխություններով այժմ օգտագործում են աշխարհի ժողովուրդների ճնշող մեծամասնությունը:

Օրացույցները մեծ մասամբ կառուցված են այնպես, որ տարվա նույն ամիսներին մոտավորապես պահպանվի նույն եղանակը, այսինքն՝ դրանք հարմարեցված են Արեգակի տեսանելի շարժմանը,

որի պատճառով էլ կոչվում են արեգակնային օրացույցներ: Այստեղ ամիսների տևողությունը լուսնային ամսվան հավասար չլինելու պատճառով Լուսնի մահկանձև փուլի հասակի որոշումը կապված է դժվարությունների հետ:

Բացի արեգակնային օրացույցներից, գոյություն ունեն նաև լուսնային և լուսնաարեգակնային օրացույցներ: Լուսնային օրացույցների յուրաքանչյուր ամսվա սկիզբը համընկնում է նորալուսնի հետ. այսինքն՝ ամսաթիվը ցույց է տալիս Լուսնի փուլի հասակը (օրերով): Սակայն այս օրացույցները լուրջ թերություն ունեն: Բանն այն է, որ լուսնային 12 ամիսը (այսինքն՝ տարին) պարունակում է ընդամենը 354 օր: Այստեղից էլ հետևում է, որ յուրաքանչյուր հաջորդ տարին 11 օրով շուտ է սկսվում: 33 տարի ժամանակամիջոցում լուսնային օրացույցի տարեսկիզբը տեղափոխվելով՝ շրջում է տարվա բոլոր եղանակներում:

Լուսնա-արեգակնային օրացույցներում աշխատել են հաշվի առնել թե՛ Լուսնի և թե՛ Արեգակի տեսանելի շարժումները: Այս տիպի օրացույցների ամիսները սկսվում են նորալուսնով, այսինքն՝ ամիսը լուսնային է: Որպեսզի տարվա սկիզբը զգալի տեղաշարժ չկատարի, երբեմն մտցվում է լրացուցիչ՝ 13-րդ ամիս:

Հռոմեական օրացույցը: Հին և նոր տոմար: Մեր թվականությունից 7—8 դար առաջ Հռոմեական տարին պարունակում էր 304 օր և կազմված էր 10 ամսից: Հետագայում ինչպես ամիսների քանակի, այնպես էլ դրանց և տարվա տևողության մի շարք փոփոխություններ են կատարվում:

Հուլյան կամ այսպես կոչված հին տոմարի միջին տարվա տևողությունը հավասար է 365 օր 6 ժամի (քառամյակի 3 տարին պարունակում է 365-ական օր, իսկ 4-րդ տարին՝ 366 օր: Այդ տարվա փետրվարը ունի 29 օր): Նահանջ են համարվում այն տարիները, որոնց տարեթվերը առանց մնացորդի բաժանվում են 4-ի վրա:

Հին տոմարի տարվա տևողությունը իրական տարուց երկար է 11 րոպե 14 վայրկյանով: Այդ տարբերությունը, տարեցտարի կուտակվելով, 400 տարում կազմում է շուրջ 3 օր: 1582 թ. Հռոմի Գրիգոր XIII պապը իտալական բժիշկ և աստղագետ Լ. Լիլիոյի կազմած նախագծով, կատարում է օրացույցի նոր բարեփոխություն: Նախ, ուղղվում է մինչ այդ կատարված 10 օրվա սխալը: Հետագայում սխալից խուսափելու նպատակով, որոշվեց 400 տարվա ընթացքում եղած նահանջ տարիներից երեքը համարել հասարակ: Ըստ նոր տոմարի 4-ի վրա առանց մնացորդի բաժանվելու հետևանքով տա-

րին նահանջ համարվելու կանոնը վերաբերում է բոլոր տարեթվերին, բացի լրիվ հարյուրամյակներից: Լրիվ հարյուրամյակներից նա է համարվում նահանջ, որի տարեթիվը առանց մնացորդի բաժանվում է 400-ի վրա:

Գրիգորյան կամ նոր տոմարով տարվա տևողությունը հավասար է $365^{97}/_{400}$ օրվա, կամ 365 օր 5 ժամ 49 րոպե 12 վայրկյանի:

Օրացույցի նոր նախագծեր: Ժամանակակից օրացույցն ունի մի շարք թերություններ (ամիսները, եռամսյակները, կիսամյակները հավասար քանակությամբ օրեր չեն պարունակում. ամսանունները աստվածների ու թագավորների անուններ են, իսկ մի մասն էլ համարներ են, որոնք չեն համապատասխանում տարվա մեջ նրանց ունեցած կարգին. տարեսկիզբը աստղագիտական կամ կարևոր իրադարձության հետ կապված չէ. ամիսները ամբողջ թվով շաբաթներ չեն պարունակում և այլն): Օրացույցի բարեփոխման նպատակով ՄԱԿ-ին կից կազմվեց հանձնաժողով, որը պետք է ուսումնասիրեր գոյություն ունեցած և նոր առաջարկվող օրացույցները, ընտրեր դրանցից լավագույնը և ներկայացներ ՄԱԿ-ի հաստատմանը: Դրանցից ընտրվեց այսպես կոչված համաշխարհային օրացույցը: Տարին բաժանվում է 12 ամսվա՝ 4 եռամսյակի: Յուրաքանչյուր եռամսյակի առաջին ամիսն ունի 31 օր, իսկ 2-րդ և 3-րդ ամիսները՝ 30-ական օր: Ճիշտ է ամիսը լրիվ շաբաթների չի բաժանվում և բոլոր ամիսների նույն ամսաթվերին շաբաթվա միևնույն օրը չի համապատասխանում, սակայն այն ճիշտ է ըստ եռամսյակների: Այսպես, եռամսյակի առաջին ամիսն սկսվում է կիրակիով, 2-րդ ամիսը՝ չորեքշաբթիով, իսկ 3-րդ ամիսը՝ ուրբաթով: Այստեղ հաարարակ տարիներին դեկտեմբերի 30-ից հետո մտցվում է «նոր տարվա օր», իսկ նահանջ տարիների (հունիսի 30-ից հետո) դեպքում՝ նաև «տարվա միջին օր»: Դրանք ոչ աշխատանքային օրեր են և շաբաթվա օրվա անուն չեն կրում:

Համաշխարհային օրացույցը ՄԱԿ-ի անդամ երկրների կողմից դեռևս ընդհանուր ճանաչում չի գտել:

§ 22. Դարագլուխներ (էրաներ)

Դարագլուխը կամ էրան ժամանակի այն պահն է, որից հաշվում են տարեթվերը: Պատմությանը հայտնի են մի քանի հարյուր դարագլուխներ: Բաբելացիները, հայերը և եգիպտացիները տարեթվերը մի ժամանակ հաշվել են ըստ թագավորների տիրապետության: Դարագլուխներ են հանդիսացել նաև ըստ քաղաքի կամ տա-

ճարի հիմնադրման ժամանակի, օլիմպիական խաղերի, պատերազմների, «աշխարհի ստեղծման» և այլն։ Մի ժամանակ Հռոմում հաշվումները կատարում էին ըստ Դիոկղետիանոսի դարագլխի։ Դիոկղետիանոսի 247 թվականին Դիոնիսիոս Փոքրի առաջարկությամբ մտցվում է «Քրիստոսի ծննդյան էրան», որի հաշվման ընկրզբում, ինչպես հետագայում պարզվեց, ընկած էր մի մտացածին թվական՝ տոմարական հաշվումները պարզեցնելու նպատակով։

Հաճախ «Քրիստոսի ծննդյան թվականի» փոխարեն օգտագործվում է «մեր թվականություն» տերմինը։

Գլուխ II

ԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐ, ԴԻՏՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Տիեզերական մարմինների ու երևույթների վերաբերյալ մեր բոլոր գիտելիքների հիմնական աղբյուրը նրանց արձակած էլեկտրամագնիսական ճառագայթումն է։ Որոշ դեպքերում, կախված նյութի ֆիզիկական վիճակից, այն կարող է լինել կլանման կամ անդրադարձման արդյունք։ Տիեզերական ծագում ունեցող ճառագայթման աստղագիտական դիտումները հնարավորություն են տալիս որոշել սկզբնաղբյուրների տեղաբաշխումը երկնակամարի վրա և ուսումնասիրել այն բազմազան տեղեկությունները, որ այդ ճառագայթումը պարունակում է երկնային մարմինների վիճակի, նրանց ֆիզիկական հատկությունների մասին։

§ 23. Էլեկտրամագնիսական ճառագայթում

Էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը տարբեր երկարության էլեկտրամագնիսական ալիքների գումար է։ Էլեկտրամագնիսական ալիքները բնորոշվում են տատանման հաճախականությամբ (ν) կամ ալիքի երկարությամբ (λ)։ Այդ մեծությունները կապված են

$$\nu\lambda = c \qquad (2.1)$$

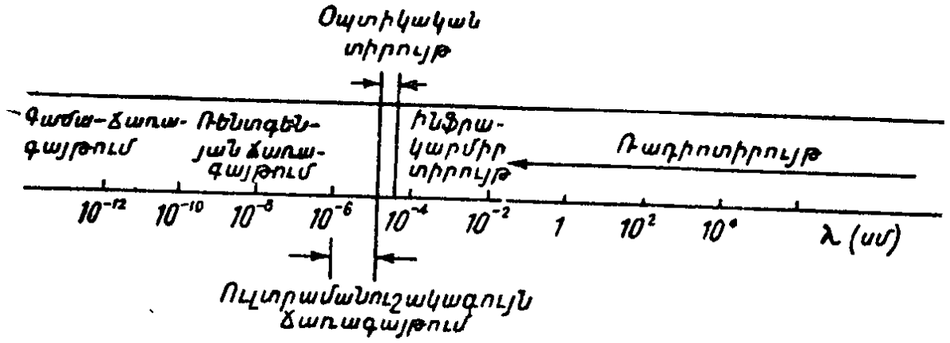
պարզ առնչությամբ, որտեղ c-ն լույսի (կամ էլեկտրամագնիսական ալիքների) տարածման արագությունն է. $c = 3 \cdot 10^5$ կմ/վրկ։

Ալիքի երկարությունը չափվում է երկարության միավորներով (միկրոն, մմ, սմ և այլն), իսկ հաճախականությունը՝ հերցերով (1 հերցը այն հաճախականությունն է, որի դեպքում մեկ վայրկյանում տեղի է ունենում մեկ տատանում)։

Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման տարբեր ալիքի երկարության տիրույթները մատչելի են տարբեր ընդունիչների համար։ Օրինակ, ճառագայթման մարդկային աչքի ընկալման համար մատչելի լուսային կամ օպտիկական, տիրույթն ընդգրկում է $4 \cdot 10^{-4}$ մմ-ից մինչև $7 \cdot 10^{-4}$ մմ ալիքային երկարությունները։ **Օպտիկական** ճառագայթման ալիքի երկարությունն ընդունված է արտահայտել անգստրեմներով (A) ($1\text{A} = 10^{-8}$ սմ)։ Օրինակ, կարմիր լույսի

ալիքի երկարությունն է, մոտավորապես, 5500Å։ Ռադիո ալիքների տիրույթը կամ ռադիոտիրույթն ընկած է միլիմետրներից մինչև հազարավոր մետրեր։ Ալիքի երկարությունից ելնելով, սովորաբար, առանձնացնում են նաև ինֆրակարմիր, ուլտրամանուշակագույն և ռենտգենյան ճառագայթումները։

Ճառագայթման աղբյուրի ալիքի բոլոր երկարությունների ճառագայթումների գումարը տալիս է նրա սպեկտրը։



Նկ. 18. Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ալիքի երկարությունների սանդղակը։

Նկ. 18-ում ներկայացված է էլեկտրամագնիսական ճառագայթման սանդղակն ըստ ալիքի երկարության։ Ինչպես երևում է նկարից, օպտիկական ճառագայթման տիրույթը մյուս ճառագայթումների տիրույթների համեմատ շատ նեղ է։ Չնայած դրան, Տիեզերքի վերաբերյալ մեր բոլոր պատկերացումների մեծ մասը ստացվել է երկնային մարմինների օպտիկական դիտումներից։ Սակայն, ռադիոաստղագիտության և արտամթնոլորտային աստղագիտության շնորհիվ վերջին տասնամյակներում խիստ աճել է դիտումների համար մատչելի սպեկտրալ տիրույթի լայնությունը և, համապատասխանաբար, ստացվող աստղագիտական ինֆորմացիայի քանակը։ Ըստ որում, շատ կարևոր է այն փաստը, որ դրա շնորհիվ ներկայումս ստացվող գիտական ինֆորմացիայի մի մասը լիովին անմատչելի է ճառագայթման օպտիկական տիրույթի դիտումների դեպքում։

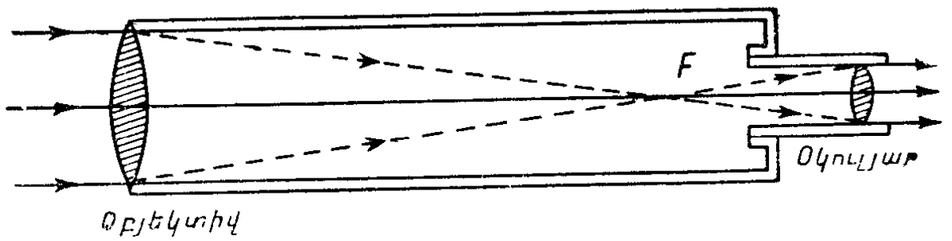
Երկնային մարմինների մեծ հեռավորությունների պատճառով նրանցից երկրային դիտողին հասնող էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը, մեծ մասամբ, աննշան է։ Միայն աստղադիտակների միջոցով այդ ճառագայթման կուտակման շնորհիվ հնարավոր է դառնում երկրային շատ թույլ լուսատուների՝ աստղերի, միգամածությունների, գալակտիկաների ու նրանց համակարգերի դիտումները։

§ 24. Օպտիկական աստղադիտակներ

Աստղագիտության բուռն զարգացման շրջանը կապված է աստղադիտակների կիրառության հետ, որն սկսվեց 1609 թ., երբ Գալիլեո Գալիլեյն իր ստեղծած համեստ չափերի օպտիկական աստղադիտակով կատարեց առաջին աստղագիտական դիտումները։

Աստղադիտակի հիմնական մասը մի օպտիկական համակարգ է, որը հավաքում է երկնային լուսատուի լույսը և կառուցում նրա պատկերը, դիտման նպատակով։ Կախված լույսի հավաքման եղանակից աստղադիտակները բաժանվում են երկու հիմնական խմբի՝ ռեֆրակտորներ և ռեֆլեկտորներ[6]։

Գալիլեյի աստղադիտակը ռեֆրակտոր էր (նկ. 19)։ Պատմու-



Նկ. 19. Գալիլեյի աստղադիտակի սխեման։

թյան մեջ այդ առաջին աստղադիտակը բաղկացած էր երկու ապակե ոսպնյակներից՝ լույսը հավաքող (օբյեկտիվ) և դիտվող աղբյուրի պատկերը կառուցող (օկուլյար)։ Գալիլեյի դիտակը, ինչպես բոլոր ռեֆրակտորները, լույսը հավաքում էր մի միջավայրից մյուսն անցնելիս՝ օդ-ապակի (ոսպնյակ) -օդ՝ նրա բեկման շնորհիվ։ Աշխարհում ամենախոշոր ռեֆրակտորը, որի տրամագիծը 1 մ է, գտնվում է Երկսի աստղադիտարանում (ԱՄՆ)։

Շատ ավելի լայն կիրառություն ունեն հայելիավոր աստղադիտակները՝ ռեֆլեկտորները, որոնք լույսը հավաքում են կլոր գոգավոր հայելիների միջոցով՝ նրա անդրադարձման շնորհիվ։ Համեմատած ռեֆրակտորների հետ ռեֆլեկտորներում լույսի կորուստներն ավելի փոքր են, իսկ նրանց կառուցումը ավելի հեշտ։ Այդ է պատճառը, որ ներկայումս գործող բոլոր խոշոր աստղադիտակները ռեֆլեկտորներ են։

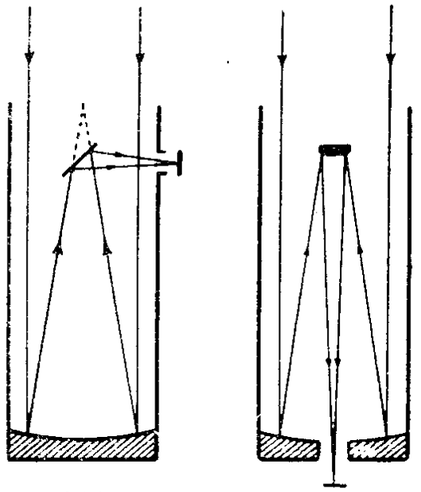
Գոյություն ունեն ռեֆլեկտորների տարբեր օպտիկական համակարգեր։ Նկ. 20-ում բերված են ռեֆլեկտորների Նյուտոնի և Կասեգրենի շատ պարզ օպտիկական համակարգերի սխեմաները։

---

6 Ռեֆրակտոր և ռեֆլեկտոր-լատինական անվանումներ են։ Նրանց հայերեն թարգմանությունն է, համապատասխանաբար, բեկիչ և անդրադարձիչ։

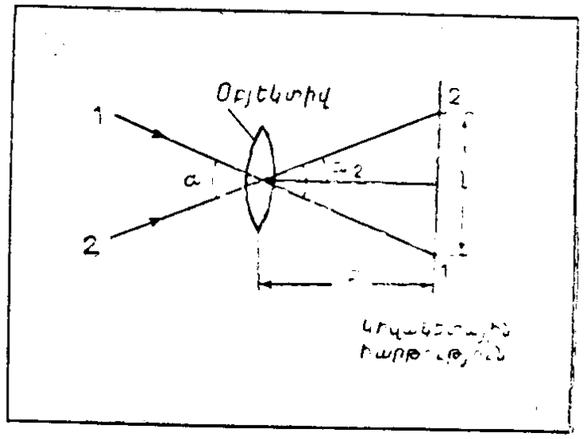
Խոշոր աստղադիտակները սովորաբար ունեն մի քանի օպտիկական համակարգ։

Աստղադիտակի այն կետը, որտեղ հավաքվում է օբյեկտիվի կամ գլխավոր հայելու վրա ընկած ճառագայթների զուգահեռ փունջը կոչվում է կիզակետ (ֆոկուս)։ Այդ կետով և օբյեկտիվի (գլխավոր հայելու) կենտրոնով անցնող առանցքը՝ աստղադիտակի օպտիկական առանցքն է, իսկ կիզակետի հեռավորությունը կենտրոնից՝ կիզակետային հեռավորությունը (F)։



(1) (2)

Նկ. 20. Նյուտոնի (1) և Կասեգրենի (2) հայելիավոր աստղադիտակների օպտիկական սխեմաները։



Նկ. 21. Աստղադիտակի դաշտում «1—2» պատկերի գծային չափերը. e—«1—2» պատկերի չափերը դիտակի կիզակետային հարթության մեջ, α—«1—2» անկյունային հեռավորությունը երկնքում։

Աստղադիտակի հզորությունը (հավաքած լույսի քանակը -I) ուղիղ համեմատական է նրա օբյեկտիվի (գլխավոր հայելու) մակերեսին կամ տրամագծի (D) քառակուսուն՝ $I^2 \sim D^2$, իսկ ստացված պատկերների մեծությունը կամ աստղադիտակի մասշտաբը համեմատական է աստղադիտակի կիզակետային հեռավորությանը՝

$$d = 2F \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

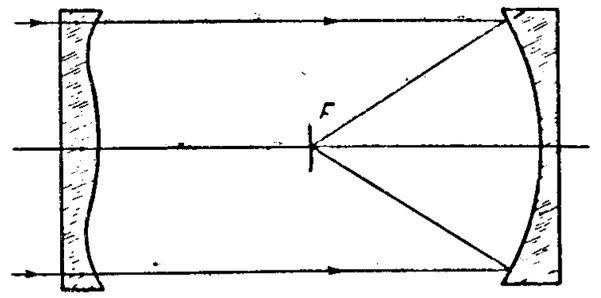
որտեղ՝ d-ն այն երկու կետերի գծային հեռավորությունն է աստղադիտակի դաշտում կամ նրանով ստացված լուսանկարի վրա, որոնց անկյունային հեռավորությունը երկնակամարում հավասար է α-ի։

Այն ամենափոքր անկյունային հեռավորությունը, որի դեպքում երկու հարևան աստղեր աստղադիտակում կարող են դիտվել զատ-զատ կոչվում է աստղադիտակի անկյունային լուծունակություն։ Ընդհանուր դեպքում այն կախված է ոչ միայն աստղադիտակից, այլ նաև Երկրի մթնոլորտի վիճակից։

Տարածված օբյեկտների (գիսավորներ, միգամածություններ, գալակտիկաներ և այլն) պայծառությունը աստղադիտակի կիզակետային հարթության մեջ համեմատական է նրա լուսաուժի քառակուսուն, որը որոշվում է տրամագծի և կիզակետային հեռավորության հարաբերությամբ՝ D:F։ Երկնքի մեծ դաշտերի նկարահանման, տարածական օբյեկտների ամբողջական ուսումնասիրության համար էական է աստղադիտակի օպտիկական առանցքից բավականաչափ հեռու գտնվող օբյեկտների որակյալ պատկերների ստացումը։ Այդ նպատակով անհրաժեշտ է ունենալ իր կիզակետային հարթության մեջ օգտակար (չաղավաղված) մեծ դաշտ ունեցող աստղադիտակներ։

Ցավոք, բոլոր ռեֆլեկտորները, կամ ինչպես հաճախ անվանում են, դասական աստղադիտակներն ունեն փոքր օգտակար դաշտ։ Իրենց մեծ սանդղակի շնորհիվ, դասական աստղադիտակներն օգտագործվում են, մեծ մասամբ, առանձին երկնային մարմինների կամ նույնիսկ նրանց առանձին մասերի մանրակրկիտ ուսումնասիրության նպատակով։

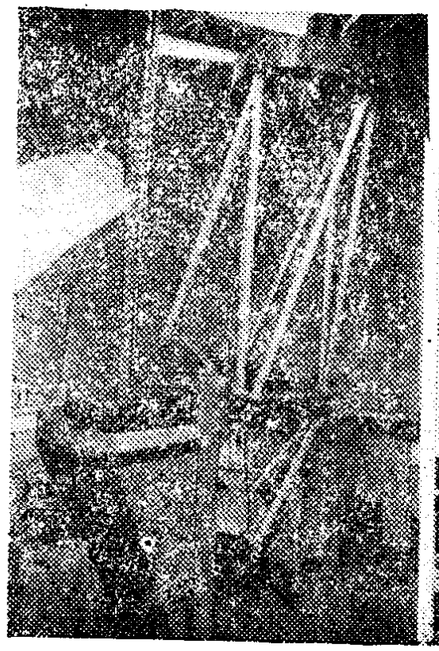
Երկնքի անհամեմատ մեծ տիրույթների լուսանկարչական դիտումների համար մինչև վերջերս օգտագործում էին միայն ռեֆրակտորները, որոնց օգտակար դաշտը մեծ է։ Սակայն սկսած մեր դարի 30-ական թվականներից այդ նպատակով հիմնականում օգտագործվում են Շմիդտի, հետագայում նաև Մաքսուտովի համակարգերի, այսպես կոչված լայնանկյուն, աստղադիտակները։ Դրանց



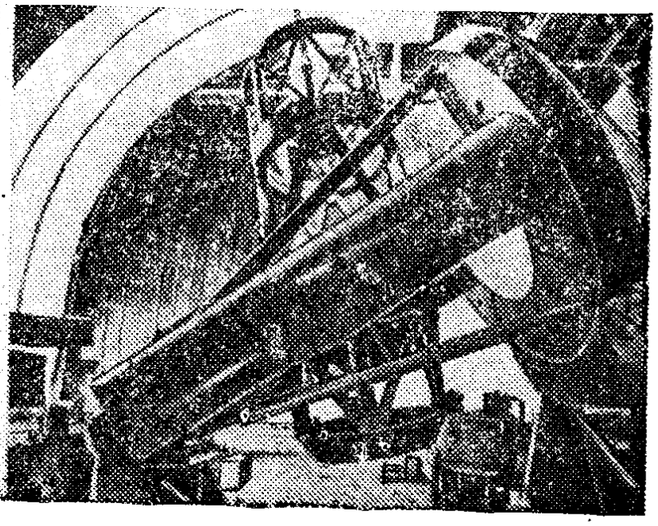
Նկ. 22. Շմիդտի համակարգի աստղադիտակի օպտիկական սխեման։

համեմատաբար բարդ օպտիկական համակարգերում հայելիների զուգակցումը ոսպնյակների հետ ապահովում է մեծ օգտակար դաշտ, որը հնարավորություն է տալիս նկարահանել միևնույն թիթեղի վրա մեծ թվով տիեզերական մարմիններ։ Այդ բանը կարևոր և արդյունավետ է նոր հետաքրքիր տիեզերական օբյեկտների ու երևույթների հայտնաբերման համար։

Աշխարհում խոշորագույն ռեֆլեկտորը, որի հայելու տրամագիծը 6 մ է (նկ. 23), վերջերս տեղակայվեց ՍՍՀՄ գիտությունների ակադեմիայի նոր աստղադիտարանում (Հյուսիսային Կովկասում, Զելենչուկսկայա ավանի մոտ)։ Ավելի փոքր, 5 մ տրամագծով նշանավոր հայելիավոր աստղադիտակը (նկ. 24) արդեն շուրջ



Նկ. 23. Աշխարհում խոշորագույն, 6 մ տրամագծով հայելիավոր աստղադիտակը, որը տեղակայված է ՍՍՀՄ գիտությունների ակադեմիայի հատուկ աստղադիտարանում, Զելենչուկսկայա ավանի մոտ (Հյուսիսային Կովկաս)։

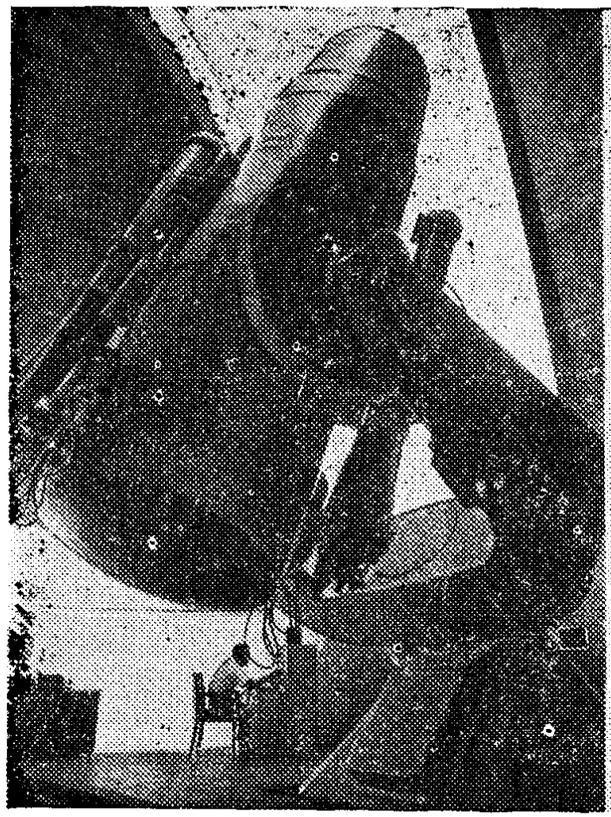


Նկ. 24. Պալոմարի աստղադիտարանի 5 մ տրամագծով աստղադիտակը (Կալիֆորնիա, ԱՄՆ)։

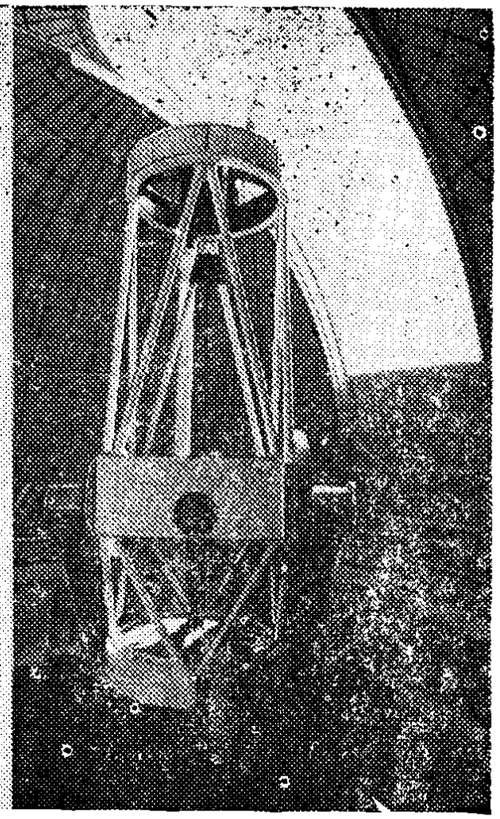
30 տարի է, ինչ գործում է ամերիկյան Պալոմարի աստղադիտարանում՝ Կալիֆորնիայում։ Այդ աստղադիտակի գործունեության հետ են կապված դիտողական աստղաֆիզիկայի աշքի ընկնող հաջողությունները։

Շմիդտի համակարգի 1 մ տրամագծով մի աստղադիտակ, իր տեսակի մեջ աշխարհում խոշորագույններից, գործում է Բյուրականում (նկ. 25)։ Այդ աստղադիտակի միջոցով անցյալ տարիներին հայտնաբերվել են շուրջ երկու հազար անկայուն աստղեր, միգամածություններ և անսովոր հատկություններ ունեցող գալակտիկաներ։

Արժե նշել նաև, որ Եվրոպայում խոշորագույն ռեֆլեկտորներից մեկը՝ 2.6 մ տրամագծով, վերջերս տեղակայվել է Բյուրականի աստղադիտարանում (նկ. 26)։



Նկ. 25. Հայկական ՍՍՀ գիտությունների ակադեմիայի Բյուրականի աստղադիտարանի Շմիդտի համակարգի 1 մ աստղադիտակը։



Նկ. 26. Բյուրականի աստղադիտարանի 2.6 մ տրամագծով աստղադիտակը։

§ 25. Ռադիոաստղադիտակներ

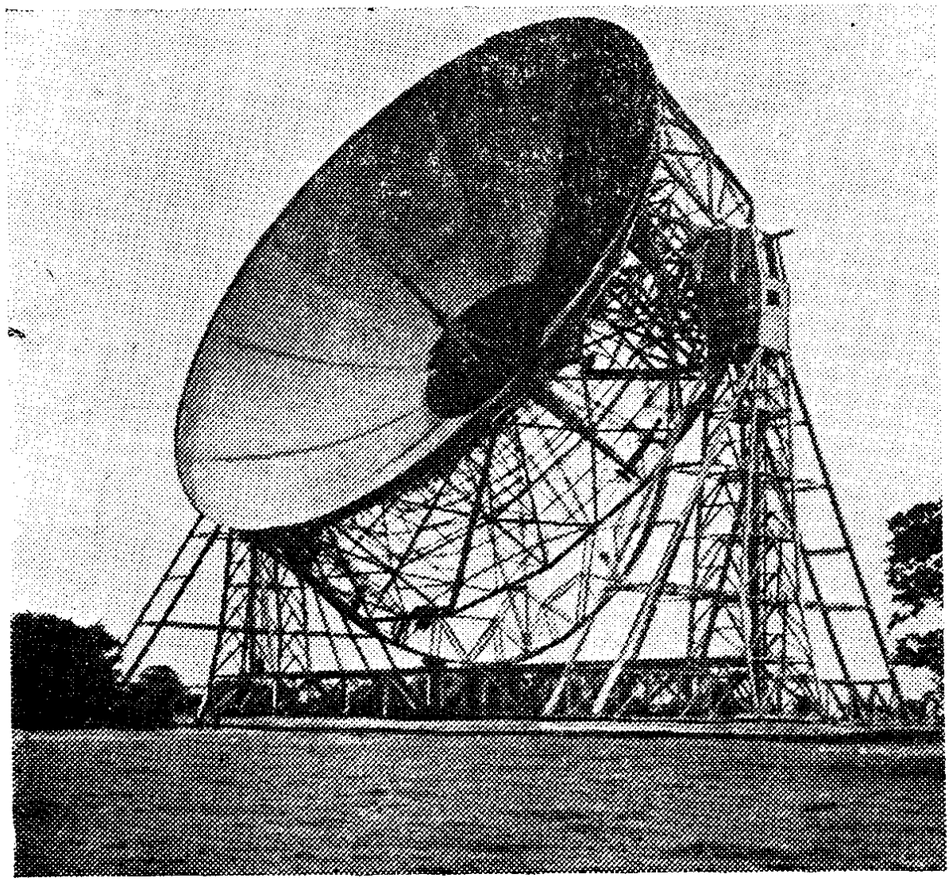
Տիեզերական մարմինների ռադիոճառագայթման դիտումների համար օգտագործվում են հատուկ սարքեր, որոնք կոչվում են ռադիոաստղադիտակներ, նրանք բաղկացած են անտեննայից կամ ռադիոհայելուց և բարձր զգայնություն ունեցող ռադիոընդունիչից։ Ռադիոաստղադիտակի անտեննան, գործնականում, համեմատաբար կոպիտ մակերևույթ ունեցող ռեֆլեկտոր է, նման օպտիկական ռեֆլեկտորներին։

Ռադիոաստղադիտակի հավաքող անտեննայի կիզակետում տեղադրվում է մի հարմարանք, որը հավաքում է անդրադարձնող մակերևույթի՝ «հայելու» ուղարկած ռադիոճառագայթումը և նրա էներգիան հաղորդում ընդունիչին։ Վերջինիս ստացած ազդանշանն, այնուհետև ուժեղացումից հետո ցրանցվում է հատուկ ժապավենի վրա։

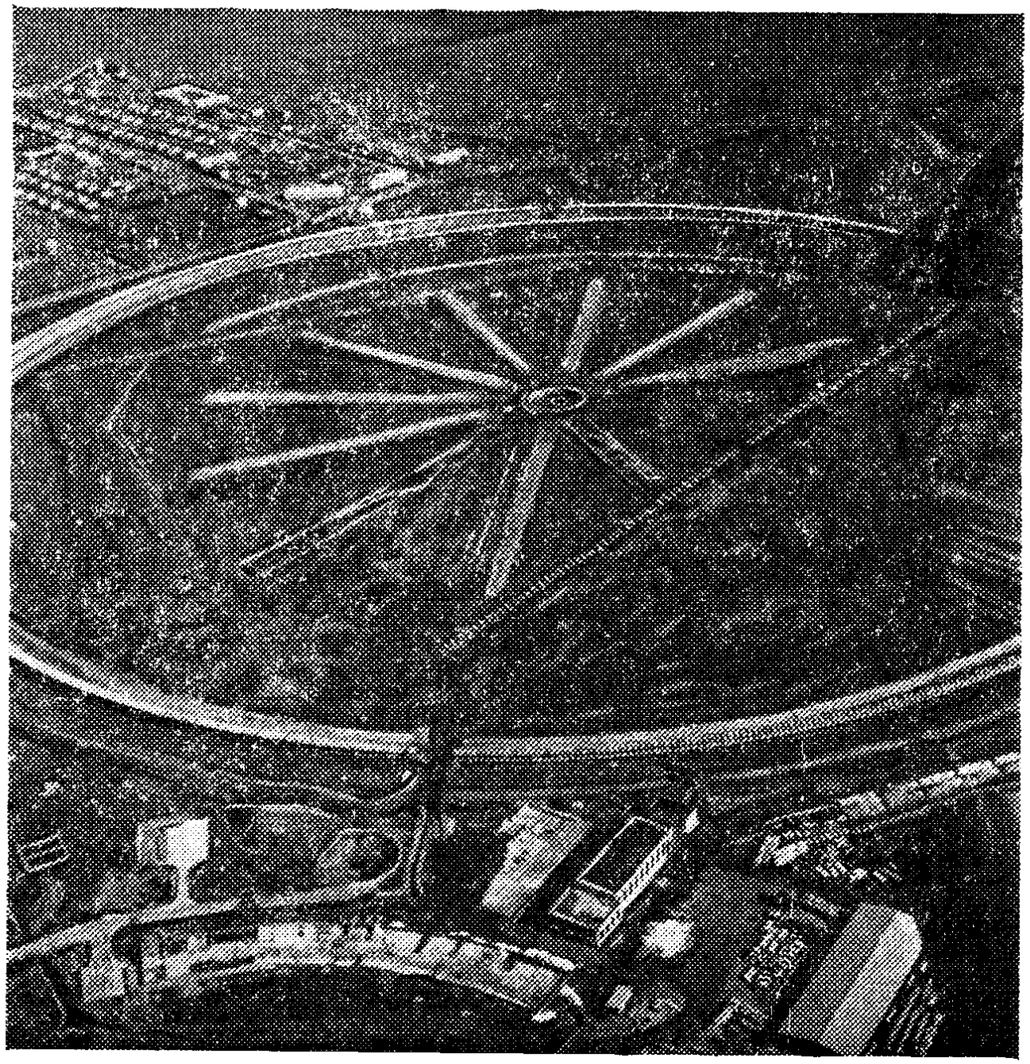
Ռադիոաստղադիտական «հայելիների» մշակման ժամանակ չի

պահանջվում այնպիսի մեծ ճշտություն, ինչպես օպտիկական հայելիների դեպքում։ Բանն այն է, որ հայելու մակերևույթի անհարթությունները կարող են հասնել ընդունվող ալիքի երկարության շուրջ 1/10 մասին։ Իսկ դա նշանակում է, որ, օրինակ, մետրանոց ալիքներում հայելու մակերևույթի սխալը կարող է հասնել մի քանի տասնյակ սանտիմետրի։ Դրանով է բացատրվում, որ ռադիոաստղադիտակի հայելիները երկար ալիքների համար հաճախ հոծ չեն և ծածկված են մետաղե ցանցերով. որոնք, սակայն, ապահովում են նրանց մակերևույթի անհրաժեշտ ճշտությունը։ Բացի այդ ռադիոաստղադիտակների մի մասը տեղակայված է անշարժ, և երկնքի շարժումը մասամբ (10—12°) փոխհատուցվում է անտենայի կիզակետում դրված ռադիոճառագայթման ընդունիչի շարժումով։

Այս առանձնահատկությունների շնորհիվ հնարավոր է դարձել կառուցել մեծ ռադիոաստղադիտակներ, որոնք զգալիորեն գերազանցում են ամենամեծ օպտիկական աստղադիտակներին։ Համապատասխանաբար, նրանց հզորությունը անհամեմատ մեծ է։



Նկ. 27. Ջոդրել Բենկի (Անգլիա) 76 մ ռադիոաստղադիտակը։



Նկ. 28. ՍՍՀՄ գիտությունների ակադեմիայի խոշորագույն «Ռատան» ռադիոաստղադիտակը Զելենչուկսկայա ավանում (Հյուսիսային Կովկաս)։

Սակայն, նրանց անկյունային լուծունակությունը, սովորաբար անհամեմատ փոքր է օպտիկական աստղադիտակների լուծունակությունից։

ՍՍՀՄ-ում ամենամեծ ռադիոաստղադիտակը, որը գտնվում է Հյուսիսային Կովկասում, 600 մ տրամագիծ և 7,4 մ բարձրություն ունեցող մի օղակ է։ Նրա անդրադարձնող մակերևույթը՝ ռադիոհայելին կազմված է բազմաթիվ էլեմենտներից (փոքր հարթ հայելիներից), որոնց տեղաշարժերը հնարավորություն են տալիս փոխել նրա ձևը և դրանով իսկ դիտման ուղղությունը։ Այդ ռադիոաստղադիտակը հնարավորություն կտա միաժամանակ դիտել երկնքի 4

տարբեր տիրույթներ։ 300 մ տրամագծով անշարժ գլխավոր հայելի ունեցող մի ռադիոաստղադիտակ գտնվում է Արեսիբոյի ռադիոաստղագիտական կայանում, Պուերտո Ռիկոյում (ԱՄՆ)։

Շատ հաճախ, ռադիոաստղագիտական դիտումների զգայունության և անկյունային լուծունակության բարձրացման նպատակով, օգտագործվում են իրարից մեծ հեռավորությունների վրա (օրինակ, Բյուրական-Սերպուխով, Ղրիմ-Գրին Բենկ (ԱՄՆ) և այլն) տեղադրված երկու կամ ավելի դիտակներից կազմված ինտերֆերենցիոն համակարգեր։ Այս դեպքում նրանց անկյունային լուծունակությունը գերազանցում է խոշոր օպտիկական աստղադիտակների լուծունակությանը։

Խոշորագույն ռադիոաստղադիտակները թույլ են տվել թափանցելու Տիեզերքի հեռուները, դիտելու ավելի մեծ հեռավորություններում գտնվող տիեզերական օբյեկտները, քան դա հնարավոր է օպտիկական աստղադիտակների միջոցով։

Ռադիոաստղագիտական դիտումները լայն հնարավորություններ տվեցին նաև օպտիկական տիրույթում անտեսանելի տիեզերական նյութի ուսումնասիրության համար։

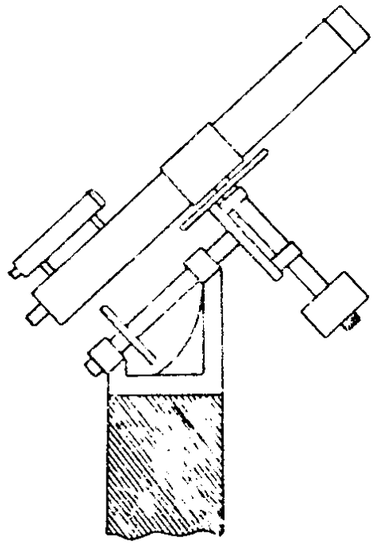
Երե աստղերի ուսումնասիրության մեթոդները հիմնված են, գերազանցապես, նրանց օպտիկական դիտումների վրա, ապա միգամածությունների և միջաստղային նյութի ուսումնասիրության համար, շատ դեպքում, այդ դերը կատարում են ռադիոաստղագիտական դիտումները։

Գալակտիկայի ծավալի զգալի մասը զբաղեցնող ջրածինը չեզոք վիճակում օպտիկական աստղադիտակների համար անտեսանելի է, սակայն ճառագայթում է և հետևաբար տեսանելի է ռադիոալիքներում։ Մյուս կողմից, Գալակտիկայի կենտրոնի օպտիկական ճառագայթումն ամբողջովին կլանվում է այդ ուղղությամբ լույսի ուժեղ կլանման պատճառով և չի դիտվում։ Մինչդեռ ռադիոալիքները չեն կլանվում և զգալիորեն օգնում են Գալակտիկայի ուսումնասիրությանը։

Ինչպես միջաստղային չեզոք ջրածնի, այնպես էլ Գալակտիկայի կենտրոնական մասի ուսումնասիրությունը հնարավոր դարձավ միայն ռադիոաստղագիտական դիտումների հիման վրա։

§ 26. Աստղադիտակների հասարակածային տեղակայք

Աստղագիտական դիտումները մեծ մասամբ տևական են։ Աստղադիտակի հավաքած լույսը, դիտման օբյեկտների թուլության պատճառով, սովորաբար, բավարար չէ ուսումնասիրության համար և հարկ է լինում այն կուտակել՝ դիտման տևողությունը մեծացնելու միջոցով։ Այդ բանը հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ աստղադիտակը և դիտվող օբյեկտը փոխադարձաբար անշարժ են։ Սակայն, բոլոր լուսատուները մասնակցում են երկնակամարի օրական պտույտին։ Այդ շարժման ազդեցությունը չեզոքացնելու նպատակով բոլոր մեծ աստղադիտակներն օժտված են հատուկ հասարակածային տեղակայիով[7] (նկ. 29), որը հնարավորություն է տալիս դիտակը պտտել երկրագնդի առանցքին զուգահեռ, այսպես կոչված բևեռային, առանցքի շուրջը։ Դիտման ընթացքում աստղադիտակի պտույտը, ժամացուցային մեխանիզմի միջոցով, իրականացվում է երկնոլորտի պտույտի արագությամբ։ Այսպիսով, հասարակածային տեղակայքի շնորհիվ լուսատուն դիտման ժամանակ միշտ մնում է աստղադիտակի նկատմամբ անշարժ, անկախ դիտման տևողությունից։



Նկ. 29. Պարզագույն հասարակածային տեղակայք։

Աստղադիտակները, սովորաբար, տեղակայվում են մետաղական պտտվող գմբեթ ունեցող դիտողական աշտարակներում։ Գմբեթի վրա կա հատուկ բացվող ճեղք (պատուհան), որի միջով կատարվում են դիտումները։

Մեծ աստղադիտակների գմբեթների պտույտը ավտոմատ կերպով կապված է դիտակի շարժման հետ, որի շնորհիվ ճեղքի դիրքը միշտ համապատասխանում է երկնքի դիտվող տիրույթի ուղղությանն հետ։

Հասարակածային տեղակայք ունեն նաև մի շարք ռադիոաստղադիտակներ, որի շնորհիվ նրանք կարող են դիտման ընթացքում

[7] Բացառություն է կազմում խոշորագույն, 6 մ տրամագծով, աստղադիտակը, որի տեղակայքը ազիմուտային է. նա կարող է պտտվել ուղղաձիգ և հորիզոնական առանցքների շուրջը։ Սակայն հատուկ էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենան ապահովում է նրա շարժումը երկնակամարի պտույտին համապատասխան։

Ազիմուտային տեղակայքը հասարակածային տեղակայքի նկատմամբ ունի այն կարևորագույն առավելությունը, որ զուրկ է ծանրության ուժի ազդեցությամբ առաջ եկող ճկումներից, որոնք հասարակածային տեղակայքի դեպքում անխուսափելի են մեծ աստղադիտակների համար և իջեցնում են աստղագիտական դիտումների արդյունավետությունը։

հետևել ռադիոճառագայթման աղբյուրներին և կուտակել նրանց ճառագայթումը։ Նման ռադիոդիտակներից ամենամեծը, որի հայելու տրամագիծը 100 մ է, տեղակայված է Էֆելսբերգում, Բոննի մոտ (ԳՖՀ)։

§ 27. Ճառագայթման ընդունիչներ

Մինչև անցյալ դարի վերջերը աստղագիտական դիտումները կատարվում էին աչքով։ Հետագայում աստղագիտական դիտումների ժամանակ սկսեցին կիրառել ճառագայթման տարբեր տեսակի արհեստական ընդունիչներ։

Լույսի առաջին արհեստական ընդունիչը լուսանկարչական թիթեղն է, որն իր մի շարք դրական հատկությունների շնորհիվ շատ տարածված է։ Նախ, տարբեր տեսակի լուսաչափական թիթեղներից յուրաքանչյուրը զգայուն է սպեկտրի որոշակի մասում։ Ուստի, նրանք բոլորը միասին զգայուն են սպեկտրի հեռավոր ուլտրամանուշակագույնից մինչև ինֆրակարմիր մասն ընդգրկող ամբողջ տիրույթում։ Այնուհետև, ստացված լուսանկարներն ունեն վավերագրական նշանակություն, քանի որում լուսանկարչական թիթեղի վրա միաժամանակ կարելի է գրանցել մեծ թվով երկնային մարմինների պատկերներ։ Վերջապես, լուսանկարչական թիթեղների օգնությամբ ճառագայթման կուտակման (երկար լուսակայումների միջոցով) հնարավորությունը մաշելի է դարձնում լույսի շատ թույլ աղբյուրների դիտումները։

Երկնային մարմինների պայծառությունների և գույների ճշգրիտ չափումների ժամանակ, որպես ճառագայթման ընդունիչ, հաջողությամբ օգտագործվում են լուսաբազմապատկիչները, որոնք լուսատուի լույսը, աստղադիտակով հավաքելուց հետո, փոխարկում են էլեկտրական հոսանքի և միլիոնավոր անգամ ուժեղացնում։ Ստացված էլեկտրական ազդանշաններն այնուհետև գրանցվում են։

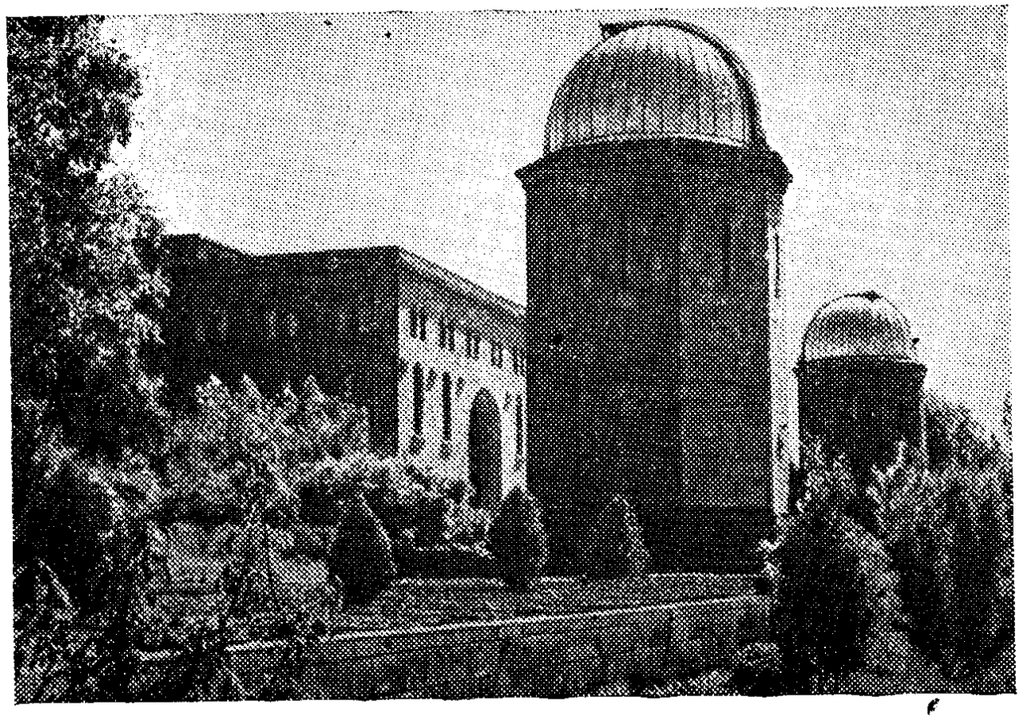
Վերջին ժամանակներս աստղագիտության մեջ լայն կիրառություն են գտել տարբեր տեսակի էլեկտրոնային ընդունիչներ։ Իրենց բարձր զգայունության շնորհիվ նրանք, սպեկտրի շատ լայն ալիքային տիրույթում, օգտագործվում են, մասնավորապես, շատ թույլ լուսատուների պատկերները և սպեկտրները գրանցելու համար։

§ 28. Աստղադիտարաններ

Աստղագիտական դիտումները, սովորաբար, կատարվում են հատուկ այդ նպատակով ստեղծված հիմնարկներում՝ աստղադիտարաններում, որոնք ներկայումս յուրօրինակ գիտահետազոտական կենտրոններ են։

Շատ պարզ անկյունաչափ սարքերով զինված աստղադիտարաններ գոյություն են ունեցել մեր թվականությունից դեռ շատ առաջ։

Սակայն, ժամանակակից իմաստով, առաջին աստղադիտարանները Եվրոպայում կառուցվել են միայն աստղադիտակի հայտ-



Նկ. 30. Բյուրականի աստղադիտարանը։

նագործությունից հետո, 17-րդ դարում։ Փարիզի աստղադիտարանը հիմնադրվել է 1665 թ., Գրինվիչի նշանավոր աստղադիտարանը՝ 1676 թ.։ 1839 թ. գործում է Պուլկովյան հանրահայտ աստղադիտարանը (ներկայումս ՍՍՀՄ գիտությունների ակադեմիայի գլխավոր աստղադիտարան), որն իր հետազոտություններով հայտնի էր դեռևս անցյալ դարում։ Այդ բոլոր աստղադիտարանները երկար ժամանակ գերազանցապես զբաղվում էին կիրառական նշանակություն ունեցող հարցերով։

Մեր դարի 40-ական թվականներից ռադիոաստղագիտական դիտումների համար սկսեցին կառուցել հատուկ ռադիոաստղադիտարաններ։

Աստղադիտարաններում և ռադիոաստղադիտարաններում հիմնական գործիքները տարբեր նշանակության օպտիկական աստղադիտակները և ռադիոաստղադիտակներն են։

Բացի տարբեր տեսակի աստղադիտակներից ժամանակակից

աստղադիտարանները և ռադիոաստղադիտարանները զինված են ամենակատարելագործված՝ ընդունիչ, չափողական, հաշվողական և այլ սարքերով։

Աստղադիտարանները, սովորաբար, կառուցվում են քաղաքներից հեռու, ծովի մակերևույթից 1000—2000 մ բարձրության վրա, այնպիսի վայրերում, որտեղ մթնոլորտի թափանցիկությունը բարձր է, իսկ պարզ գիշերների թիվը՝ մեծ։

Ռադիոաստղագիտական դիտումների համար վայրի ընտրության ժամանակ կարևոր պայման է արհեստական ծագում ունեցող ռադիոխանգարումների բացակայությունը։

Սովետական խոշորագույն աստղադիտարանները գտնվում են Հյուսիսային Կովկասում, Ղրիմում, Բյուրականում, Աբաստումանում (Վրաստան), Ալմա-Աթայում, Տիրավերեյում (Էստոնիա), Շեմախիում (Ադրբեջան) և Գոլոսեևում (Ուկրաինա)։ Նրանք բոլորն ունեն, հիմնականում, աստղաֆիզիկական ուղղություն։

Ռադիոաստղագիտական կայաններ են կառուցվել Ղրիմում, Սերպուխովում, Գորկիում, Խարկովում և Բյուրականում։

Արտասահմանյան խոշորագույն աստղադիտարաններից են. Հեյլի[8], Կիտ Պիկի և Լիկի (ԱՄՆ), Վերին Պրովանսի (Ֆրանսիա), Տաուտենբուրգի (ԳԴՀ), Օնժեյովի (Չեխոսլովակիա) աստղադիտարանները, իսկ ռադիոաստղադիտարաններից իրենց հզորությամբ հայտնի են Գրին Բենկը և Արեսիբոն (ԱՄՆ), Էֆելսբերգը (ԳՖՀ), Ջոդրել Բենկը և Քեմբրիջը (Անգլիա), Պարքսը (Ավստրալիա) և Վեստերբորկը (Հոլանդիա)։

Վերջին տասնամյակում հարավային երկնքի ուսումնասիրության նպատակով խոշոր աստղադիտարաններ են կառուցվել նաև հարավային կիսագնդում՝ Ավստրալիայում, Չիլիում և այլուր։

§ 29. Աստղալուսաչափություն և սպեկտրալուսաչափություն

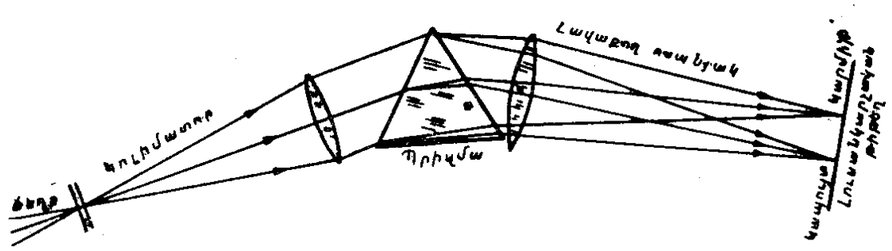
Երկնային մարմինների պատկերները կամ սպեկտրների լուսանկարները և գրանցումները մշակելու համար կիրառվում են ֆիզիկայի հայտնի մեթոդները՝ լուսաչափությունը և սպեկտրալուսաչափությունը։

Ամենապարզ աստղագիտական դիտումները տիեզերական մարմիններից մեզ հասնող լույսի հոսքի ուղղակի չափումներն են, լուսաչափական դիտումները։

Աստղալուսաչափությունը լայնորեն օգտագործվում է երկնային մարմինների ճառագայթման հզորությունը (պայծառությունը), գույնը, ինչպես նաև բևեռացումը որոշելու նպատակով։ Ըստ որում, ճառագայթման շատ թույլ աղբյուրների դեպքում լուսաչափությունը ուսումնասիրության, փաստորեն, միակ հնարավոր եղանակն է։

Երկնային մարմինների ու երևույթների վերաբերյալ ավելի հարուստ և բազմակողմանի գիտական ինֆորմացիա ստացվում է նրանց ճառագայթման սպեկտրալուսաչափական ուսումնասիրության հիման վրա։ Նրանց ֆիզիկական բնույթի, քիմիական բաղադրության, տիեզերական նյութի հատկությունների վերաբերյալ գրեթե բոլոր ժամանակակից տվյալներն ստացվել են սպեկտրալուսաչափության միջոցով։

Լույսի տարրալուծումը սպեկտրի՝ տարբեր ալիքի երկարության ճառագայթումների, իրականացվում է բեկող պրիզմաների կամ, այսպես կոչված, դիֆրակցիոն ցանցերի միջոցով, օգտագործելով լույսի բեկման կամ դիֆրակցիայի կախումը ալիքի երկարությունից։ Սպեկտրի ստացման պարզագույն սարքը՝ ճեղքավոր սպեկտրոսկոպը (նկ. 31) կազմված է կոլիմատորից, պրիզմայից և լույսը հավաքող դիտակից։



Նկ. 31. Պարզագույն սպեկտրոգրաֆի սխեման։

Կոլիմատորը կազմված է մի խողովակից, որի հիմքերից մեկում տեղավորված է երկուռուցիկ մի ոսպնյակ, իսկ նրա հակառակ ծայրում, այդ ոսպնյակի կիզակետում, կա մի ուղղանկյուն ճեղք։ Այսպիսով, կոլիմատորի երկարությունը հավասար է հիշյալ ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությանը։ Այն իր ճեղքի վրա ընկած լույսի տարամիտվող փունջը ոսպնյակի միջոցով վեր է ածում զուգահեռ փնջի, որն այնուհետև, անցնում է պրիզմայի միջով։ Շնորհիվ նրա, որ պրիզման տարբեր ալիքի երկարության ճառագայթները բեկում է տարբեր չափով, լույսի զուգահեռ փունջը նա տարրալուծում է սպեկտրի։ Սպեկտրի պատկերը պրիզմայից հետո տեղավորված հավաքող ոսպնյակը կառուցում է իր կիզակետային հարթության մեջ։ Այսպիսով, սպեկտրոսկոպը տալիս է սպեկտրի պատկերը։

Սպեկտրի պատկերը, մեծ մասամբ, նկարահանվում է հավաքող ոսպնյակի կիզակետային հարթության մեջ այդ նպատակով տեղադրված լուսանկարչական թիթեղի վրա։ Այդ սարքը կոչվում

[8] Այսպես են կոչվում Պալոմարի և Մաունտ Վիլսոնի աստղադիտարանները միասին, այդ աստղադիտարանների նախկին դիրեկտոր Հեյլի անունով։

է սպեկտրոգրաֆ։ Աստղագիտության մեջ օգտագործվող սպեկտրոգրաֆների կոլիմատորի ճեղքը դրվում է աստղադիտակի կիզակետերից որևէ մեկում։

Վերջին ժամանակներս աստղագիտական սպեկտրոգրաֆներում, կոլիմատորից դուրս եկող լույսի զուգահեռ փնջի տարրալուծման նպատակով պրիզմայի փոխարեն շատ հաճախ օգտագործվում են տարբեր տեսակի դիֆրակցիոն ցանցեր։

Երկնքի որևէ տիրույթում գտնվող լուսատուների սպեկտրների միաժամանակյա լուսանկարահանման նպատակով լայնանկյուն աստղադիտակների բացվածքից առաջ կարելի է տեղադրել նույն տրամագծի պրիզմա։ Այդ, այսպես կոչված, օբյեկտիվ պրիզման[9] աստղադիտակի տեսադաշտում գտնվող բոլոր լուսատուների պատկերները տարրալուծում է սպեկտրների։ Օբյեկտիվ պրիզմաները շատ արդյունավետ են խմբական զննության և արտասովոր սպեկտրներ ունեցող օբյեկտների որոնումների ու նախնական ուսումնասիրության համար։

Սպեկտրների լուսանկարները կամ սպեկտրոգրամները օգտագործվում են սպեկտրում գծերի և անընդհատ ճառագայթման չափումների նպատակով, որոնք անհրաժեշտ են լույսի աղբյուրի ֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրության համար։

Ներկայումս աստղագիտական դիտումների մշակման համար օգտագործվում են գիտական ինֆորմացիայի մշակման ու վերլուծության ավտոմատ մեթոդներ՝ հաշվիչ մեքենաների կիրառությամբ, որոնք ոչ միայն հեշտացրել ու արագացրել են աստղագիտական ինֆորմացիայի ստացման պրոցեսը, այլև օգնել են զգալիորեն բարձրացնելու հետազոտությունների զգայնությունն ու ճշգրտությունը։

§ 30. Սպեկտրների առաջացումը

Երկնային մարմինների սպեկտրները, փաստորեն, բազմաթիվ ատոմների, որոշ դեպքերում նաև մոլեկուլների, սպեկտրների յուրօրինակ վերադրություն են։ Ատոմները կազմված են միջուկներից, որոնք ընդհանուր դեպքում պարունակում են պրոտոններ ու նեյտրոններ, և միջուկի շուրջը շարժվող էլեկտրոններից։ Ամենապարզ կառուցվածք ունի ջրածնի ատոմը, որը կազմված է ընդամենը մեկ պրոտոնից և մեկ էլեկտրոնից։

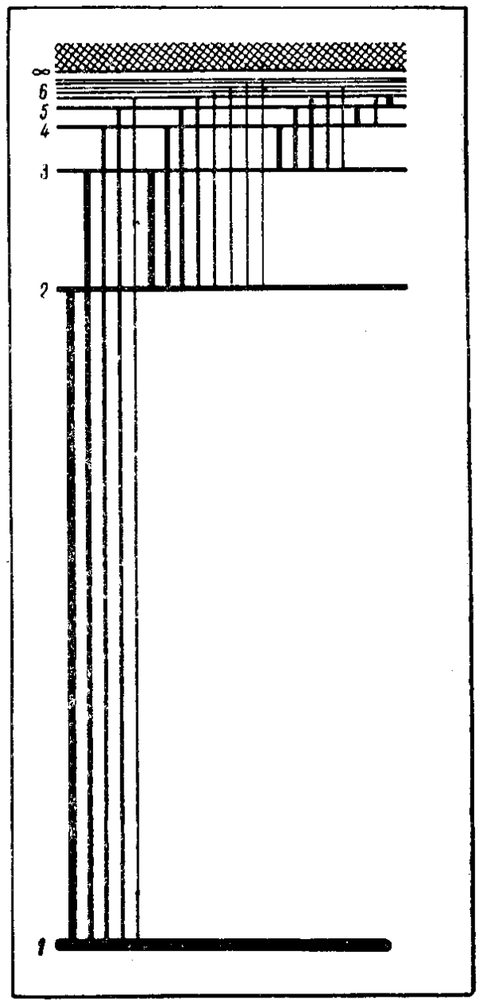
Էլեկտրոնները ատոմի միջուկի շուրջը կարող են շարժվել

[9] Աշխարհում խոշորագույն 1 մ տրամագծով օբյեկտիվ պրիզմաները գտնվում են Բյուրականի աստղադիտարանում և օգտագործվում են նույն բացվածքն ունեցող Շմիդտի համակարգի աստղադիտակի հետ։

տարբեր ուղեծրերով։ Այդ ուղեծրերը համապատասխանում են ատոմի տարբեր էներգետիկ վիճակներին, որոնք իրարից տարբերվում են ատոմի ընդհանուր էներգիայի արժեքներով։ Այն վիճակը, որի ժամանակ ատոմի էներգիան նվազագույնն է, կոչվում է ատոմի հիմնական վիճակ։ Էներգիայի ավելի բարձր արժեքներ ունեցող վիճակները կոչվում են գրգռված վիճակներ։ Որքան մեծ է ատոմի էներգիան, այնքան բարձր է նրա գրգռման աստիճանը։

Երբ ատոմը որևէ գրգռված վիճակից անցնում է ավելի ցածր էներգիայի վիճակի, ճառագայթում է որոշակի հաճախականության մեկ քվանտ։ Հակառակ անցման ժամանակ ատոմը կլանում է նույնպիսի մեկ քվանտ։ Այդ քվանտի էներգիան Բորի կանոնի համաձայն, համեմատական է նրա հաճախականությանը և որոշվում է ատոմի վերոհիշյալ երկու վիճակների էներգիաների տարբերությամբ՝

$$h\nu_{ik} = E_i - E_k, \quad (2,2)$$



Նկ. 32. Ջրածնի ատոմի էներգետիկ մակարդակները։ Ձախից նշված են մակարդակների համարները՝ հիմնական մակարդակից (1) մինչև իոնացման մակարդակը (∞)։

որտեղ ν_{ik}-ն քվանտի հաճախականությունն է, E_i և E_k մեծությունները՝ ատոմի i և k վիճակներում ունեցած էներգիաները, իսկ h համեմատականության գործակիցը Պլանկի հաստատունն է։

Քանի որ յուրաքանչյուր քիմիական տարրի բոլոր հնարավոր վիճակների էներգիաները խիստ որոշակի են, ապա նրա ատոմի

բոլոր վիճակներից կատարվող անցումների ժամանակ ճառագայթվում կամ կլանվում են (2,2) բանաձևով որոշվող որոշակի հաճախականության (էներգիայի) քվանտներ։ Ուստի այդ անցումների հետևանքով առաջանում են միայն որոշակի հաճախականություններ սպեկտրալ գծեր։ Այլ կերպ ասած, ամեն մի քիմիական տարր ունի իր ուրույն, մյուսներից տարբեր գծային սպեկտրը, որտեղ գծերի դասավորությունը, ըստ ալիքի երկարության, բնորոշ է միայն այդ քիմիական տարրին։

Այդ կարևոր օրինաչափության վրա է հիմնված մարմինների քիմիական բաղադրության որակական վերլուծությունը, նրանց սպեկտրի միջոցով։

Երբ ատոմը կլանում է $E_i - E_k$ ամենամեծ հնարավոր տարբերությունից ավելի մեծ էներգիա, էլեկտրոնը դուրս է թռչում ատոմից, որը, այսպիսով, կորցնում է մեկ էլեկտրոն կամ, ինչպես ընդունված է ասել, իոնանում է։ Մեկից ավելի էլեկտրոններ ունեցող ատոմները կարող են այդ ձևով կորցնել երկու և ավելի էլեկտրոններ։ Այդ դեպքում ատոմը կոչվում է երկու և ավելի անգամ իոնացված։ Իոնացված ատոմը կամ իոնը, ընդհակառակը, բարենպաստ պայմաններում, կարող է միանալ մեկ կամ մի քանի էլեկտրոնների հետ և նորից կազմել նորմալ ատոմ։ Գազի մեջ իոնացման աստիճանը կախված է միջավայրի ջերմաստիճանից և նյութի խտությունից։ Իոնացված ատոմները, նորմալ ատոմների նման, ունեն իրենց որոշակի գծային սպեկտրները, որոնք, սակայն, տարբերվում են նորմալ ատոմների սպեկտրներից։

Ատոմի էներգիան կարող է մեծանալ քվանտի կլանման, ինչպես նաև միջավայրի ջերմաստիճանի աճի հետևանքով, որի շնորհիվ արագ շարժվող ատոմների ընդհարումների ժամանակ շատ ատոմներ անցնում են գրգռված վիճակների։ Հակառակ պրոցեսների հետևանքով ատոմի էներգիան նվազում է։

Վերջապես, իոնացված ատոմը (իոնը) կարող է միանալ ամենատարբեր էներգիա ունեցող էլեկտրոնների հետ և, համապատասխանաբար, ճառագայթել ցանկացած հաճախականության քվանտներ։ Այս դեպքում առաջանում է հոծ, անընդհատ սպեկտր։

Քիմիական տարրերի ճառագայթող և կլանող մոլեկուլները, ի տարբերություն ատոմների, ունեն շերտավոր սպեկտրներ։ Շերտավոր սպեկտրներ առաջանում են մոլեկուլների շիկացած գազում, երբ նրանք իրարից այնքան հեռու-հեռու են դասավորված, որ չեն փոխազդում իրենց հարևաններին։ Ըստ որում անհրաժեշտ է, որ

շիկացած գազի ջերմաստիճանը այնքան բարձր չլինի, որպեսզի այդ մոլեկուլները քայքայվեն ատոմների և իոնների։

§ 31. Երկնային մարմինների սպեկտրները

Տիեզերական աղբյուրների ճառագայթումը, մեծ մասամբ, տարբեր ֆիզիկական պայմաններում գտնվող գազանյութի ճառագայթում է։ Մասնավորապես, Տիեզերքի հիմնական բնակչությունը կազմող աստղերը շիկացած գազային գնդեր են։

Աստղերը կազմող գազանյութի քանակն ու խտությունը բավականաչափ մեծ են և դա է պատճառը, որ նրանց ճառագայթման հիմնական մասը առաքվում է անընդհատ սպեկտրում։ Խիտ գազում, ինչպես հեղուկ և պինդ մարմիններում, ատոմները այնքան մոտ-մոտ են դասավորված, որ իրար գրգռում են։ Այդ փոխազդեցության հետևանքով սպեկտրալ գծերը շատ են լայնանում և ձուլվում։ Ուստի, անընդհատ սպեկտրը, որը ալիքի բոլոր երկարությունների ճառագայթումների գումարն է, կարելի է դիտել որպես անվերջ թվով սպեկտրալ գծերի ընդհանրություն։ Այս դեպքում ճառագայթման աղբյուրի քիմիական բաղադրությունը էական չէ և էներգիայի բաշխումը սպեկտրում կախված է միայն աղբյուրի ջերմաստիճանից։

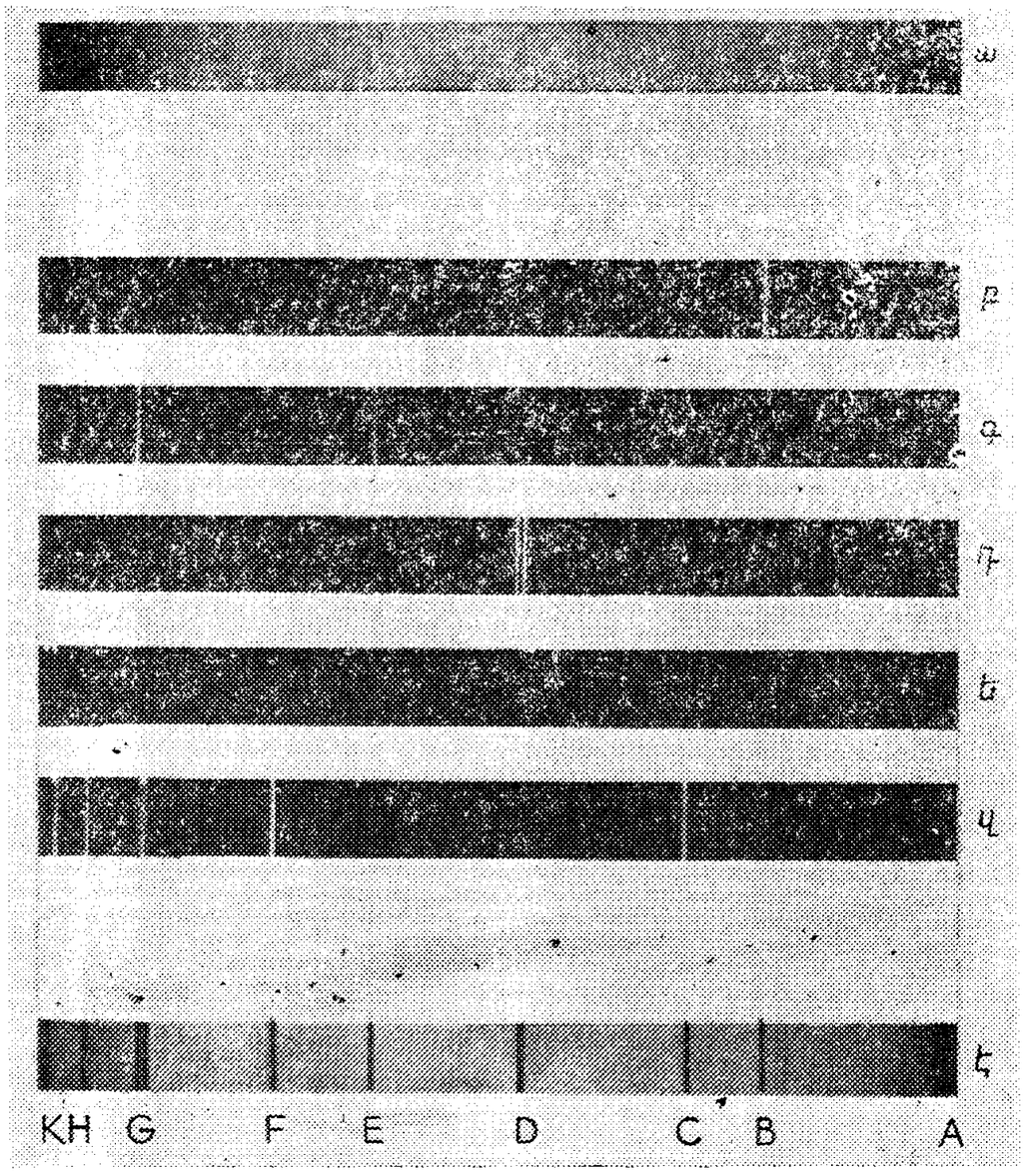
Ընդհակառակը, աստղերի մթնոլորտներում, որտեղ գազանյութի խտությունը փոքր է, առաջանում են գծային սպեկտրներ։ Ինչպես հայտնի է, սպեկտրում յուրաքանչյուր քիմիական տարրի ատոմների գծերի, իսկ մոլեկուլների դեպքում շերտերի, դասավորությունը, ըստ ալիքի երկարության կամ հաճախականության, միանգամայն որոշակի է և բնորոշ հենց այդ տարրի համար։ Այսպիսով, սպեկտրում դիտվող գծերի (կամ շերտերի) դասավորությունն արդեն վկայում է գազում այս կամ այն քիմիական տարրի (կամ միացության) առկայության, ինչպես նաև նրա իոնացման աստիճանի մասին։

Շնորհիվ այն բանի, որ սպեկտրի տեսքը կախված է աղբյուրի քիմիական բաղադրությունից և այն ֆիզիկական պայմաններից, որոնց մեջ նա գտնվում է, տիեզերական մարմինների սպեկտրները բազմակողմանի տեղեկություններ են հաղորդում նրանց բնույթի, քիմիական բաղադրության և հատկությունների, Տիեզերքում տեղի ունեցող բազմազան երևույթների մասին։

Աստղային սպեկտրները աստղի մթնոլորտի տարբեր շերտերում՝ տարբեր խտության և ջերմաստիճանի գազում ծնվող գծային ու անընդհատ սպեկտրների յուրատեսակ գումար են։ Սովորաբար, նրանք իրենցից ներկայացնում են աստղի խիտ լուսոլորտի

անընդհատ սպեկտրի վրա կլանման, որոշ դեպքերում նաև առաքման, գծերի ու շերտերի մի վերադրում[10]։

Աստղերի ճնշող մեծամասնության սպեկտրներում դիտվում են կլանման գծեր և շերտեր։ Նրանց առկայությունը բացատրվում է



Նկ. 33. Արեգակի սպեկտրը և նրա բաղադրիչները։ (ա)-Լուսոլորտի անընդհատ սպեկտրը, (բ)—(զ)—տարբեր ատոմների ճառագայթման գծային սպեկտրները և (է)—Արեգակի սպեկտրը, որն իրենից ներկայացնում է այդ բաղադրիչ սպեկտրների միաձուլումը, այն տարբերությամբ միայն, որ նրա մթնոլորտում ծնվող սպեկտրալ գծերը, Կիրխհոֆի օրենքի համապատասխան, կլանման գծեր են։

[10] *Որոշ ֆիզիկական պայմաններում, որոնց հետ մենք կծանոթանանք ստորև, աստղի սպեկտրում կարող են դիտվել առաքման (պայծառ) գծեր ու շերտեր։*

Կիրխհոֆի օրենքով, որին համապատասխան, երբ աստղի անընդհատ ճառագայթումն իր ճանապարհին անցնում է նրա մթնոլորտի ավելի ցածր ջերմաստիճան ունեցող գազի միջով, վերջինիս ատոմներն ու մոլեկուլները կլանում են այդ ճառագայթումն այն հաճախականություններում (գծերում ու շերտերում), ուր նրանք ընդունակ են ճառագայթել շիկացած վիճակում։ Այդ պատճառով աստղի սպեկտրում դիտվում են նրա մթնոլորտում գտնվող ատոմների ու մոլեկուլների կլանման գծեր ու շերտեր։

Մոլորակների ու Լուսնի սպեկտրները Արեգակի սպեկտրի արտապատկերումներ են, որոշ լրացուցիչ կլանման գծերով ու շերտերով։ Այդ գծերն ու շերտերը առաջանում են մոլորակների մթնոլորտներում՝ Արեգակի լույսի կլանման հետևանքով, երբ այն անցնում է մթնոլորտի միջով մինչև մոլորակի մակերևույթ, որտեղից այնուհետև ետ է անդրադառնում դեպի դիտողը։

Միգամածությունների սպեկտրները, մեծ մասամբ, նոսր գազի ճառագայթման գծային սպեկտրներ են, կազմված միայն պայծառ գծերից։ Սակայն մի շարք դեպքերում, նրանք թույլ աստղային սպեկտրներ են, որոնք առաջանում են միգամածության կողմից աստղերի լույսի պարզ ցրման հետևանքով։

Ներկայումս շատ արդյունավետ են տիեզերական մարմինների ռադիոճառագայթման սպեկտրի ուսումնասիրության մեթոդները, որոնք հիմնված են այդ ճառագայթման չափումների վրա։

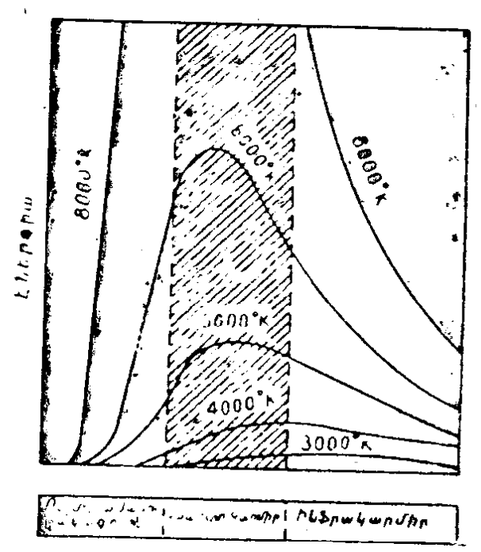
Վերջին տասնամյակներում տիեզերական գիտական կայանների միջոցով Երկրի մթնոլորտից դուրս կատարվող արտամթնոլորտային աստղագիտական դիտումները հնարավորություն տվեցին հիշյալ մեթոդները տարածել երկնային մարմինների սպեկտրի, երկրային դիտողի համար անմատչելի, հեռավոր ուլտրամանուշակագույն, ռենտգենյան և ռադիոալիքների տիրույթների վրա։

§ 32. Ճառագայթման օրենքներ

Աստղերի անընդհատ սպեկտրների ուսումնասիրության համար հաճախ օգտագործվում է Պլանկի օրենքը, որը վերաբերում է բացարձակ սև մարմնի ճառագայթմանը, մի մարմնի, որն ամբողջությամբ կլանում է իր վրա ընկած ճառագայթումը։ Այդպիսին են, մեծ մասամբ, աստղերը և Պլանկի օրենքը բավարար ճշտությամբ կիրառելի է աստղերի մեծամասնության ճառագայթման նկատմամբ։

Պլանկի օրենքը, ճառագայթման աղբյուրի ամեն մի ջերմաստիճանի համար, տալիս է անընդհատ սպեկտրում էներգիայի բաշխումն ըստ ալիքի երկարության։ Այդ օրենքի համաձայն, աղբյուրի

ջերմաստիճանի աճի հետ միասին աճում է նրա ճառագայթման մեջ կարճալիքային մասի ներդրումը (նկ. 34)։



Նկ. 34. Պլանկի օրենքը. սև մարմնի ճառագայթման բաշխումը տարբեր ջերմաստիճանների դեպքում։ Ճառագայթման հզորությունը աճում է ջերմաստիճանի հետ։ Այդ աճը արտահայտվում է համապատասխան կորերի մաքսիմումի չեզմամբ դեպի կարճ ալիքների կողմը։

Պլանկի օրենքի պարզ հետևանքներ են Վինի ու Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքները։ Վինի օրենքի համաձայն այն ալիքի երկարությունը (λ_m), որում աղբյուրը ճառագայթում է առավելագույն քանակությամբ էներգիա, հակադարձ համեմատական է նրա ջերմաստիճանին (T)[11]

$$\lambda_m = \frac{C_1}{T}, \qquad (2.3)$$

որտեղ C_1 հաստատունը հավասար է 0,29 սմ աստիճան։

Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը ցույց է տալիս, որ ճառագայթման աղբյուրի մեկավոր մակերեսի մեկ վայրկյանում ճառագայթած լրիվ էներգիան ուղիղ համեմատական է նրա ջերմաստիճանի չորրորդ աստիճանին՝

$$E = \sigma T^4, \qquad (2.4)$$

Այս օրենքում σ-ն Ստեֆան-Բոլցմանի հաստատունն է ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5}$ էրգ/սմ²վրկ աստիճան⁴)։

§ 33. Դոպլերի սկզբունքը

Սպեկտրների միջոցով տիեզերական մարմինների կամ նրանց առանձին մասերի շարժումների ուսումնասիրությունը կատարվում է Դոպլերի սկզբունքի հիման վրա, որի համաձայն էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ալիքի երկարությունը նվազում կամ աճում է, եթե ճառագայթման աղբյուրը և դիտողը մոտենում կամ, համապատասխանաբար, հեռանում են իրարից։

Դոպլերի օրենքի մաթեմատիկական արտահայտությունն ըստանալու համար նշանակենք լույսի աղբյուրի և դիտողի փոխադարձ շարժման արագությունը v-ով (v-ն դրական է, երբ նրանք հեռանում են և բացասական՝ երբ մոտենում են)։

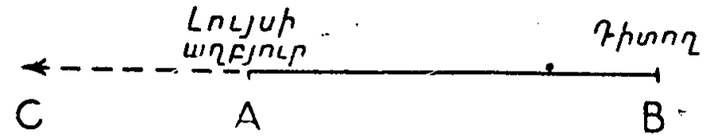
Ենթադրենք, որ դիտման սկզբում ($t = 0$) լույսի աղբյուրը գտնվում է A, իսկ դիտողը B կետում (նկ. 35)։ Եթե c-ն լույսի շարժման արագությունն է, ապա լույսը AB հեռավորությունը կամ 1 հատվածը կանցնի 1/c ժամանակում։ Դիտման սկզբից t_0 ժամանակ անց լույսի աղբյուրի շարժման հետևանքով նա կգտնվի արդեն C կետում[12], և նրա արձակած լույսը դիտողին կհասնի $t_0 + 1/c + \frac{vt_0}{c}$ ժամանակ անց։ Այստեղ $\frac{vt_0}{c}$ հենց այն ժամանակամիջոցն է, որի ընթացքում լույսը անցնում է AC հատվածը։

Այսպիսով, աղբյուրի կողմից t_0 ժամանակամիջոցում ճառագայթած էներգիան դիտողը կարող է ընդունել

$$t = t_0 + 1/c + \frac{vt_0}{c} - 1/c = t_0\left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

ժամանակամիջոցում։

Այդ ժամանակամիջոցը լույսի արձակման t_0 ժամանակամիջոցից տարբերվում է $\frac{vt_0}{c}$-ով, աղբյուրի և լույսի փոխադարձ շարժման հետևանքով նրանց միջև ընկած հեռավորության փոփոխության պատճառով։



Նկ. 35. Ալիքի երկարության փոփոխությունը լույսի աղբյուրի և դիտողի փոխադարձ հեռավորության փոփոխության ժամանակ (Դոպլերի օրենքը)։

Այժմ ենթադրենք, որ լույսի աղբյուրը ճառագայթում է ν_0

[11] Աստղագիտության մեջ բոլոր ջերմաստիճանները որոշվում են Կելվինի սանդղակով, որի 0° ջերմաստիճանը համապատասխանում է —273° ըստ Ցելսիուսի սանդղակի։

[12] Պարզության համար ընդունենք, որ լույսի աղբյուրը հեռանում է դիտողից։ Հակառակ դեպքում, C կետը կգտնվեր 1 հատվածի վրա, դեպի դիտողը, իսկ v արագությունը կլիներ բացասական։ Նույն դատողությունները ճիշտ են նաև այն դեպքում, երբ լույսի աղբյուրն ու դիտողն իրարից հեռանում կամ իրար մոտենում են դիտողի կամ նրանց երկուսի միաժամանակյա շարժման հետևանքով։ Դոպլերի սկզբունքի էությունը միշտ մնում է նույնը։

հաճախականությամբ քվանտներ։ t_0 ժամանակամիջոցում նա կարձակի լույսի $\nu_0 t_0$ ալիք։ Այդ ալիքները դիտողի կողմից կընդունվեն

$$t = t_0\left(1+\frac{v}{c}\right)$$

ժամանակամիջոցում։

Քանի որ լույսի արագությունը հաստատուն մեծություն է[13], ապա ընդունվող ալիքների հաճախականությունը (ν) կլինի ν_0-ից տարբեր։ Այն կարելի է որոշել արձակված և ընդունված ալիքների թվի հավասարության պայմանից՝

$$\nu_0 t_0 = \nu t$$

կամ (2.4)-ի համաձայն $\nu_0 t_0 = \nu t_0\left(1+\frac{v}{c}\right)$։ (2.5)

(2.5) բանաձևից միարժեք կերպով ստացվում է դիտողի կողմից ընդունվող ալիքների հաճախականությունը՝

$$\nu = \frac{\nu_0}{1+\frac{v}{c}}.$$ (2.6)

Եթե (2.6) բանաձևում հաճախականություններից անցնենք ալիքի երկարություններին, (2.1) կապի օգնությամբ, վերջնականապես, կստանանք Դոպլերի սկզբունքի արտահայտությունը.՝

$$\lambda = \lambda_0\left(1+\frac{v}{c}\right),$$ (2.7)

որտեղ λ_0-ն աղբյուրի ճառագայթման ալիքի երկարությունն է, իսկ λ-ն դիտողի կողմից ընդունվող ալիքի երկարությունը։

Դոպլերի սկզբունքի (2.7) արտահայտությունից[13] կարելի է որոշել ճառագայթման աղբյուրի տարածական շարժման արագության պրոյեկցիան տեսադծի (դիտողի աչքն աղբյուրի հետ միացնող գծի) ուղղությամբ.

$$v = \frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}c = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}c,$$

որտեղ՝ $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$։

Աստղագիտության մեջ շարժման արագության այդ բաղադրիչը կոչվում է տեսադծային արագություն։

Գործնականում, տիեզերական մարմինների տեսադծային արագությունների որոշման համար չափվում են նրանց սպեկտրներում կլանման կամ առաքման (պայծառ) գծերի դիտվող շեղումները ($\Delta\lambda$), լաբորատոր պայմաններում այդ գծերի ունեցած նորմալ ալիքային երկարությունների (λ_0) նկատմամբ։ Ձափված շեղումների և λ_0 ու c հայտնի մեծությունների միջոցով տեսադծային արագությունն, այնուհետև, կարելի է հաշվել (2.8) բանաձևից։

Դոպլերի սկզբունքն ունի բազմաթիվ աստղագիտական կիրառություններ։ Մասնավորապես, նա հնարավորություն է տալիս հետազոտել աստղերի ու գալակտիկաների տարածական շարժումները, մեր Գալակտիկայի և մյուս գալակտիկաների պտույտը, մոլորակների և աստղերի առանցքային պտույտը, աստղերի գազային թաղանթների պտտման և լայնացման, աստղերի բաբախման և մի շարք այլ երևույթներ։

[13] Դոպլերի օրենքը ճիշտ կլիներ դուրս բերել հարաբերականության տեսության հաշվառմամբ։ Մեր (2.7) բանաձևը այդ ձևով ստացվող բանաձևի մոտավորությունն է՝ փոքր արագությունների համար։

Գլուխ III

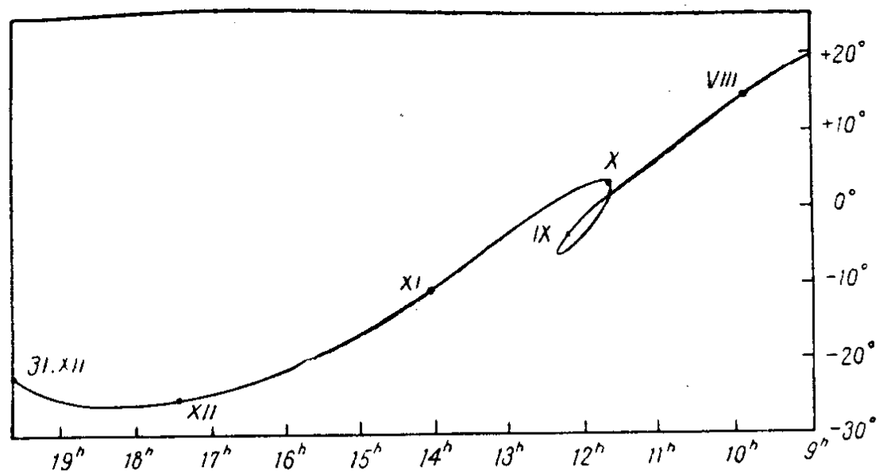
ԱՐԵԳԱԿՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒԹՅԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ ԵՎ ՆՐԱ ԱՆԴԱՄՆԵՐԻ ՇԱՐԺՈՒՄԸ

§ 34. Աշխարհայացքների զարգացումը Արեգակնային համակարգության մասին

Ինչպես նշել ենք, Երկիրը մեկօրյա պարբերությամբ պտտվում է իր առանցքի, իսկ մեկամյա պարբերությամբ՝ Արեգակի շուրջը: Դիտողը գտնվելով Երկրի վրա, այդ շարժումները անմիջականորեն չի զգում. նրան թվում է, թե Երկիրն անշարժ է և նրա շուրջը մեկօրյա պարբերությամբ և հակառակ ուղղությամբ պտտվում է երկնոլորտը, իսկ Արեգակն էլ աստղերի նկատմամբ հետզհետե տեղափոխվելով, մեկ տարի ժամանակամիջոցում վերականգնում է իր նախկին դիրքը: Հին և միջին դարերում դիտվող այդ տեղափոխությունները ընդունվում էր որպես իրականություն: Եվ զարմանալի չէ, որ Տիեզերքի կառուցվածքի մասին եղած առաջին պատկերացումներում, սովորաբար, ընդունվել է երկրակենտրոն համակարգը: Սակայն առեղծվածային էին մնում որոշ լուսատուների տեղափոխությունները: Նրանք բացի երկնոլորտի ընդհանուր պտտմանը մասնակցելուց, աստղերի նկատմամբ տեղափոխվում էին արևմուտքից-արևելք (ուղիղ շարժում), որոշ ժամանակից հետո կանգ առնում, այնուհետև շարժվում արևելքից-արևմուտք (հակառակ շարժում), նորից կանգ առնում և ապա վերականգնում իրենց սկզբնական շարժման ուղղությունը. այսինքն՝ հիմնական շարժմանը զուգընթաց հաճախ գծում էին օղակներ (նկ. 36): Նման տարօրինակ շարժումներ կատարելու համար այդ լուսատուները անվանվեցին մոլորակներ (մոլորվածներ բառից):

Ըստ իրենց տեսանելի շարժման բնույթի, մոլորակները բաժանվում են երկու խմբի: Մերկուրին ու Վեներան (ներքին մոլորակներ) Արեգակից շատ չեն հեռանում: Երբեմն իրենց ուղղությամբ Արեգակի հետ համընկնում են: Այդպիսի դիրքը կոչվում է միացում: Ընդ որում միացումը կոչվում է ներքին միացում, եթե մոլորակը գտնվում է Արեգակի ու Երկրի միջև. իսկ եթե Արեգակն է գտնվում Երկրի ու մոլորակի միջև՝ արտաքին միացում: Այնուհետև մոլորակը Արեգակից հետզհետե հեռանում է: Նրա ամենամեծ հեռացման անկյունը նայած թե այն որ կողմն է տեղի ունենում,

կոչվում է ամենամեծ արևմտյան կամ արևելյան էլոնգացիա: Պարզ է, որ այդ դեպքում Երկիր-մոլորակ ուղղությունը ուղղահայաց կլինի



Նկ. 36. Մերկուրու տեսանելի ուղին 1976 թ. օգոստոս-դեկտեմբեր ամիսներին:

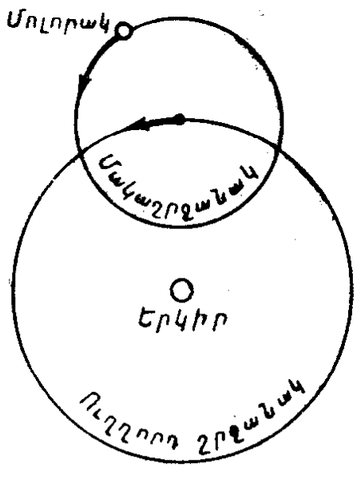
Արեգակ-մոլորակ ուղղությանը: Մերկուրու ամենամեծ էլոնգացիան 29° է, իսկ Վեներայինը՝ 48°:

Մյուս մոլորակները՝ Մարսը, Յուպիտերն ու Սատուրնը (արտաքին մոլորակներ) Արեգակի նկատմամբ կարող են գրավել ցանկացած դիրք: Այստեղ տեղի է ունենում միայն արտաքին միացում: Եթե մոլորակի խավարածրային երկայնությունն Արեգակի խավարածրային երկայնությունից տարբերվում է 180°-ով, մոլորակի այդ դիրքը կոչվում է դիմակայություն: Դիմակայությունում մոլորակը երևում է ավելի պայծառ, քան մյուս դիրքերում: Արտաքին մոլորակները ևս ունենում են ուղիղ ու հակառակ շարժումներ: Նշման արժանի է, որ այդ մոլորակները աստղերի նկատմամբ իրենց դիրքը վերականգնում են տարբեր ժամանակամիջոցներում, սակայն բոլորն էլ օղակ են գծում մեկական տարում:

Կ. Պտղոմեոսը (II դ.) «Ալմագեստ» («Մեծագույն ժողովածու») աշխատությունում, ամփոփելով ու շարադրելով հին հունական փիլիսոփաների ուսումնասիրությունների արդյունքները, որպես համընդհանուր ճանաչում գտած համակարգ, ընդունեց ու զարգացրեց երկրակենտրոն համակարգը: Ավելին, նա փաստարկներ առաջ քաշեց, ցույց տալու համար այլ համակարգերի անհիմն լինելը: Ըստ Պտղոմեոսի, Տիեզերքի կենտրոնում տեղավորված է երկրագունդը: Ինքը՝ Տիեզերքը սահմանափակված է անշարժ աստղերի ոլորտով: Մոլորակները, Լուսինն ու Արեգակը գտնվում են այդ ոլորտի ներսում: Նրանց հեռավորության կարգը և մեր նկատմամբ ունեցած

դասավորությունը որոշելիս Պտղոմեոսն ընդունում էր, որ մոտ գտնվող մարմինները նույն ժամանակամիջոցում ավելի մեծ անկյունային տեղափոխություն պետք է ունենան, քան հեռու գտնվողները։ Համոզիչ է Լուսինը Արեգակից մոտ գտնվելու մասին նրա բերած հիմնավորումը՝ խավարումների ժամանակ Լուսինն է ծածկում Արեգակին և ոչ թե հակառակը։ Ըստ նրա Երկիրը գնդաձև է։ Երկրի պտտման դեմ Պտղոմեոսը բերում է հետևյալ «փաստարկները»։ Եթե Երկիրը պտտվեր, ապա նրա վրա եղած բոլոր մարմինները ետ մնալով, վրայից կթափվեին. ամպերն ու վեր նետած քարերը կտեղափոխվեին դեպի արևմուտք։

Երկրակենտրոն (պտղոմեոսյան) համակարգի համաձայն, Երկրի շուրջը, ըստ հեռավորության կարգի, պտտվում են Լուսինը, Մերկուրին, Վեներան, Արեգակը, Մարսը, Յուպիտերը և Սատուրնը. վերջապես մեկօրյա պարբերությամբ (արևելքից դեպի արևմուտք) պտտվում է անշարժ աստղերի ոլորտը։ Ընդ որում Լուսինը, Արեգակն ու աստղերը Երկրի շուրջը պտտվում են անմիջականորեն, իսկ մոլորակները պտտվում են շրջանագծերով ու հավասարաչափ, սակայն ոչ թե անմիջականորեն Երկրի շուրջը, այլ ինչ որ երևակայական շրջանագծերով՝ մակաշրջանակներով (էպիցիկլ), որոնց կենտրոններն իրենց հերթին հավասարաչափ ու շրջանաձև ուղեծրերով՝ ուղղորդ շրջանակներով (դեֆերենտ), պտտվում են Երկրի շուրջը (նկ. 37)։ Բացի այդ ընդունվում էր, որ մակաշրջանակային արագությունն ավելի մեծ է, քան այդ մակաշրջանակի կենտրոնի տեղափոխման գծային արագությունը, և մակաշրջանակի ու ուղղորդ շրջանակի հարթությունները չեն համընկնում։



Նկ. 37. Մակաշրջանակ և ուղղորդ շրջանակ։

Երկրին Տիեզերքում յուրահատուկ դիրք ու կարևորություն տալը, ինչպես նաև այն, որ ըստ Պտղոմեոսի երկրային և երկնային մարմինները միմյանցից միանգամայն տարբերվում են և ենթարկվում տարբեր օրինաչափությունների, ոչ միայն չէին հակասում, այլև որոշ առումով նույնիսկ «հիմնավորում էին» կրոնական դրույթները։ Ուստի երկրակենտրոն համակարգը արագորեն որդեգրեցին եկեղեցու սպասավորները, իսկ այդ համակարգի գոյության ճշտության մեջ կասկածողները մեղադրվեցին աստվածուրացության

մեջ։ Հետագայում էլ «մշակման» ենթարկեցին պտղոմեոսյան համակարգը։ Մասնավորապես եկեղեցու որոշ ազդեցիկ գործիչներ չէին ընդունում Երկրի գնդաձևությունը։

Հետագա դարերում աստղագիտական գործիքների կատարելագործումը դիտումների արդյունքները ավելի ու ավելի խոր հակասության մեջ էր դնում պտղոմեոսյան երկրակենտրոն համակարգի հիման վրա կատարված կանխագուշակումների հետ։ Այս փակուղուց դուրս գալու նպատակով, երկրակենտրոն ուսմունքի կողմնակիցները դիմում էին զանազան հնարամտությունների։ Ընդունում էին, որ Երկրի շուրջը պտտվում են մոլորակի ոչ թե մեկ, այլ մի քանի մակաշրջանակներ։

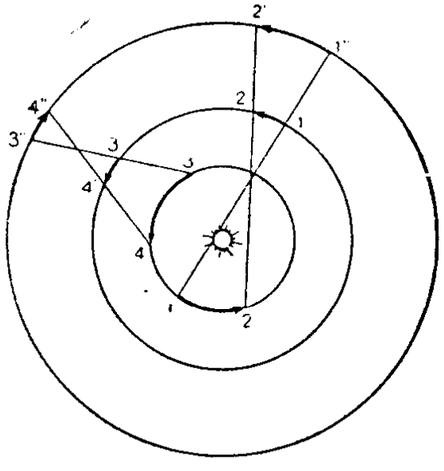
Շատերն էին համոզված, որ երկրակենտրոն համակարգը իրականությանը չի համապատասխանում, սակայն դրան փոխարինող նոր և հիմնավորված ուսմունք առաջարկվեց միայն XVI դարի կեսին։ Աստղագիտության և ընդհանրապես բնագիտության մեջ այդ մեծ հեղաշրջում կատարելու պատիվը պատկանում է վերածննդի դարաշրջանի ականավոր գործիչ, աշխարհի արևակենտրոն ուսմունքի ստեղծող, լեհ մեծ գիտնական Նիկոլայ Կոպերնիկոսին (1473—1543)։

Այն, որ Մերկուրին ու Վեներան Արեգակից շատ չեն հեռանում և նրանց շարժման ժամանակամիջոցը ուղղորդ շրջանակով ինչպես նաև մյուս մոլորակների մակաշրջանակներով պտտվելու ժամանակամիջոցները հավասար են մեկ տարվա, այսինքն Արեգակի տեսանելի պտտման պարբերությանը, Կոպերնիկոսին համոզեց, որ համակարգության մեջ կարևոր դերը պատկանում է Արեգակին։ Ոչ թե Երկիրը, այլ Արեգակը պետք է գտնվի համակարգության կենտրոնում։

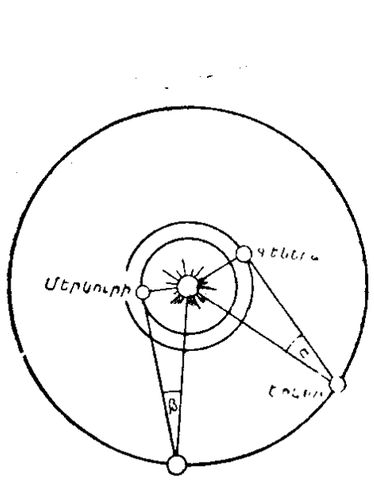
Կոպերնիկոսի արևակենտրոն ուսմունքն ամփոփող «Երկնային ոլորտների պտույտի մասին» գրքի առաջին հատորը լույս է տեսնում 1543 թ., երբ նա անզգա պառկած էր մահվան մահճում։ Այդ ընդարձակ երկասիրությամբ Կոպերնիկոսը փաստորեն հիմք դրեց գիտական աստղագիտությանը։ Նա հանգեց հետևյալ հիմնական եզրակացություններին. Երկիրը Տիեզերքի կենտրոնը չէ, այլ կենտրոն է միայն իր վրա գտնվող մարմինների, ինչպես նաև նրա շուրջը պտտվող Լուսնի ուղեծրի։ Տիեզերքի կենտրոնում գտնվում է Արեգակը, իսկ նրա շուրջը շրջանաձև ուղեծրերով պտտվում են. Մերկուրին, Վեներան, Երկիրը (նրա շուրջը Լուսինը), Մարսը, Յուպիտերը և Սատուրնը, որից հետո գտնվում է անշարժ աստղերի ոլորտը։ Այսպիսով Երկիրը մի սովորական մոլորակ է, որը մեկօրյա պարբերությամբ պտտվում է իր առանցքի, իսկ մի տարվա

պարբերությամբ՝ Արեգակի շուրջը։ Երկնոլորտի օրական պտույտը միայն թվացող է. իրականում Երկիրը պտտվում է արևմուտքից դեպի արևելք։ Երկրի այն երեսում, որն ուղղված է դեպի Արեգակ, լինում է ցերեկ, իսկ կես պտույտ կատարելուց հետո այդ նույն մասում լինում է գիշեր։

Արեւակենտրոն համակարգի ընդունումով հեշտությամբ բացատրվեց նաև տարվա եղանակների առաջացումը։ Մոլորակների դիտվող ուղիղ ու հակառակ ընթացքը Կոպերնիկոսը բացատրում է նրանով, որ նրանց մենք դիտում ենք շարժվող Երկրից։ Քանի որ արտաքին մոլորակների անկյունային (և գծային) արագությունները ավելի փոքր են, քան Երկրինը, նշանակում է նույն ժամանակամիջոցում Երկիրն իր ուղեծրով կանցնի ավելի մեծ տարածություն, քան արտաքին մոլորակը (նկ. 38)։ Եթե Երկիրը և արտաքին մոլորակը գտնվում են Արեգակի տարբեր կողմերում, ապա Երկիրը 1 դիրքից 2 դիրք տեղափոխվելիս, մոլորակը, որը այդ ժամանակամիջոցում 1′-ից տեղափոխվում է 2′ դիրքը, երկնոլորտի վրա պրոյեկտվելով, մեզ կթվա, որ նա 1″-ից տեղափոխվում է 2″ դիրքը. այսինքն ունի ուղիղ շարժում։ Իսկ եթե Երկիրն ու մոլորակը գտնվեն Արեգակի միևնույն կողմում, ապա Երկիրը 3-ից 4 դիրքին անցնելիս մոլորակի 3′-ից 4′ դիրք տեղափոխումը երկնոլորտի վրա կունենա հակառակ շարժում։



Նկ. 38. Արտաքին մոլորակների տեսանելի շարժումների բացատրությունը։



Նկ. 39. Ներքին մոլորակների տեսանելի շարժումների բացատրությունը։

Ներքին մոլորակի դեպքում, նրա ուղեծիրը, գտնվելով Երկրի ուղեծրի ներսում (նկ. 39), Արեգակից մոլորակը շատ չի հեռանա և երկնոլորտի վրա Արեգակի շուրջը ուղղագիծ կտեղափոխվի դեպի աջ և ձախ։ Ընդ որում էլոնգացիայի առավելագույն մեծությունը

կախված կլինի մոլորակի ուղեծրի չափերից։ Քանի որ, ըստ դիտումների, Մերկուրու ամենամեծ էլոնգացիան փոքր է Վեներայի ամենամեծ էլոնգացիայից, Կոպերնիկոսը եզրակացրեց, որ Մերկուրին Արեգակի շուրջը պտտվում է ավելի փոքր ուղեծրով, քան Վեներան։

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ մոլորակների գծած օղակների անկյունային չափերը կախված կլինեն նրանց հեռավորությունից, չափելով օղակների անկյունային տրամագծերը, Կոպերնիկոսը որոշեց մոլորակների հեռավորությունները՝ արտահայտված Երկիր-Արեգակ հեռավորության միավորներով։ Իսկ վերջինս որոշելու համար նա կիրառեց Արիստարքոս Սամոսացու (IV դ.—III դ. մ. թ. ա.) մեթոդը և գտավ, որ այն 1197 անգամ մեծ է Երկրի շառավղից։ Այսինքն, ստացավ իրականից 20 անգամ փոքր արժեք։ Սխալը հիմնականում հետևանք էր օգտագործված գործիքների փոքր ճշտության։

Որ իրոք մոլորակները պտտվում են ոչ թե Երկրի, այլ Արեգակի շուրջը, Կոպերնիկոսը հիմնավորում էր նաև նրանով, որ մոլորակների փայլը կախված է Արեգակի նկատմամբ նրանց ունեցած դասավորությունից, այսինքն՝ մեր նկատմամբ դրանք փոխում են իրենց հեռավորությունները։

Կոպերնիկոսը բացահայտեց մոլորակների դիրքերի աստղերի (սիդերիկ կամ աստղային) ու Արեգակի (սինոդիկ կամ միացման) նկատմամբ ունեցած տեսանելի շարժումների պարբերությունների միջև եղած կապը։ Դիցուք, տվյալ աստղից մոլորակը հետզհետե հեռանալով իր դիրքը վերականգնում է T_1 օրում, իսկ Արեգակի նկատմամբ՝ T_2 օրում։ Հայտնի է նաև, որ Երկիրը Արեգակի շուրջը պտտվում է 365,2564 օրում։

Մեկ օրում մոլորակը տեղափոխված կլինի $\frac{360^\circ}{T_1}$ անկյամբ, իսկ Երկիրը՝ $\frac{360^\circ}{365{,}2564}$ անկյամբ։ Այսինքն, մոլորակը Երկրից ետ կմնա $\frac{360^\circ}{365{,}2564} - \frac{360^\circ}{T_1}$ չափով։ Այդ տարբերությունը օրեցօր գումարվելով, 360° կդառնա այն դեպքում, երբ արտաքին մոլորակը Երկրի ու Արեգակի նկատմամբ գրավի իր նախկին դիրքը, այսինքն՝ T_2 օրից հետո։ Նշանակում է.

$$\left(\frac{360^\circ}{365{,}2564} - \frac{360^\circ}{T_1}\right) T_2 = 360^\circ,$$

որտեղից էլ

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{365{,}2564} - \frac{1}{T_1}:$$

Ներքին մոլորակների համար T_1-ը փոքր է 365,2564-ից և այդ առնչությունը կգրվի

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{365{,}2564}$$

տեսքով։

Դիտումներով հեշտությամբ կարելի է որոշել մոլորակների սիդերիկ պարբերությունները։ Ստացված բանաձևերով էլ կորոշվի Արեգակի շուրջը նրանց ունեցած պտտման ժամանակամիջոցները։

Արևակենտրոն ուսմունքի ստեղծումը հսկայական դեր խաղաց հետագա աշխարհճանաչողության գործում։ Կոպերնիկոսի ուսմունքի դեմ պայքարը սկսվում է XVI դարի վերջերից, երբ գիտնականների մի մասը ոչ միայն ընդունեց, այլև սկսեց զարգացնել այն։ Այդ պայքարը իր գագաթնակետին է հասնում այն ժամանակ, երբ Ջորդանո Բրունոն, երկրից-երկիր շրջելով, ցույց էր տալիս երկրակենտրոն ուսմունքի անիմաստ լինելը և ընդգծում արևակենտրոն ուսմունքի ճշմարտացիությունը։ Ավելին, նա պնդում էր, որ Տիեզերքն անվերջ է, բոլոր աստղերը Արեգակներ են, որոնց շուրջը պտտվում են մոլորակներ, և որ կյանքը մեր Երկրի վրա ոչ թե հազվադեպ երևույթ է, ինչպես պնդում են եկեղեցու սպասավորները, այլ բնության զարգացման օրինաչափ արդյունք։

1600 թ., իր հանդուգն հայացքների ու գործունեության համար, Ջորդանո Բրունոյին կենդանի այրեցին խարույկի վրա։ Սուրբ գրության դեմ դուրս գալու համար 1616 թ. որոշում է ընդունվում Կոպերնիկոսի աշխատությունը մոցնել արգելված գրականության ցուցակի մեջ և պատժել բոլոր նրանց, ովքեր կպրոպագանդեն Կոպերնիկոսի ուսմունքը կամ թե կզբաղվեն արևակենտրոն ուսմունքի այս կամ այն հարցերով։ 1633 թ., Կոպերնիկոսյան ուսմունքի կողմնակից ու հիմնավորողներից, 70-ամյա Գալիլեո Գալիլեյին կանգնեցրին ինկվիզիցիայի դատարանի առաջ և ստիպեցին հրապարակորեն հրաժարվել իր տեսակետներից, որից հետո մահապատիժը փոխարինեցին ազատ աքսորով. նա մինչև իր կյանքի վերջը գտնվեց խիստ հսկողության տակ։

Սակայն ձեռնարկած այդ միջոցառումներն ի վիճակի չէին դադարեցնելու գիտության առաջընթացը։ Չնայած բոլոր խոչընդոտներին, արևակենտրոն համակարգը հետզհետե լայն տարածում է ըստանում։

Կոպերնիկոսի պատկերած արևակենտրոն համակարգում կային որոշ անճշտություններ։ Մասնավորապես ենթադրվում էր, որ մոլորակները Արեգակի շուրջը պտտվում են շրջանաձև ուղեծրերով և հաստատուն գծային արագությամբ, մի բան, որ չի համապատասխանում իրականությանը։ Այս թերությունները շուտով իրենց զգացնել են տալիս։ Դիտումների արդյունքները հակասության մեջ են մտնում տեսական հաշվումների հետ։ Արևակենտրոն համակարգի կողմնակիցների մի մասը դիմում է մակաշրջանակների վերականգնմանը, միայն այն տարբերությամբ, որ մոլորակի մակաշրջանակի կենտրոնը ուղղորդ շրջանակով պտտվում է ոչ թե Երկրի, այլ Արեգակի շուրջը։ Գիտնականների մի մասն էլ գնաց «միջանկյալ» ճանապարհով։ Առաջ քաշվեցին այլ վարկածներ, որոնցից իր ժամանակին որոշ տարածում ստացավ դանիական աստղագետ Տիխո Բրագեի (1546—1601) ներկայացրած սխեման։ Ըստ Տիխո Բրագեի մոլորակները պտտվում են Արեգակի շուրջը, իսկ ինքը՝ Արեգակը պտտվում է Երկրի շուրջը։

Կոպերնիկոսի արևակենտրոն ուսմունքը վերջնականորեն հիմնավորվում է և ճշգրտվում Գալիլեո Գալիլեյի (1564—1642), Յոհան Կեպլերի (1571—1630) և Իսահակ Նյուտոնի (1643—1727) ուսումնասիրություններով։

Գ. Գալիլեյը 1609 թ. իր իսկ պատրաստած հեռադիտակով բացահայտեց այնպիսի փաստեր, որոնք անառարկելի ճշմարտություն էին դարձնում արևակենտրոն համակարգը։ Նա Լուսնի վրա նկատեց հարթավայրեր, լեռներ։ Լեռների ստվերների երկարությամբ որոշեց նրանց բարձրությունները։ Սա նշանակում էր, որ Լուսինն իր մակերևութային կառուցվածքով նման է Երկրին։ Արեգակի վրա նա նկատեց մուգ բծեր և դրանց տեղափոխմամբ որոշեց Արեգակի պտտման պարբերությունը։ Հերքվեց երկրային ու երկնային մարմինների մինչ այդ ենթադրվող տարբերությունները։

Գալիլեյը Վեներան տեսավ մահկաձև (փուլերով)։ Դա նշանակում էր, որ նա էլ Լուսնի նման իր սեփական լույսը չունի և երեվում է Արեգակի լույսի անդրադարձման շնորհիվ։ Լուսնի փուլի շրջանաձև եզրագիծը, եթե մտովի շարունակենք, ապա ստացված սկավառակի անկյունային տրամագիծը նրա ցանկացած փուլի դեպքում գրեթե չի փոխվում. այսինքն՝ գրեթե հաստատուն է Երկիր-Լուսին հեռավորությունը, այնինչ Վեներայի անկյունային տրամագծի մեծությունը կախված էր փուլի տեսքից։ Նեղ մանգաղաձև երեվալու դեպքում Վեներան դիտվում էր մեծ անկյունային տրամագծով, իսկ սկավառակաձև լուսավորված Վեներան իր չափերով լինում էր ամենափոքրը։ Դա ակնառու կերպով ցույց էր տալիս,

որ երկիր-Վեներա հեռավորությունը փոփոխվում է մեծ սահմաններում, այսինքն՝ Վեներան պտտվում է ոչ թե երկրի, այլ Արեգակի շուրջը։ Որ մյուս մոլորակներն էլ են պտտվում Արեգակի շուրջը, Գալիլեյը հիմնավորում էր այն փաստով, որ նրանց հեռավորությունները (սկավառակների անկյունային տրամագծերը) փոփոխվում են։

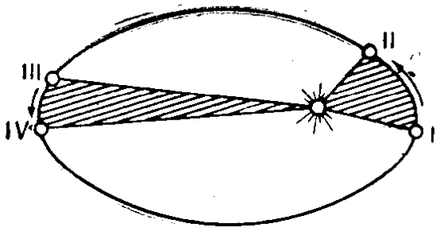
Գալիլեյը Յուպիտերի շուրջը նկատեց չորս արբանյակներ, որոնց պտտման պարբերությունները կախված էին մայր մոլորակից ունեցած հեռավորությունից։ Սա մի կարևոր փաստ էր արևակենտրոն ուսմունքի օգտին։ Բանն այն է, որ այն ժամանակ դեռևս չէր բացահայտվել տիեզերական ձգողական օրենքը և գիտնականների մի մասը չէր ընդունում երկրի շարժումը, պատճառաբանելով, թե անհնար է, որ Լուսինը պտտվի երկրի շուրջը և միաժամանակ ինքը՝ երկիրը պտտվի Արեգակի շուրջը։ Ենթադրվում էր, որ այդ դեպքում երկիր-Լուսին համակարգը կքայքայվեր։ Յուպիտերի պտտման մեջ բոլորն էլ համոզված էին (մի մասն ընդունում էր, որ այն պտտվում է երկրի, մյուս մասն էլ՝ Արեգակի շուրջը), իսկ այժմ ստացվում էր, որ մեկի փոխարեն չորս լուսիններ ունեցող Յուպիտերը պտտվում է մեկ այլ մարմնի շուրջը և համակարգը չի քայքայվում։

§ 35. Կեպլերի օրենքները

3. Կեպլերը մանրազնին ուսումնասիրելով Տիխո Բրադեյի կատարած, Մարսի 20-ամյա դիտումների արդյունքները, հանգեց (հետագայում իր անունը կրող) հանրահայտ երեք օրենքների։

ԿԵՊԼԵՐԻ ԱՌԱՋԻՆ ՕՐԵՆՔԸ: Մոլորակները շարժվում են էլիպսաձև ուղեծրերով, որոնց կիզակետերից (ֆոկուսներից) մեկում գտնվում է Արեգակը։ *Այդ օրենքից անմիջականորեն բխում է, որ մոլորակի շարժման ընթացքում փոփոխվում է նրա հեռավորությունը Արեգակից։*

ԿԵՊԼԵՐԻ ԵՐԿՐՈՐԴ ՕՐԵՆՔԸ: Մոլորակի շառավիղ վեկտորը (այսինքն՝ մոլորակը Արեգակի հետ միացնող ուղղի հատվածը) հավասար ժամանակամիջոցներում գծում է հավասարամեծ մակերեսներ։ Նկ. 40-ից երևում է, որ



Նկ. 40. Կեպլերի երկրորդ օրենքի բացատրությունը։

միևնույն ժամանակամիջոցում գծած I և II դիրքերի միջև ընկած էլիպսի աղեղը ավելի երկար կլինի, քան III և IV դիրքերի մեջ գտնվողը։ Նշանակում է, մոլորակի շարժման արագությունը հաստատուն չէ, այլ կախված է Արեգակից

ունեցած նրա հեռավորությունից։ Արեգակին մոտ մասերում մոլորակը շարժվում է ավելի արագ, քան ուղեծրի հեռավոր մասերում։

ԿԵՊԼԵՐԻ ԵՐՐՈՐԴ ՕՐԵՆՔԸ: Յուրաքանչյուր երկու մոլորակի Արեգակի շուրջն ունեցած պտտման պարբերությունների քառակուսիների հարաբերությունը հավասար է նրանց ուղեծրերի մեծ կիսաառանցքների խորանարդների հարաբերությանը։

Եթե T_1-ով ու a_1-ով նշանակենք առաջին մոլորակի պտտման պարբերությունն ու ուղեծրի մեծ կիսաառանցքը, իսկ երկրորդ մոլորակի այդ նույն մեծությունները՝ T_2-ով ու a_2-ով, ապա Կեպլերի երրորդ օրենքը կարտահայտվի

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

բանաձևով։ Այս օրենքից բխում է, որ մոլորակների պտտման պարբերությունները կախված են Արեգակից ունեցած նրանց հեռավորություններից։

Կեպլերի օրենքները կիրառելի են ոչ միայն Արեգակնային համակարգության մեջ մտնող մոլորակների նկատմամբ. այդ նույն օրինաչափություններին են ենթարկվում նաև մոլորակների շուրջը պտտվող արբանյակների շարժումները։ Դրանք կիրառելի են բոլոր այն դեպքերում, երբ համակարգի կենտրոնական մարմնի զանգվածի նկատմամբ մյուս մարմինների զանգվածները արհամարհելի փոքր են, բացի այդ, մարմինների չափերը նրանց հեռավորությունների նկատմամբ նույնպես արհամարհելի փոքր են։

§ 36. Տիեզերական ձգողականության օրենքը

Կեպլերի օրենքների հայտնագործությունից հետո կարելի էր ենթադրել, որ Արեգակնային համակարգության մեջ գոյություն ունի մի ընդհանուր ուժ, որի ազդեցությամբ տեղի են ունենում մոլորակների ու արբանյակների շարժումները։ Սակայն այդ ուժի բացահայտումը կատարվեց մի քանի տասնյակ տարի անցնելուց հետո միայն, երբ Գալիլեյի և այլոց կողմից ձևակերպվեցին մեխանիկայի հիմնական սկզբունքները։ Այդ ուժի բացահայտումը և նրա մաթեմատիկական ձևակերպումը տվեց Իսահակ Նյուտոնը։

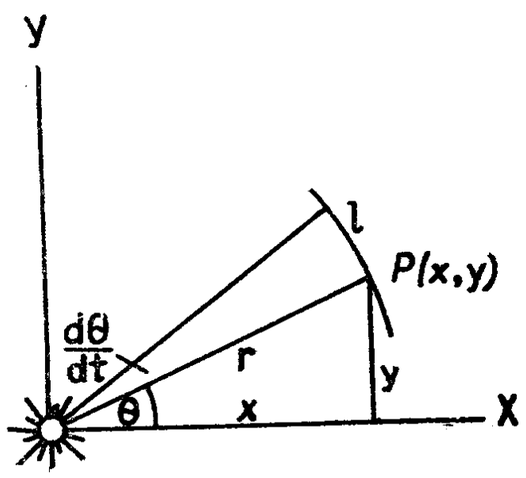
Ըստ մեխանիկայի երկրորդ սկզբունքի, եթե մարմնի վրա ազդում է ուժ, ապա մարմինն ստանում է արագացում, որն ուղղված է ազդող ուժի ուղղությամբ, ընդ որում արագացման մեծությունն ուղիղ համեմատական է ազդող ուժին և հակադարձ համեմատական մարմնի զանգվածին։ Մաթեմատիկորեն դա կարելի է գրել հետևյալ կերպ.

$$g = \frac{F}{m} \qquad կամ \qquad F = mg,$$

որտեղ՝ g-ն արագացումն է, F-ը՝ ուժը, իսկ m-ը՝ մարմնի զանգվածը։ Ուժի պրոյեկցիաները կոորդինատական առանցքների վրա համապատասխանորեն նշանակելով F_x, F_y և հաշվի առնելով, որ արագացումը ճանապարհի երկրորդ ածանցյալն է ըստ ժամանակի, կստանանք՝

$$F_x = m\frac{d^2x}{dt^2}, \quad F_y = m\frac{d^2y}{dt^2}: \tag{1}$$

Քանի որ մոլորակների ուղեծրերի հարթություններն անցնում են Արեգակով, ապա այստեղ շարժումը կլինի հարթության վրա և դրա համար էլ սահմանափակվում ենք երկու առանցքներով։ Թող կոորդինատների սկզբնակետում տեղավորված լինի Արեգակը, իսկ հարթության որոշ կետում գտնվի P մոլորակը (նկ. 41)։ Վերջինիս



նկ. 41.

դեկարտյան կոորդինատները նշանակենք (x, y)-ով, իսկ բևեռային կոորդինատները՝ (r, θ)-ով։ Ըստ Կեպլերի երկրորդ օրենքի, մոլորակի շառավիղ վեկտորը հավասար ժամանակամիջոցներում գծում է հավասարամեծ մակերեսներ, այսինքն՝ մոլորակի սեկտորյալ արագությունը հաստատուն է.

$$\frac{l \cdot r}{2} = \text{const}, \quad \text{բայց } l = \frac{d\theta}{dt} r,$$

որտեղից ստանում ենք՝

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = c: \tag{2}$$

Անցնելով դեկարտյան կոորդինատների, կստանանք՝

$$x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = c: \tag{3}$$

(3) հավասարությունը ածանցելով ըստ t-ի և հաշվի առնելով (1) արտահայտությունը, կստանանք՝ $xF_y - yF_x = 0$ կամ

$$\frac{F_y}{F_x} = \frac{y}{x}: \tag{4}$$

Բայց $\frac{F_y}{F_x}$-ը ազդող ուժով և x առանցքով կազմված անկյան տանգենսն է, իսկ $\frac{y}{x}$-ը՝ շառավիղ վեկտորով և x առանցքով կազմած անկյան տանգենսը։ Այսինքն, ստացել ենք՝

$$\text{tg}\,(F, x) = \text{tg}\,(r, x):$$

Այդ հավասարությունից բխում է, որ կամ ուժով և x առանցքով կազմված անկյունը հավասար է շառավիղ վեկտորով և x առանցքով կազմված անկյանը, այսինքն՝ ուժն ու շառավիղ վեկտորը ունեն միևնույն ուղղությունը, և կամ թե նրանց ուղղություններն իրարից տարբերվում են 180°-ով։ Առաջինը հնարավոր չէ, քանի որ այդ դեպքում ուժը ոչ թե մոլորակին կպահեր ուղեծրի վրա, այլ նրան կհրեր։ Այսինքն, կենտրոնախույս ուժին կգումարվեր նաև այդ ուժը և մոլորակը կհեռանար Արեգակից։ Մնում է երկրորդ ենթադրությունը։ Այսպիսով, Կեպլերի երկրորդ օրենքից բխում է, որ մոլորակին ուղեծրի վրա պահող ուժը կենտրոնական է, այսինքն՝ ուղղված է դեպի Արեգակ։

Ուժի պրոյեկցիաները կոորդինատական առանցքներից յուրաքանչյուրի վրա հավասար են այդ ուժի և համապատասխան առանցքի կազմած անկյան կոսինուսի արտադրյալին, այսինքն՝

$$F_x = F \cdot \cos(F, x) = -F\frac{x}{r}, \tag{5}$$

$$F_y = F \cdot \cos(F, y) = -F\frac{y}{r}: \tag{6}$$

(5) հավասարությունը բազմապատկելով x-ով, (6)-ը՝ y-ով և գումարելով, կստանանք՝

$$xF_x + yF_y = -F\frac{x^2}{r} - F\frac{y^2}{r} = -F \cdot r \quad կամ$$

$$xm\frac{d^2x}{dt^2} + ym\frac{d^2y}{dt^2} = -mgr, \quad որտեղից՝$$

$$x\frac{d^2x}{dt^2} + y\frac{d^2y}{dt^2} = -gr: \tag{7}$$

Ցույց տանք, որ Կեպլերի առաջին օրենքից բխում է, որ ազդող

ուժը հակադարձ համեմատական է մոլորակի հեռավորության քառակուսուն։ Դրա համար (7) հավասարությունն արտահայտենք բևեռային կոորդինատներով, այնուհետև (2)-ից տեղադրենք $\frac{d\theta}{dt}$-ի արժեքը և ստացված հավասարումը լուծենք g-ի նկատմամբ, կստանանք՝

$$g = \frac{c^2}{r^3} - \frac{d^2r}{dt^2}: \qquad (8)$$

Բայց, ըստ Կեպլերի առաջին օրենքի, մոլորակները պտտվում են էլիպսներով, որոնց կիզակետերից մեկում գտնվում է Արեգակը։ Էլիպսի հավասարումը բևեռային կոորդինատներով արտահայտվում է հետևյալ կերպ՝

$$r = \frac{p}{1 - e \cdot \cos\theta}: \qquad (9)$$

Այստեղից գտնենք $\frac{d^2r}{d\theta^2}$-ի արժեքը, ընդ որում ամեն անգամ $\frac{d\theta}{dt}$-ի փոխարեն տեղադրելով $\frac{c}{r^2}$, կստանանք՝

$$\frac{d^2r}{dt^2} = -\frac{c \cdot e}{p}\cos\theta \cdot \frac{c}{r^2},$$

կամ, (9)-ից տեղադրելով $\cos\theta$-ի արժեքը՝

$$\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{c}{p}\left(\frac{p}{r} - 1\right) \cdot \frac{c}{r^2}:$$

Ստացված այս արժեքը տեղադրելով (8)-ում, վերջնականորեն կստանանք՝

$$g = \frac{c^2}{p \cdot r^2}:$$

Բայց, որովհետև c-ն և p-ն տվյալ մոլորակի համար հաստատուն են, ստանում ենք, որ ձգողական ուժի արագացումը հակադարձ համեմատական է տվյալ մոլորակի հեռավորության քառակուսուն։

Այժմ ցույց տանք, որ Կեպլերի երրորդ օրենքից բխում է, որ ուժը հեռավորության քառակուսուն հակադարձ համեմատական լինելը ճիշտ է ոչ միայն տվյալ մոլորակի, այլև ընդհանրապես բոլոր մոլորակների համար։

Դժվար չէ նկատել, որ չնայած սեկտորյալ արագությունը, ինչպես նաև պարամետրը տարբեր մոլորակների դեպքում տարբեր են,

բայց $\frac{c^3}{p}$ հարաբերությունը բոլոր մոլորակների համար նույնն է։ Եվ իրոք, սեկտորյալ արագությունը հավասար է մոլորակի գծած էլիպսի մակերեսին բաժանած նրա ուղեծրային պտտման պարբերության վրա, իսկ c-ն սեկտորյալ արագության կրկնապատիկն է՝

$$c = 2\frac{\pi ab}{T}:$$

p-ն, որպես էլիպսի պարամետր, հավասար է $\frac{b^2}{a}$-ի։ Հաշվենք $\frac{c^2}{p}$ հարաբերությունը երկու տարբեր մոլորակների դեպքում։

$$\frac{c_1^2}{p_1} = \frac{4\pi^2 a_1^2 b_1^2}{T^2 \frac{b_1^2}{a_1}} = 4\pi^2 \frac{a_1^3}{T_1^2},$$

$$\frac{c_2^2}{p_2} = 4\pi^2 \frac{a_2^3}{T_2^2}:$$

Բայց ըստ Կեպլերի երրորդ օրենքի $\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}$, ուստի և $\frac{c_1^2}{p_1} = \frac{c_2^2}{p_2}$. դրանով էլ հաստատվեց մեր պնդումը։

Նյուտոնը ցույց տվեց, որ փոխադարձ ձգողական ուժ գոյություն ունի ոչ միայն Արեգակի ու մոլորակների, այլև ցանկացած երկու տիեզերական մարմինների միջև։ Նա մասնավորապես ապացուցեց, որ Երկրագնդի վրա ծանրության ուժը նույնն է, ինչ ուժով պահվում է լուսինն իր ուղեծրի վրա, այսինքն՝ ձգողական և ծանրության ուժերը միևնույնն են։ Եվ իրոք, Երկրի մակերևույթի, այսինքն՝ կենտրոնից 6371 կմ հեռավորության վրա ծանրության ուժի արագացումը հավասար է 981 սմ/վրկ², Լուսնի հեռավորության վրա այն փոքրացած կլինի $\left(\frac{384400}{6371}\right)^2$ անգամ, այսինքն՝ հավասար կլինի 0,273 սմ/վրկ²։

Մյուս կողմից էլ, եթե ընդունենք, որ Լուսինը Երկրի շուրջը մոտավորապես պտտվում է շրջանագծով, ապա նրա կենտրոնախույս ուժի արագացումը հավասար կլինի $\frac{v^2}{R}$-ի։ v-ն հավասար կլինի Լուսնի գծած շրջանագծի երկարությանը բաժանած պտտման պարբերության վրա, ուստի և՝

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot 384400^2}{27{,}3^2 \cdot 384400} \text{ կմ/վրկ}^2 = 0{,}273 \text{ սմ/վրկ}^2:$$

Ստացվեց միանգամայն նույն արժեքը: Այսինքն, Լուսինը ուղեծրի վրա պահող այլ ուժեր չկան, բացի Երկրի ձգողական ուժից (ծանրության ուժից):

Ազդման և հակազդման ուժերի հավասարությունից բխում է, որ եթե մի մարմին ձգում է մի այլ մարմնի, ապա երկրորդը ևս ձգում է առաջինին, նույն ուժով: Յուրաքանչյուր երկու նյութական մասնիկ տիեզերքում ձգում են իրար: Այսինքն, ձգողության այդ ուժը ուղիղ համեմատական է նրանց զանգվածների արտադրյալին և հակադարձ համեմատական նրանց հեռավորության քառակուսուն՝

$$F = -k^2 \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}:$$

Բացասական նշանը ցույց է տալիս, որ այդ ուժը ձգողական ուժ է: Համեմատականության k^2 գործակիցը այն ուժն է, որով իրար ձգում են միավոր հեռավորության վրա գտնվող միավոր զանգվածներով մարմինները: Եթե հեռավորությունները արտահայտենք սանտիմետրերով, զանգվածները՝ գրամներով, ապա՝

$$k^2 = \frac{1}{15\,000\,000} \frac{\text{սմ}^3}{\text{գր վրկ}^2}:$$

Այս թվի բավականին փոքր լինելու պատճառով առօրյա պայմաններում մարմինների փոխադարձ ձգողական ուժը մենք չենք զգում, քանի որ Երկրի մակերևույթի վրա գտնվող մարմինների փոխադարձ ձգողական ուժը Երկրի ձգողական ուժի, ինչպես նաև հենման մակերևույթի հետ շփման ուժի համեմատությամբ շատ ավելի փոքր է: Դրա հետևանքով էլ այդ ուժի տակ տեղափոխություն տեղի չի ունենում:

Ձգողական ուժն այլ ուժերի նկատմամբ առանձնահատուկ բնույթ ունի: Նա ազդում է անկախ նրանից թե տվյալ երկու մարմիններն ինչ բաղադրություն ունեն, ինչ վիճակում են գտնվում, կամ ինչպիսի անջրպետով են բաժանված: Ձգողական ուժը հանդես է գալիս ամենուր, եթե միայն մատերիա գոյություն ունի:

Նյուտոնի տիեզերական ձգողականության օրենքից բխում են բազմաթիվ հետևանքներ: Մասնավորապես հեշտ կարելի է համոզվել, որ երկու մարմինների վրա փոխադարձ ձգողական ուժն ազդում է հավասար չափով, սակայն նրանք ստանում են տարբեր արագացումներ, որոնք հակադարձ համեմատական են նրանց

զանգվածներին: Տարբեր զանգվածներով երկու մարմիններ, եթե երրորդից գտնվում են նույն հեռավորության վրա, նրա կողմից ձգվում են տարբեր ուժերով, բայց նրանց ստացած արագացումները հավասար են: Դրանից մասնավորապես բխում է, որ գործնականում Երկիրն ու Լուսինը Արեգակից ունենալով նույն հեռավորությունը, նրա կողմից ձգվում են տարբեր ուժերով, սակայն ըստանում են միևնույն արագացումները: Դրա շնորհիվ էլ Երկիր-Լուսին համակարգը Արեգակի ձգողական ուժի ազդեցությամբ չի քայքայվում:

Հետևանքներից է նաև այն, որ եթե միջմոլորակային տարածության որևէ կետից տարբեր ուղղություններով միևնույն արագությամբ նետենք մարմիններ, նրանք միևնույն պարբերությամբ կվերադառնան այդ նույն կետը (եթե, իհարկե, այդ արագությունը պարաբոլական արագությունից փոքր է, և ազդում է միայն կենտրոնական մարմնի ձգողական ուժը):

§ 37. Կեպլերի ընդհանրացված օրենքները

Նյուտոնը լուծեց նաև հակառակ խնդիրը. ընդունելով տիեզերական ձգողականության օրենքը, մաթեմատիկորեն դուրս բերեց Կեպլերի օրենքները՝ ավելի ընդհանուր և ճշգրտված տեսքով:

Արեգակի զանգվածը նշանակենք M-ով, իսկ մոլորակինը՝ m-ով: Նրանց փոխադարձ ձգողական ուժը կլինի՝

$$F = -k^2 \frac{M \cdot m}{r^2}:$$

Բաժանելով m-ի վրա, կստանանք մոլորակի ստացած արագացումը՝

$$g_1 = -k^2 \frac{M}{r^2}:$$

Բայց այդ նույն ուժի շնորհիվ Արեգակը ևս կստանա արագացում, որը հավասար կլինի՝

$$g_2 = +k^2 \frac{m}{r^2}:$$

Մոլորակի հարաբերական արագացումը Արեգակի նկատմամբ կլինի՝

$$g = g_1 - g_2 = -\frac{k^2 (M + m)}{r^2}:$$

Արագացման պրոյեկցիաները համապատասխան առանցքների վրա կլինեն՝

$$\frac{d^2x}{dt^2} = g_x = g \cdot \cos(g, x) = -\frac{k^2(M+m)}{r^2}\frac{x}{r}, \qquad (1)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = g_y = g \cdot \cos(g, y) = -\frac{k^2(M+m)}{r^2}\frac{y}{r}, \qquad (2)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g_z = g \cdot \cos(g, z) = -\frac{k^2(M+m)}{r^2}\frac{z}{r}, \qquad (3)$$

(2) հավասարությունը բազմապատկենք x-ով, (1)-ը՝ -y-ով և գումարենք։ Կստանանք $x\frac{d^2y}{dt^2} - y\frac{d^2x}{dt^2} = 0$, որը ինտեգրելով կստանանք՝

$$x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = C. \qquad (4)$$

Համանման ձևով կստանանք՝

$$y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt} = A,$$

$$z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt} = B,$$

որտեղ՝ A, B և C-ն ինտեգրման հաստատուններ են։ Եթե վերջին երեք հավասարություններից առաջինը բազմապատկենք z-ով, երկրորդը՝ x-ով, երրորդը՝ y-ով և գումարենք, կստանանք՝ $Ax + By + Cz = 0$, որը կոորդինատների սկզբնակետով անցնող հարթության հավասարում է։ Նշանակում է նյուտոնի տիեզերական ձգողական ուժի ազդեցությամբ երկնային մարմինները (մոլորակները, գիսավորները, երկնաքարերը) գծում են հարթ ուղեծրեր, որոնց հարթություններն անցնում են Արեգակով։

Այդ հարթությունն ընդունելով (x,y) հարթություն՝ շարժման հավասարումներից կմնան միայն (1) և (2)-ը և նրանց հետևանք՝ (4)-ը։

Ինչպես նախորդ պարագրաֆում տեսանք, (4) հավասարությունը հավասարազոր է նրան, որ երկնային մարմնի շառավիղ-վեկտորը հավասար ժամանակամիջոցներում գծում է հավասարամեծ մակերեսներ և որ C-ն սեկտորյալ արագության կրկնապատիկն է։

Այսպիսով, Կեպլերի երկրորդ օրենքը նույնությամբ համընկնում է Նյուտոնի օրենքից ստացված արդյունքի հետ։

Այժմ տեսնենք, թե երկնային մարմինը տիեզերական ձգողական ուժի ազդեցությամբ ինչպիսի՞ ուղեծրով կշարժվի։

Շարժման հավասարումներից (1)-ը բազմապատկենք $2\frac{dx}{dt}$-ով, (2)-ը՝ $2\frac{dy}{dt}$-ով և գումարենք, կստանանք՝

$$2\frac{dx}{dt}\frac{d^2x}{dt^2} + 2\frac{dy}{dt}\cdot\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{k^2(M+m)}{r^3}\left(2x\frac{dx}{dt} + 2y\frac{dy}{dt}\right),$$

կամ

$$\frac{d}{dt}\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2\right] = -\frac{k^2(M+m)}{r^3}\frac{d}{dt}\left(x^2+y^2\right):$$

Աջ մասում (x^2+y^2) գումարը փոխարինելով r^2-ով, ածանցումը կատարելով և հավասարությունը ինտեգրելով, կստանանք՝

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \frac{2k^2(M+m)}{r} + A,$$

որտեղ՝ A-ն ինտեգրման հաստատունն է։ Տեղադրելով $x = r\cdot\cos\theta$, $y = r\cdot\sin\theta$, ինչպես նաև նրանց ածանցյալները, կստանանք՝

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = \frac{2k^2(M+m)}{r} + A. \qquad (5)$$

Ուղեծրի հավասարումն ստանալու համար (5) հավասարությունից պետք է t-ն արտաքսել։ Ունենք $r^2\frac{d\theta}{dt} = c$։ (5) հավասարության մեջ $\frac{d\theta}{dt}$-ի փոխարեն կտեղադրենք $\frac{c}{r^2}$, ինչ վերաբերում է $\frac{dr}{dt}$-ին, ապա այն կարելի է ձևափոխել հետևյալ կերպ՝

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\theta}\cdot\frac{d\theta}{dt} = \frac{dr}{d\theta}\cdot\frac{c}{r^2},$$

Այսպիսով, (5) հավասարությունը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$\left(\frac{dr}{d\theta}\cdot\frac{c}{r^2}\right)^2 + r^2\left(\frac{c}{r^2}\right)^2 = \frac{2k^2(M+m)}{r} + A,$$

որտեղից՝

$$\frac{dr}{d\theta} = \frac{r^2}{c}\sqrt{A + \frac{2k^2(M+m)}{r} - \frac{c^2}{r^2}},$$

Փոփոխականներն անջատելով և արմատատակ արտահայտությունը բերելով հարմար տեսքի, կստանանք՝

$$d\theta = \frac{-d\left(\frac{c}{r}\right)}{\sqrt{A + \frac{k^4(M+m)^2}{c^2} - \left[\frac{k^2(M+m)}{c} - \frac{c}{r}\right]^2}};$$

կամ՝

$$\theta = \arccos\frac{\frac{k^2(M+m)}{c} - \frac{c}{r}}{\sqrt{A + \frac{k^4(M+m)^2}{c^2}}} + \theta_1,$$

որտեղից՝

$$\cos(\theta - \theta_1) = \frac{\frac{k^2(M+m)}{c} - \frac{c}{r}}{\sqrt{A + \frac{k^4(M+m)^2}{c^2}}};$$

Լուծելով r-ի նկատմամբ, կստանանք՝

$$r = \frac{\frac{c^2}{k^2(M+m)}}{1 - \sqrt{\frac{Ac^2}{k^4(M+m)^2} + 1}\cdot\cos(\theta - \theta_1)};$$

Ստացանք $r = \frac{p}{1 - e\cos\theta}$ բևեռային տեսքով կոնական հատույթի հավասարում, ուր պարամետրը՝ $p = \frac{c^2}{k^2(M+m)}$, իսկ էքսցենտրիսիտետը՝ $e = \sqrt{\frac{Ac^2}{k^4(M+m)^2} + 1}$;

Քանի որ A-ն ինտեգրման հաստատուն է, նշանակում է ուղեծրի էքսցենտրիսիտետը (քաոակուսի արմատը) կարող է ստանալ ցանկացած արժեք։ Այսպիսով, Արեգակի ձգողական ուժի

ազդեցությամբ, երկնային մարմինը Արեգակի շուրջը կարող է շարժվել կոնական հատույթով՝ էլիպսով (մասնավորապես շրջանագծով), պարաբոլով և հիպերբոլով։ Սա է Կեպլերի ընդհանրացված առաջին օրենքը։

Այժմ ստանանք Կեպլերի ընդհանրացված երրորդ օրենքը։ Ուղեծրի բևեռային հավասարման մեջ P-ն, որն էլիպսի դեպքում հավասար է $\frac{b^2}{a}$ հարաբերությանը, տվյալ դեպքում հավասար կլինի՝ $\frac{b^2}{a} = \frac{c^2}{k^2(M+m)}$, մյուս կողմից՝ $c = \frac{2\pi ab}{T}$, ուստի և

$$\frac{b^2}{a} = \frac{4\pi^2 a^2 b^2}{T^2 k^2 (M+m)},$$

որտեղից՝

$$\frac{T^2(M+m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{k^2}; \qquad (6)$$

Եթե նման արտահայտություն գրենք m_1 զանգված, T_1 պարբերություն և ուղեծրի a_1 մեծ կիսառանցք ունեցող մոլորակի համար, կստանանք՝

$$\frac{T_1^2(M+m_1)}{a_1^3} = \frac{4\pi^2}{k^2}; \qquad (7)$$

(6) և (7) հավասարությունների ձախ մասերի հավասարեցումից կստանանք՝

$$\frac{T^2(M+m)}{a^3} = \frac{T_1^2(M+m_1)}{a_1^3}$$

կամ վերջնական տեսքով՝

$$\frac{T^2(M+m)}{T_1^2(M+m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}; \qquad (8)$$

Այսպես է արտահայտվում Կեպլերի ընդհանրացված երրորդ օրենքը։

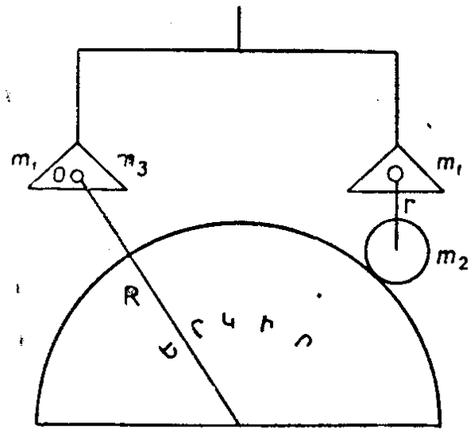
Քանի որ Արեգակնային համակարգության մեջ մոլորակների զանգվածները Արեգակի զանգվածի համեմատությամբ չափազանց փոքր են, այսինքն՝ (8) հավասարության փակագծերի երկրորդ գումարելիները կարելի է արհամարհել, այդ դեպքում M-երն էլ կկրճատվեն և կստանանք՝

$$\frac{T^2}{T_1^2} = \frac{a^3}{a_1^3},$$

այսինքն՝ Կեպլերի երրորդ օրենքը։ Ուրեմն, Արեգակնային համակարգության նկատմամբ Կեպլերի երրորդ օրենքը միանգամայն կիրառելի է։

§ 38. Արեգակնային համակարգության անդամների զանգվածների որոշելը

1. Երկրի զանգվածի որոշելը։ *Երկրի զանգվածի որոշման մի շարք մեթոդներ կան։ Այստեղ մենք կնկարագրենք Յոլլի փորձը։ Վերցնենք մի կշեռք, որի լծակը երկար է, այսինքն՝ նժարները իրարից գտնվում են շատ հեռու (նկ. 42)։ Նրանց վրա դնենք* m_1*-ական ծանրության կշռաքարեր։ Կշեռքը կգտնվի հավասարակշռության մեջ։ Նժարներից մեկին մոտեցնենք* m_2 *կշռով կապարե մի մեծ գունդ։ Վերջինիս ու այդ նժարի վրա դրված* m_1 *կշռաքարի փոխադարձ ձգողական ուժի շնորհիվ կշեռքը հավասարակշռությունից դուրս կգա (մյուս նժարի կշռաքարի վրա կապարե գունդը գործնականորեն չի ազդի, քանի որ այն գտնվում է մեծ հեռավորության վրա)։ Հավասարակշռությունը նորից վերականգնելու համար անհրաժեշտ կլինի ձախ նժարի վրա ավելացնել լրացուցիչ ծանրոց։ Դիցուք, նրա կշիռը* m_3 *է։*



Նկ. 42. Երկրի զանգվածի որոշելը։

Կշեռքը հավասարակշռվեց այն պատճառով, որ կապարի գնդի ու նրան մոտ գտնվող m_1 *կշռաքարի փոխադարձ ձգողական ուժը հավասար է Երկրի ու* m_3 *կշռաքարի փոխադարձ ձգողական ուժին.*

$$F_{m_1,\, m_2} = F_{m_3,\, M_\delta}.$$

կամ

$$-k^2 \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = -k^2 \frac{m_3 \cdot M_\delta}{R^2},$$

որտեղ r*-ը՝* m_1*-ի և* m_2*-ի, իսկ* R*-ը՝ Երկրի և* m_3*-ի կենտրոնների հեռավորություններն են։* R*-ը հայտնի է (որպես Երկրի շառավիղ և այն բարձրության գումար, ուր փորձը կատարվում է)։* r*-ը կշռափենք. կշռենք նաև* m_1*,* m_2*,* m_3 *մեծությունները։ Այսպիսով կմնա միակ անհայտը՝ Երկրի զանգվածը, որը և կորոշենք։*

Այս փորձը 1871 թվականին դրել է Յոլլը։ Փորձի ժամանակ օգտագործվել են հետևյալ տվյալները՝
$m_2 = 5775{,}2$ *կգ,* $r = 56{,}86$ *սմ,* $m_1 = 5$ *կգ,* $m_3 = 0{,}589$ *գ։*

Տեղադրելով այդ արժեքները, ինչպես նաև $R = 6371$ *կմ, ստացվում է՝*

$$M_\delta = 6 \cdot 10^{24} \text{ կգ}.$$

Զանգվածը բաժանելով ծավալի վրա, կստանանք միջին խտությունը։ Երկրի համար այն 5,5 անգամ գերազանցում է ջրի խտությանը։

2. Արեգակի զանգվածի որոշելը։ *Գրենք Կեպլերի ընդհանրացված երրորդ օրենքը Արեգակ-Երկիր և Երկիր-Լուսին համակարգերի համար.*

$$\frac{T^2 (M_\odot + M_\delta)}{t^2 (M_\delta + M_\text{լ})} = \frac{A^3}{a^3},$$

որտեղ՝ $M_\odot$*-ն,* M_δ*-ն և* $M_\text{լ}$*-ն համապատասխանաբար՝ Արեգակի, Երկրի և Լուսնի զանգվածներն են,* T*-ն՝ Արեգակի շուրջը Երկրի պտտման պարբերությունը (տարին),* t*-ն՝ Երկրի շուրջը Լուսնի պտտման պարբերությունը (ամիսը),* A*-ն և* a*-ն՝ համապատասխանաբար Երկրի և Լուսնի ուղեծրերի մեծ կիսառանցքները։ Քանի որ* $M_\delta \ll M_\odot$ *և* $M_\text{լ} \ll M_\delta$*, ուստի և փակագծերի երկրորդ գումարելիները կարելի է առաջինների նկատմամբ արհամարհել. այդ դեպքում կստանանք՝*

$$M_\odot = \frac{A^3}{a^3} \cdot \frac{t^2}{T^2} M_\delta.$$

A*,* t*,* a *և* T*-ի արժեքները տեղադրելով կստանանք՝* $M_\odot = 332\,296 M_\delta$*. Այսինքն, Արեգակի զանգվածը շուրջ* $^1/_3$ *միլիոն անգամ մեծ է Երկրի զանգվածից և հավասար է* $2 \cdot 10^{33}$ *գ։*

3. Մոլորակների և նրանց արբանյակների զանգվածների որոշելը։ *Մեծ մոլորակներից՝ Մարսը, Յուպիտերը, Սատուրնը, Ուրանը և Նեպտունը ունեն արբանյակներ։ Նրանց զանգվածները կարելի է որոշել, օգտվելով Կեպլերի ընդհանրացված երրորդ օրենքից, այս անգամ արդեն այն գրելով Արեգակ-մոլորակ և մոլորակ-արբանյակ համակարգերի համար։ Ստացված արտահայտության մեջ արհամարհելով արբանյակի զանգվածը մոլորակի զանգվածի, մո-*

լորակի զանգվածն էլ Արեգակի զանգվածի նկատմամբ, և տեղադրելով Արեգակի զանգվածի արժեքը՝ կստանանք մոլորակի զանգվածը։

Արբանյակ չունեցող մոլորակների, ինչպես և արբանյակների զանգվածները հաշվում են այլ երկնային մարմինների շարժման վրա նրանց ունեցած ազդեցությամբ։ Այդ ազդեցության չափը, որը հետևանք է ձգողական ուժի, համեմատական է մարմնի զանգվածին։ Ի դեպ այդ նույն դատողություններով է որոշվել այն ժամանակ անհայտ Նեպտուն մոլորակի դիրքը։

4. Լուսնի զանգվածի որոշելը։ *Հայտնի է, որ եթե երկու մարմին կրկնակի համակարգի բաղադրիչներ են, ապա նրանք պտտվում են ընդհանուր ծանրության կենտրոնի շուրջը։ Եթե այդ մարմինների զանգվածները իրար հավասար են, ապա նրանց ծանրության կենտրոնը կգտնվի մարմինների կենտրոնները միացնող հատվածի միջնակետում (մարմիններն ընդունվում են գնդաձև)։ Այսինքն, այդ ծանրության կենտրոնի շուրջը նրանց գծած ուղեծրերը կլինեն նույն մեծության։ Եթե մի մարմնի զանգվածը մյուսից մի քանի անգամ մեծ է, այդ դեպքում համակարգի ծանրության կենտրոնը նույնքան անգամ կլինի մեծ զանգվածով մարմնին մոտ և վերջինս կպտտվի ավելի փոքր ուղեծրով։ Ճիշտ են նաև հակառակ դատողությունները։ Եթե, օրինակ, դիտվում են երկու երկնային մարմիններ, որոնք պտտվում են ընդհանուր ծանրության կենտրոնի շուրջը, ընդ որում մեկի ուղեծիրը (ավելի ճշգրիտ ուղեծրի մեծ կիսառանցքը) մյուսից մի քանի անգամ մեծ է, այդ դեպքում մեծ ուղեծրով մարմնի զանգվածը ուղիղ այդքան անգամ փոքր կլինի մյուս մարմնի զանգվածից։*

Նման համակարգ են կազմում Երկիրն ու Լուսինը։ Աստղերի դիրքերի մեկամյա պարբերություն ունեցող փոփոխման չափով որոշում են Երկիր-Լուսին համակարգի ծանրության կենտրոնի շուրջը Երկրի գծած ուղեծիրը։ Ստացվում է, որ այն 81 անգամ ավելի փոքր է, քան Լուսնի գծած ուղեծիրը (ընդ որում համակարգի ծանրության կենտրոնի հեռավորությունը Երկրի կենտրոնից նրա շառավղից էլ փոքր է)։ Նշանակում է Լուսնի զանգվածն էլ 81 անգամ փոքր կլինի Երկրի զանգվածից։ Զանգվածը բաժանելով Լուսնի ծավալի վրա, ստացվում է նրա միջին խտությունը, որը Երկրի միջին խտության կեսից փոքր-ինչ ավելի է։ Այդ նշանակում է, որ Լուսնի կենտրոնական մասերում չկան այնպիսի խտացումներ, ինչպիսին գոյություն ունի Երկրի ընդերքում։

Լուսնի զանգվածը կարելի է որոշել նաև նրա ու Արեգակի ձգողության ազդեցությամբ օվկիանոսների ու ծովերի ջրի մակարդակի բարձրացման չափերը (մակընթացային ալիքների բարձրությունները) իրար հետ համեմատելով։ Այդ բարձրությունը կախված է ձգող մարմնի զանգվածից ու նրա հեռավորության խորանարդից։ Իմանալով Լուսնի ու Արեգակի հեռավորությունները և Արեգակի զանգվածը, ինչպես նաև համեմատելով նրանց առաջացրած ալիքների բարձրությունները, կարելի է իմանալ Լուսնի զանգվածը։ Այս եղանակով ևս Լուսնի զանգվածի համար ստացվում է նույն արժեքը՝ 1/81 Երկրի զանգվածը։

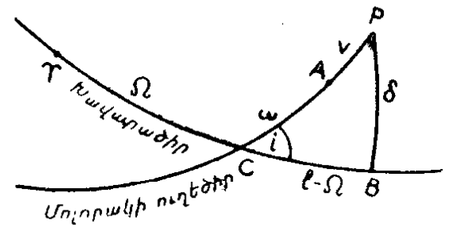
§ 39. Էֆեմերիդների որոշելը

Այն աղյուսակները, որոնցում տրվում են մոլորակների կոորդինատները ապագա ժամանակների համար, կոչվում են էֆեմերիդներ։ Այժմ տեսնենք թե ի՞նչ տվյալներ են անհրաժեշտ երկու բաղադրիչից կազմված համակարգի դեպքում մոլորակի ապագա դիրքը որոշելու համար, ինչպես նաև նկարագրենք այդ դիրքի որոշման եղանակը։ Խնդիրը լուծենք էլիպսական ուղեծրով շարժվող մարմինների, մասնավորապես մոլորակների համար։

Որպեսզի լրիվ հայտնի լինի մոլորակի շարժումը անհրաժեշտ է, նախ՝ իմանալ նրա ուղեծրի հարթության դիրքը տարածության մեջ, այնուհետև՝ էլիպսի դասավորությունը այդ հարթության վրա, էլիպսի չափերն ու ձևը և, վերջապես՝ որոշ պահին մոլորակի դիրքը այդ էլիպսի վրա։

Ուղեծրի հարթության դիրքը տարածության մեջ կարելի է որոշել երկու ավյալով՝ ուղեծրի և խավարածրի հարթություններով կազմված i անկյունով, խավարածրի և ուղեծրի հատման կետերից, այսպես կոչված, հանգույցներից մեկի (այն է ծագող հանգույցի) երկայնությամբ՝ Ω-ով, այսինքն՝ այդ հանգույցի անկյունային հեռավորությամբ գարնանային գիշերահավասարի կետից (նկ. 43)։

Էլիպսի դասավորությունը այդ հարթության վրա որոշվում է նրա առևամերձ կետի դիրքի տրմամբ, այսինքն՝ ծագող հանգույցից նրա ունեցած անկյունային հեռավորությամբ (ω)։ Էլիպսի չափերը և ձևը որոշվում են նրա մեծ կիսառանցքով (a) և ε էքսցենտրիսիտետով (a-ի միջոցով, Կեպլերի երրորդ օրենքով, որոշ-



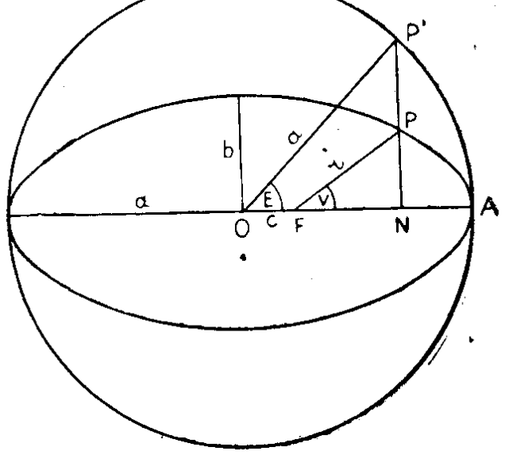
Նկ. 43.

վում է նաև պտտման պարբերությունը։ Եվ, վերջապես, այն պահը (t_0), երբ մոլորակն անցնում է արևամոտ կետով։

Այդ վեց տվյալների (i, Ω, ω, a, e, t_0) միջոցով որոշվում է էլիպսական ուղեծրով շարժվող մարմինների էֆեմերիդները։ Եթե ուղեծիրը պարաբոլական է (օրինակ, գիսավորների մի զգալի մասի դեպքում), ապա e=1, իսկ a-ի փոխարեն էլ կտրվի արևամոտ կետի հեռավորությունը։ Այսինքն, պարաբոլով շարժվող մարմինների դեպքում, էֆեմերիդը կազմելիս, պահանջվում է միայն 5 տվյալ և, պարզ է, որ խնդիրը համեմատաբար ավելի հեշտ կարելի է լուծել։

Որպեսզի գտնենք մոլորակի երկրակենտրոն կոորդինատները t_1 պահի համար, նախ գտնենք մոլորակի բևեռային կոորդինատներն այդ պահին՝ նրա ուղեծրի հարթության մեջ, իսկ այնուհետև՝ կոորդինատների ձևափոխություններ կատարելով, անցնենք նրա արևակենտրոն (հելիոցենտրիկ) և այնուհետև երկրակենտրոն ուղղանկյուն կոորդինատներին։

Մոլորակի ուղեծրի մեծ առանցքն ընդունենք որպես բևեռագիծ, իսկ կիզակետը՝ որպես բևեռ (նկ. 44)։ Շառավիղ-վեկտորով և բևեռագծով կազմած անկյունը նշանակենք v-ով և անվանենք իրական անոմալիա։ Գծենք էլիպսի կենտրոնի շուրջը a շառավղով շրջանագիծ։ Մոլորակի p դիրքից իջեցնենք բևեռագծին ուղղահայաց և հակառակ ուղղությամբ շարունակենք մինչև շրջանագծի հետ հատվելը։ Հատման p^1 կետը միացնենք էլիպսի o կենտրոնի հետ և op^1-ով ու բևեռագծով կազմված անկյունը՝ E-ն անվանենք էքսցենտրիկ անոմալիա։ Նախ՝ ցույց տանք, թե ինչպես կարելի է գտնել էքսցենտրիկ անոմալիան, իսկ այնուհետև մոլորակի բևեռային կոորդինատները՝ r-ը և v-ն արտահայտենք սկզբնական տվյալների ու E-ի միջոցով։ Դրանով ստացած կլինենք մոլորակի կոորդինատները նրա ուղեծրի հարթության մեջ։



Նկ. 44.

Մոլորակի շառավիղ-վեկտորը (t_1-t_0) ժամանակամիջոցում գծել է AFP մակերեսը, իսկ T ժամանակամիջոցում՝ ամբողջ էլիպսի մակերեսը՝ πab։ Բայց ըստ Կեպլերի երրորդ օրենքի գծած մակերեսը համեմատական է անցած ժամանակամիջոցին, ուստի և

$$S_{AFP} = \frac{t_1 - t_0}{T}\pi ab: \qquad (1)$$

Մյուս կողմից՝

$$S_{AFP} = S_{FPN} + S_{PNA}: \qquad (2)$$

Քանի որ էլիպսը կարելի է դիտել a շառավղով շրջանագծի պրոյեկցիա, եթե նրանցով կազմված անկյան կոսինուսը հավասար է $\frac{b}{a}$-ի, ապա կարող ենք գրել՝

$$S_{FPN} = \frac{FN \cdot NP}{2} = \frac{ON - OF}{2} \cdot P'N \cdot \frac{b}{a} = \frac{a \cdot \cos E - a \cdot e}{2} \cdot a\sin E \cdot \frac{b}{a} =$$

$$= \frac{ab\sin E}{2}\left(\cos E - e\right), \quad S_{PNA} = S_{P'NA} \cdot \frac{b}{a} = \left(S_{P'OA} - S_{QP'N}\right)\frac{b}{a} =$$

$$= \left(\frac{a^2E}{2} - \frac{a\cos E \cdot a\sin E}{2}\right)\frac{b}{a} = \frac{ab}{2}\left(E - \sin E \cdot \cos E\right):$$

S_{FPN} և S_{PNA} մակերեսների արտահայտությունները տեղադրելով (2) հավասարության մեջ, կստանանք՝

$$S_{AFP} = \frac{ab}{2}\left[\ E - e \cdot \sin E\ \right]: \qquad (3)$$

(1)-ի և (3)-ի աջ մասերի հավասարեցումից կստանանք՝

$$E - e \cdot \sin E = \frac{2(t_1 - t_0)}{T}: \qquad (4)$$

(4) հավասարության աջ մասում գտնվող բոլոր մեծությունները հայտնի են. այն նշանակենք M-ով, կստանանք՝

$$E - e \cdot \sin E = M: \qquad (5)$$

E-ի նկատմամբ այս տրանսցենդենտ հավասարումը կոչվում է Կեպլերի հավասարում։ Նրա լուծման համար գոյություն ունեն մի շարք մեթոդներ։ Նշենք նրանցից երկուսը։

Անալիտիկորեն այն կարելի է լուծել հաջորդաբար մոտեցման եղանակով։ Քանի որ մոլորակների ուղեծրերը շրջանագծից շատ չեն տարբերվում (ամենամեծ էքսցենտրիսիտետը $^1/_4$-ից չի անցնում), այսինքն՝ (5) հավասարման մեջ E-ն M-ից քիչ է տարբերվում, ուստի և որպես առաջին մոտավորություն ընդունվում է՝ $\sin E \approx \sin M$, այսինքն՝

$$E_1 = M + e.\sin M:$$

Երկրորդ մոտավորության ժամանակ sinM-ի փոխարեն վերցվում է $\sin E_1$։ Ստացվում է՝

$$E_2 = M + e.\sin E_1,$$

և այսպես շարունակ, մինչև որ E_1 և E_{i-1}-ը ստացվեն գրեթե իրար հավասար։ Այդ արժեքն էլ հենց կլինի E-ն։

Գրաֆիկորեն հավասարումը կարելի է լուծել հետևյալ կերպ. նախ (5) հավասարումը լուծենք sinE-ի նկատմամբ, կստանանք՝

$$\sin E = \frac{1}{e}E - \frac{M}{e}:$$

Նշանակենք $y = \sin E$. (5) հավասարման փոխարեն կունենանք հետևյալ երկու հավասարումները՝

$$\begin{cases} y = \sin E, \\ y = \dfrac{1}{e} E - \dfrac{M}{e}: \end{cases}$$

Այսպիսով, եթե աբսցիսների առանցքի վրա վերցնենք E*-երը, իսկ օրդինատների առանցքի վրա՝* y*-ները, ապա որոնելի* E*-ն կլինի* $y = \sin E$ *սինուսոիդի և* $y = \dfrac{1}{e} E - \dfrac{M}{e}$ *ուղղի հատման կետի աբսցիսը: Կկառուցենք թե՛ մեկ, թե՛ մյուս գծերը և գրաֆիկորեն հեշտությամբ կարող ենք գտնել նրանց հատման կետի աբսցիսը՝* E*-ն:*

Այժմ որոշենք r*-ը և* v*-ն արտահայտված ուղեծրի պարամետրերի և* E*-ի միջոցով:*

Նկ. 44-ից երևում է, որ $r = \sqrt{(FN)^2 + (PN)^2} = \sqrt{(a \cdot \cos E - a \cdot e)^2 + \left(P_1N \cdot \dfrac{b^2}{a}\right)} = \sqrt{(a \cdot \cos E - a \cdot e)^2 - (b \cdot \sin E)^2}$

Տեղադրելով $b^2 = a^2(1 - e^2)$ *արժեքը, և միացումներ կատարելով ու արմատ հանելով, կստանանք՝* $r = a(1 - e \cdot \cos E)$*:*

Նույն նկարից որոշենք cosv*-ն.*

$$\cos v = \frac{FN}{r} = \frac{a \cdot \cos E - a \cdot e}{a(1 - e \cdot \cos E)} = \frac{\cos E - e}{1 - e \cdot \cos E}:$$

Սովորաբար որոշում են $\operatorname{tg} \dfrac{v}{2}$ *-ը:*

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos v}{1 + \cos v}} = \sqrt{\frac{1 - \dfrac{\cos E - e}{1 - e \cdot \cos E}}{1 + \dfrac{\cos E - e}{1 - e \cdot \cos E}}}$$

կամ

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1 + e}{1 - e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}:$$

Այժմ որոշենք մոլորակի արևակենտրոն կոորդինատները: Նկ. 43-ի CPB *ուղղանկյուն սֆերիկ եռանկյան նկատմամբ, որի էչքերն են խավարածրային լայնությունը* (b) *և խավարածրային երկայնությունից հանած հանգույցի երկայնությունը* ($1 - \Omega$)*, իսկ սուր անկյուններից մեկը* i*-ն է, կիրառենք սինուսների և կոսինուսների բանաձևերը, կստանանք՝*

$$\frac{\sin(\omega + v)}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin b}{\sin i},$$

$$\cos(\omega + v) = \cos(1 - \Omega) \cdot \cos b + \sin(1 - \Omega) \sin b \cdot \sin 90^\circ$$

կամ

$$\sin b = \sin i \cdot \sin(\omega + v), \qquad (1)$$

$$\cos(\omega + v) = \cos(1 - \Omega) \cos b: \qquad (2)$$

(1) հավասարումից կորոշենք b*-ն. այն տեղադրելով (2) հավասարման մեջ, կստանանք նաև* l*-ը: Այսպիսով, որոշեցինք մոլորակի արևակենտրոն խավարածրային կոորդինատները* (l,b)*,*

Այնուհետև l*-ի,* b*-ի և* r*-ի արժեքները տեղադրելով*

$$x = r \cdot \cos b \cdot \cos l,$$

$$y = r \cdot \cos b \cdot \sin l,$$

$$z = r \sin b$$

բանաձևերում, կորոշենք մոլորակի արևակենտրոն ուղղանկյուն կոորդինատները, որից էլ առանցքների զուգահեռ տեղափոխություն կատարելով՝

$$x = x^1 + x_0$$

$$y = y^1 + y_0$$

$$z = z^1$$

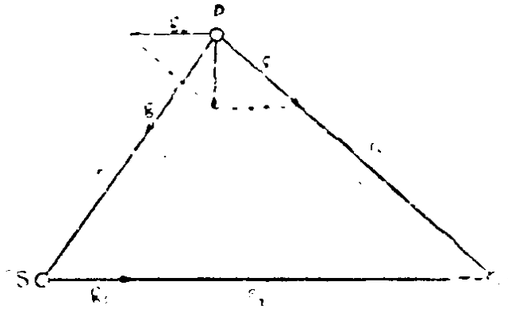
ուր x_0*-ն և* y_0*-ն Արեգակի ուղղանկյուն կոորդինատներն են* ($z_0 = 0$*, քանի որ Արեգակը գտնվում է խավարածրի վրա): Այդ հավասարումներից կորոշենք* x^1*,* y^1*,* z^1*-ը, այսինքն՝ երկրակենտրոն ուղղանկյուն կոորդինատները (կամ, հարկ եղած դեպքում, անցնելով բևեռային կոորդինատների, կորոշենք մոլորակի երկրակենտրոն բևեռային կոորդինատները):*

§ 40. Գաղափար մոլորակների ու Լուսնի շարժումների խանգարումների մասին

Արեգակի շուրջը պտտվող մոլորակների ու գիսավորների, ինչպես և մոլորակների շուրջը պտտվող արբանյակների շարժումները տեղի կունենային ճշտորեն կոնական հատույթներով, եթե նրանց վրա ազդեր միայն կենտրոնական մարմնի ձգողական ուժը: Իրականում նրանց վրա ազդում են նաև Արեգակնային համակարգության մյուս անդամների ձգողական ուժերը: Այդ պատճառով ուղեծրերը ևնթարկվում են այսպես կոչված խանգարումների: Խանգարումների մեծությունը կախված է շրջապատող երկնային մարմինների զանգվածից ու նրանց ուղեծրերի դասավորությունից: Սովորաբար դարավոր խանգարումների պատճառով, ժամանակին համեմատական, փոփոխվում են այդ մարմինների ուղեծրերի հանգույցների, ինչպես և արևամոտ (արբանյակների դեպքում մոլորակամոտ) կետերի երկայնությունները: Բացի դրանից խանգարումները կախված են լինում նաև այն բանից, թե ազդող մարմիններն իրենց ուղեծրերի որ մասերում են գտնվում: Քանի որ այդ դիրքերը որոշ պարբերությամբ կրկնվում են, դրանց առաջացրած խանգարումներն էլ պարբերական բնույթ ունեն:

1. *Մոլորակի շարժման խանգարող ուժը: Դիտարկենք այն դեպքը, երբ մոլորակի* (P) *վրա բացի Արեգակից* (S) *ազդում է մեկ այլ մոլորակ* (P_1) *ևս (նկ. 45): Դիցուք, նրանց զանգվածները հա-*

մաթեմատիկորեն հավասար են m, M և m_1-ի։ Արեգակի ձգողական ուժի ազդեցությամբ մոլորակը կստանա $-\frac{k^2M}{r^2}$ արագացումը,



Նկ. 45. Խանգարող ուժը։

ուր r-ը մոլորակի հեռավորությունն է Արեգակից։ Փոխադարձ ձգողական ուժի շնորհիվ Արեգակը կստանա $+\frac{k^2m}{r^2}$ արագացում։

Մոլորակի հարաբերական արագացումը (Արեգակի նկատմամբ) հավասար կլինի դրանց տարբերությանը, այսինքն՝

$$g = -\frac{k^2(M+m)}{r^2}:$$

Մոլորակները շարժվում են փակ կորերով. եթե երրորդ մարմինը չլիներ, ապա, ինչպես տեսանք, այդպիսի արագացման դեպքում մոլորակը Արեգակի շուրջը կպտտվեր էլիպսական ուղեծրով։ Մոլորակի ստացած այդ արագացումը ուղղված կլիներ PS ուղղությամբ։ Երրորդ մարմնի առկայության դեպքում մոլորակը կստանա նաև՝

$$g_1 = \frac{k^2m_1}{r_1^2},$$

իսկ Արեգակը՝

$$g_2 = \frac{k^2m_1}{r_2^2}$$

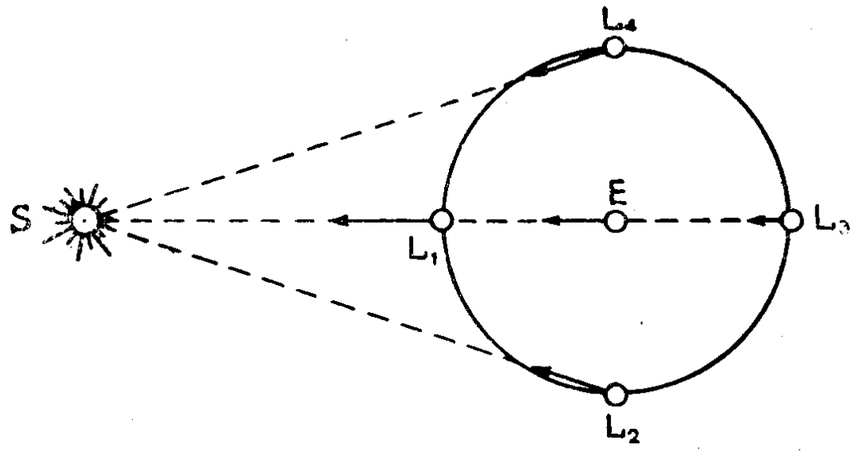
արագացումներ։ Արեգակի նկատմամբ մոլորակի շարժումը ուսումնասիրելու համար պետք է P-ին տալ g_2-ին զուգահեռ և հակառակ ուղղված արագացում։ Այսինքն, մոլորակի խանգարող ուժի արագացումը ստանալու համար պետք է g_2-ը և g_1-ը վեկտորապես գումարել։ Այսպիսով, մոլորակի շարժման խանգարող ուժը հավասար կլինի մոլորակի և Արեգակի վրա խանգարում առաջացնող մարմնի ազդող ուժերի երկրաչափական տարբերությանը։ Ակնհայտ է, որ այդ ուժը ուղղված կլինի դեպի երրորդ մարմինը միայն այն դեպքում, երբ Արեգակի, մոլորակի ու խանգարում առաջացնող մարմնի կենտրոնները գտնվեն մի ուղղի վրա։ Մոլորակի տեղափոխման ընթացքում կփոփոխվի խանգարող ուժի թե՛ մեծությունը և թե՛ ուղղությունը։

2. Նեպտունի հայտնաբերումը։ 1781 թ. Վիլյամ Հերշելը իր պատրաստած հեռադիտակով երկինքն ուսումնասիրելիս նկատեց, որ լուսատուներից մեկը օրըստօրե տեղափոխվում է աստղային ֆոնի նկատմամբ։ Սկզբում կարծում էին, որ դա գիսավոր է։ Սակայն շարժման տարրերի որոշումները հանգեցրին այլ եզրակացության։ Հայտնաբերված օբյեկտը մոլորակ էր։ Ուրանը, ինչպես այդ մոլորակին հետագայում անվանեցին, իր շարժմամբ բավականին շեղվում էր Կեպլերի օրենքներից։ Ընդ որում այդ շեղումը հնարավոր չէր բացատրել նաև հայտնի մյուս մոլորակների առաջացրած խանգարումներով։ Գիտնականները հետզհետե համոզվում էին անհայտ մոլորակի գոյության մեջ, որը պետք է որ առաջացներ դիտվող խանգարումները։ Ըստ Ուրանի շարժման վրա անհայտ մոլորակի առաջացրած խանգարումների հաշվումների, Ադամսը՝ Անգլիայում, և Լևերյեն՝ Ֆրանսիայում, իրարից անկախ կանխատեսեցին անհայտ մոլորակի դիրքը։ Լևերյեյի հաշվումների օգնությամբ Հալլեն (Գերմանիա) 1846 թ., նախատեսվածից ընդամենը 52′ անկյունային հեռավորության վրա, հայտնաբերում է ութերորդ մոլորակը՝ Նեպտունը։

Նեպտունի շարժման խանգարումների ուսումնասիրությունը հետագայում օգնեց հայտնաբերելու (1930 թ.) նաև իններորդ մոլորակը՝ Պլուտոնը։

3. Լուսնի շարժման խանգարող ուժը։ Լուսնի շարժումն էլ է ենթարկվում մեծ թվով խանգարումների։ Հատկապես զգալի են նրա ուղեծրի հանգուցագծի և մեծ առանցքի (ապսիդների գիծ) պտույտը (դարավոր փոփոխություններ), խավարածրային երկայնության և ուղեծրի տարրերի փոփոխությունները (պարբերական փոփոխություններ)։

Խանգարումների շնորհիվ Լուսնի շարժումը բավականին շեղվում է կեպլերյան օրենքներից։ Դրան նպաստում են թե՛ Արեգակը և թե՛ մոլորակները։ Սակայն վեր-



Նկ. 46. Լուսնի շարժման խանգարող ուժը։

չիններիս ազդեցությունը Արեգակի ազդեցության համեմատությամբ արհամարհելի փոքր է. դրա համար էլ մենք այստեղ կանգ կառնենք միայն Արեգակի առաջացրած խանգարումների վրա։

Որոշենք խանգարող ուժի մեծությունը, երբ Լուսինը գտնվում է Երկիր (E)-Արեգակ (S) ուղղության վրա՝ L_1 դիրքում (նկ. 46) Լուսինը Արեգակից կստանա $\frac{k^2M}{(a-r)^2}$ արագացում, իսկ Երկիրը՝ $\frac{k^2M}{a^2}$, որտեղ M-ը Արեգակի զանգվածն է, a-ն՝ Երկիր-Արեգակ, իսկ r-ը՝ Երկիր-Լուսին հեռավորությունները։ Այդ արագացումների տարբերությունը հավասար կլինի՝

$$g=\frac{k^2M}{(a-r)^2}-\frac{k^2M}{a^2}=k^2M\,\frac{2ar-r^2}{(a-r)^2a^2}:$$

Քանի որ Երկրի հեռավորությունը Արեգակից 390 անգամ մեծ է Երկիր-Լուսին հեռավորությունից (համարիչում արհամարհելով r^2-ն, հայտարարում էլ a—r տարբերության փոխարեն վերցնելով a), կստանանք՝

$$g\approx\frac{2k^2r\cdot M}{a^3}:$$

Վերջինս բազմապատկելով Լուսնի զանգվածով, կստանանք խանգարող ուժը՝

$$f\approx\frac{2k^2rm\,M}{a^3}:$$

Այսպիսով, խանգարող ուժը հակադարձ համեմատական է խանգարում առաջ բերող մարմնի հեռավորության խորանարդին։

Երկիրը Լուսնին կձգի $f_1=k^2\frac{mm_1}{r^2}$ ուժով, ուր m_1-ը Երկրի զանգվածն է։ Վերջին երկու հավասարությունները բաժանելով իրար վրա, կստանանք՝

$$\frac{f}{f_1}=2\frac{M}{m_1}\left(\frac{r}{a}\right)^3:$$

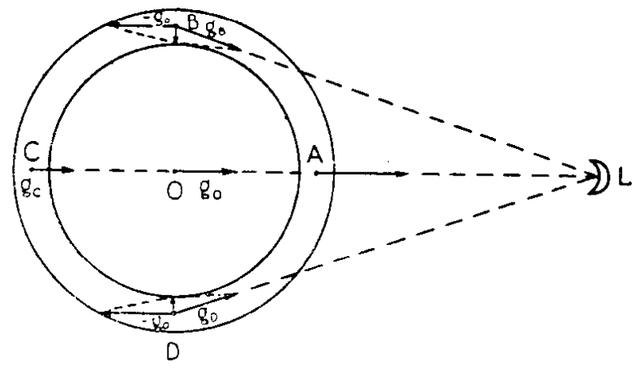
Աջ մասի արժեքները տեղադրելով ու կատարելով գործողություններ, ստանում ենք 1/90, այսինքն՝ խանգարող ուժը Լուսնի L_1 դիրքում կազմում է Երկրի ձգողական ուժի 1/90 մասը։

Լուսնի պտտման ընթացքում կփոփոխվի Լուսին-Արեգակ հեռավորությունը. ուստի և L_1 դիրքում Արեգակը Լուսնին կձգի համեմատաբար մեծ ուժով, L_2 և L_4-ում՝ միջանկյալ, իսկ L_3-ում՝ փոքր ուժով։ Եթե հաշվի առնենք նաև Արեգակի ձգողական ուժի շնորհիվ Երկրի ստացած արագացումը, ապա L_1 և L_3 դիրքերում խանգարող ուժի շնորհիվ Լուսինը Երկրից կհեռանա (L_1-ում Երկրից առաջ անցնելով, L_3-ում՝ ետ մնալով), իսկ L_2 և L_4 դիրքերում էլ այդ ուժը կաշխատի Լուսինը մոտեցնել Երկրին։

§ 41. Մակընթացություններ և տեղատվություններ

Լուսնից տարբեր հեռավորությունների վրա գտնվող Երկրի մասերը Լուսնի կողմից կձգվեն տարբեր ուժերով։ Եվ քանի որ Երկիրը բացարձակ պինդ մարմին չէ, նշանակում է դրանց շնորհիվ տեղի

կունենան տարբեր չափերի տեղափոխություններ։ Ընդունենք, թե Երկիրը կազմված է կենտրոնական բացարձակ պինդ մարմնից՝ շրջապատված ջրային թաղանթով (նկ. 47)։ Լուսնի ձգողական ուժը



Նկ. 47. Մակընթացությունների և տեղատվությունների առաջացումը։

Երկրի պինդ մասի վրա կազդի նույն կերպ, ինչ կերպ կազդեր, եթե ամբողջ զանգվածը կենտրոնացված լիներ O կենտրոնում։ Նրա ստացած արագացումը կլինի՝

$$g_0=k^2\frac{m}{r^2},$$

որտեղ՝ r-ը Երկրի կենտրոնի հեռավորությունն է Լուսնից, իսկ m-ը՝ Լուսնի զանգվածը։ Ջրային թաղանթի A մասի արագացումը կլինի ամենամեծը և հավասար կլինի՝

$$g_A=k^2\frac{m}{(r-R)^2},$$

ուր R-ը Երկրի շառավիղն է։ Ամենափոքր արագացումը կլինի A-ին տրամագծորեն հակառակ կետում՝ C-ում.

$$g_c=k^2\frac{m}{(r+R)^2}:$$

Երկրի պինդ մասի նկատմամբ նրանց հարաբերական արագացումները համապատասխանորեն կլինեն՝

$$g_A-g_o=k^2m\left[\frac{1}{(r-R)^2}-\frac{1}{r^2}\right]=k^2m\,\frac{2rR-R^2}{(r-R)^2r^2},$$

$$g_c-g_o=k^2m\left[\frac{1}{(r+R)^2}-\frac{1}{r^2}\right]=k^2m\,\frac{-2rR-R^2}{(r+R)^2r^2}:$$

Համարիչներում արհամարհելով R^2-ները, հայտարարներում էլ $(r-R)$-ը և $(r+R)$-ը փոխարինելով r-ով, կստանանք՝

$$g_A - g_o = \frac{2k^2mR}{r^3}, \qquad (1)$$

$$g_c - g_o = -\frac{2k^2mR}{r^3}:$$

Այսինքն, երկու դեպքում էլ ստացվում է նույն հարաբերական արագացման մեծությունը, սակայն ուղղված հակառակ կողմեր: Այդ պատճառով էլ թե՛ A և թե՛ C մասերում ջրի մակարդակը կբարձրանա նույն չափով (կլինի մակընթացություն): B և D դիրքերում, ինչպես երևում է նկարից, g_B և g_D արագացումներին երկրաչափորեն գումարելով—g_o, համազորները ուղղված կլինեն գրեթե դեպի երկրի կենտրոն. այսինքն՝ լուսնի ազդեցությունը կիջեցնի ջրի մակարդակը (կլինի տեղատվություն): Միջանկյալ դիրքերում համազորը ուղղված կլինի թեք: BAD մասում ջրի մակարդակը կբարձրանա լուսնի ուղղությամբ, իսկ BCD մասում՝ նրան հակառակ ուղղությամբ: Այսինքն՝ ջրային թաղանթը կընդունի էլիպսոիդի ձև, որի մեծ առանցքն ուղղված կլինի երկիր-լուսին ուղղությամբ: Լուսնի տեղափոխման հետ կտեղափոխվեն նաև մակընթացային ալիքները: Եվ քանի որ լուսինն իր դիրքը երկրի տվյալ մասի նկատմամբ վերականգնում է 24 ժամ 52 րոպեում, այդ նույն պարբերությամբ էլ պետք է կրկնվեն մակընթացություններն ու տեղատվությունները. միայն թե այդ ժամանակամիջոցում տվյալ տեղում երկու անգամ կլինի մակընթացություն և երկու անգամ՝ տեղատվություն:

Մակընթացային ալիքներ է առաջացնում նաև Արեգակը: Սակայն վերջինիս ազդեցությունը ավելի փոքր է քան լուսնինը: Եվ իրոք, Արեգակի մակընթացային ուժի առաջացրած արագացումը, նախորդին համանման, հավասար կլինի

$$\frac{2k^2M \cdot R}{a^3}, \qquad (2)$$

որտեղ՝ M-ը Արեգակի զանգվածն է, իսկ a-ն նրա հեռավորությունը: (1) և (2) արտահայտությունների հարաբերությունը հավասար կլինի

$$\frac{m}{M}\left(\frac{a}{r}\right)^3:$$

Տեղադրելով $M=333000$ երկրի զանգվածի$=333000.81,3.m$, $a=390.r$, կստանանք, որ Արեգակի մակընթացային ուժը 2,2 անգամ փոքր է լուսնայինից: Դրա համար էլ հիմնականում վերցնում են լուսնի առաջացրած մակընթացությունը, իսկ Արեգակի առաջացրածը դիտվում է որպես դրան ուժեղացնող կամ թուլացնող: Այսպես, նորալուսնի ու լիալուսնի ժամանակ, երբ Արեգակը, լուսինն ու երկիրը գտնվում են գրեթե նույն ուղղի վրա, Լուսնի ու Արեգակի առաջացրած մակընթացային ալիքները (ինչպես և տեղատվությունները) գումարվում են, իսկ Լուսնի առաջին կամ երրորդ քառորդների ժամանակ՝ Լուսնի առաջացրած մակընթացային ալիքից հանվում է Արեգակի առաջացրածը: Այս դեպքերում Լուսնից 90° անկյունային հեռավորության վրա լինում է տեղատվություն, սակայն որոշ չափով այն բարձրացված է լինում Արեգակի մակընթացային ուժի ազդեցությամբ:

Մեր դատողությունները և հաշվումները վերաբերում էին երկիրը ջրային թաղանթով ամբողջապես պատած լինելու դեպքին և զանց էին առնվել որոշ հանգամանքներ: Իրականում մակընթացային ալիքների բարձրության ու տեղափոխման մեծությունները կախված են նաև մայր ցամաքների առափնյա կառուցվածքից, ծովերի հատակի ռելիեֆից, շրջապատի զանգվածային խտացումներից. բացի դրանցից մակընթացային ալիքների տեղափոխման ընթացքում նրանք հանդիպում են ջրի շփմանը: Այդ է պատճառը, որ մակընթացային ալիքների առավելագույն բարձրությունը բոլոր տեղերում նույնը չէ: Օվկիանոսներում, սովորաբար, ամենաբարձր և ամենացածր մակարդակների տարբերությունը լինում է մեկ մետր, իսկ ափերին՝ 2—3 մետր: Ներքին ծովերում (Սև ծով, Բալթիկ ծով) այդ տարբերությունը ընդամենը մի քանի սանտիմետր է: ՍՍՀՄ-ում Օխոտյան ծովի ծովախորշերից մեկում այն հավասար է 11 մետրի, իսկ Կանադայի ափերից մեկում այն հասնում է 16 մետրի: Այդ նույն պատճառով մակընթացային ալիքների առավել բարձր զագաթը չի լինում այն վայրում, որի միջօրեականի վրա գտնվում է Լուսինը: Սովորաբար ալիքը ուշանում է. այդ ուշացումը երբեմն հասնում է 6 ժամի, այսինքն՝ այդ վայրում փոխանակ մակընթացություն լինելու, լինում է տեղատվություն: Այդ բանը հաշվի առնելով, յուրաքանչյուր նավահանգստի համար նախօրոք կազմվում են աղյուսակներ, ուր նշվում են մակընթացությունների ու տեղատվությունների պահերը և ջրի մակարդակի բարձրությունները: Դրանք հատկապես կարևոր են նավերի չվացուցակները կազմելիս:

Մակընթացություններ ու տեղատվություններ են առաջանում նաև երկրի մթնոլորտում, որի պատճառով, ճիշտ է չնչին չափով, փոփոխվում է մթնոլորտային ճնշումը: Այդ երևույթները դրսևորվում են նաև երկրի պինդ կեղևում: Այստեղ արտաքին շերտերը մի քանի դեցիմետրով պարբերաբար բարձրանում և իջնում են:

Գլուխ IV

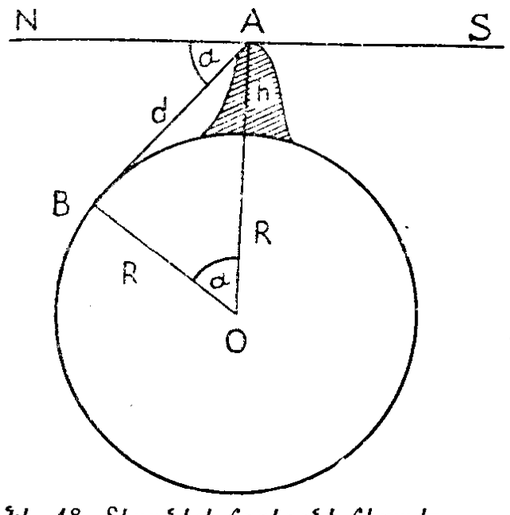
ԵՐԿՆԱՅԻՆ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒ ՉԱՓԵՐԻ ՈՐՈՇԵԼԸ

§ 42. Երկրի ձևը և չափերը

Դեռևս մեր թվականությունից առաջ՝ IV դարում Արիստոտելը ուշադրություն դարձրեց այն փաստի վրա, որ լուսնի խավարումների ժամանակ, երկրի ստվերի եզրագիծը միշտ լինում է շրջանային աղեղի տեսքով։ Այսինքն, երկրի պրոյեկցիան շրջանագիծ է։ Եվ քանի որ տարբեր խավարումների ժամանակ երկրի պրոյեկտումը կատարվում է տարբեր ուղղություններից, իսկ միակ երկրաչափական մարմինը, որի բոլոր պրոյեկցիաները շրջանագիծ է, գունդն է, ուստի երկիրը գնդաձև է։ Տարբեր ժամանակներում երկրի գնդաձևության այլ ապացույցներ են տվել նաև բազմաթիվ այլ հեղինակներ։ Այժմ երկրի գնդաձև լինելու մեջ կարելի է անմիջականորեն համոզվել տիեզերական տարածությունից կատարված երկրի լուսանկարչական դիտումներով։

Երկրի շառավղի որոշման համար առաջարկված մեթոդները հիմնականում երեքն են.

1. Երկրի շառավղի որոշումը տեսանելի հորիզոնի իջեցման անկյան չափման միջոցով: *Այս մեթոդի հեղինակը միջինասիական գիտնական Ա. Բիրունին է (X դ.)։ Դիցուք, դիտողը գտնվում է ծովի մակերևույթից h բարձրության վրա՝ A կետում (նկ. 48)։ NS-ը կլինի նրա մաթեմատիկական հորիզոնը, AB-ն՝ տեսանելի հորիզոնը, OB=R-ն՝ երկրի շառավիղը, և ∠NAB=α՝ տեսանելի հորիզոնի իջեցման անկյունը մաթեմատիկական հորիզոնից։ AOB ուղղանկյուն եռանկյունուց՝*



Նկ. 48. Տեսանելի հորիզոնի հեռավորությունը և իջեցումը։

$$\cos\alpha = \frac{R}{R+h},$$

որից էլ կորոշվի R-ը, նախօրոք իմանալով h բարձրությունը և չափելով իջեցման անկյունը՝ α-ն։

Երկրի շառավղի որոշման այս պարզ մեթոդը, սակայն, ունի լուրջ թերություն։ Սովորաբար h-ը երկրի շառավղի համեմատությամբ շատ փոքր է, որից էլ α-ն լինում է չափազանց փոքր. այդ պատճառով էլ երբեմն նրա մեծությունը լինում է նույն կարգի ինչ որ չափման սխալն է։ Դրանից էլ α-ն, հետևաբար և R-ը ստացվում է կոպիտ մոտավորությամբ։

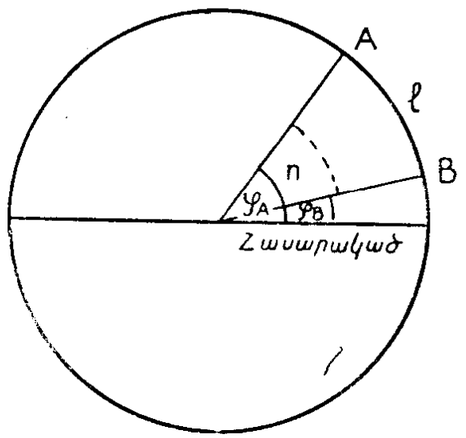
2. Երկրի շառավղի որոշելը եռանկյունավորման մեթոդով: *Դիցուք, հայտնի է միջօրեականի A և B կետերի անկյունային հեռավորությունը (n°) և գծային հեռավորությունը (l կմ): Այսինքն, n°-ին համապատասխանում է l կմ: 1°-ին կհամապատասխանի* $\frac{l}{n}$, *իսկ միջօրեականի երկարությունն էլ հավասար կլինի՝* $2\pi R = \frac{l}{n} \cdot 360$։ *Այստեղից էլ կորոշվի երկրի շառավիղը։ Այս մեթոդը առաջին անգամ կիրառել է հույն գիտնական էրատոսթենեսը (II դ.)։*

Էրատոսթենեսը նկատել էր, որ ամառային արևադարձի օրը Սիենում (այժմ Ասուան) Արեգակը կեսօրին լինում է զենիթում, իսկ Ալեքսանդրիայում (որը գտնվում է նախորդի հետ մոտավորապես միևնույն միջօրեականի վրա) զենիթից թեքված է 7°,2-ով։ Այդ նույն անկյունային հեռավորությունը կունենան նաև նշված քաղաքները։ Նրան հայտնի էր (քարավանների արագությամբ ու անցման ժամանակամիջոցով) այդ քաղաքների գծային հեռավորությունը՝ 5000 եգիպտական ստադիա[14]։ Այստեղից էլ նա ստացավ մեկ աստիճանին համապատասխանող ըստադիաների քանակը, որից էլ՝ հաշվեց միջօրեականի երկարությունը՝ 250000 ստադիա։

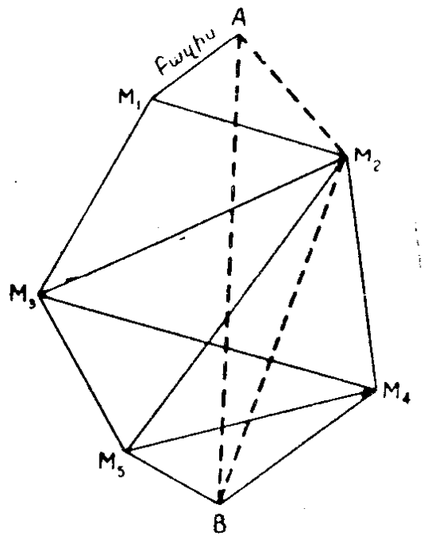
Այսպիսով, երկրի շառավիղը գտնելու համար անհրաժեշտ է լուծել երկու խնդիր՝ որոշել AB-ի անկյունային ու գծային հեռավորությունները։ AB-ի անկյունային հեռավորությունը, ինչպես երևում է նկ. 49-ից, հավասար կլինի նրանց աշխարհագրական լայնությունների տարբերությանը։ Վերջիններս հեշտությամբ և բավականին մեծ ճշտությամբ կարելի է չափել։ Երկրորդ խնդիրը գործնականորեն լուծելը կապված է բավականին մեծ դժվարությունների հետ։ Որպեսզի շառավիղն ստացվի մեծ ճշտությամբ, անհրաժեշտ է որ A-ն և B-ն իրարից գտնվեն շատ հեռու (հազարավոր ու տասնյակ հազարավոր կիլոմետրեր), իսկ այդ դեպքում էլ A-ից B-ն ոչ միայն չի երևա, այլև նրանց միջև կգտնվեն բազմաթիվ խոչըն-

[14] *Եգիպտական ստադիան հավասար է 159,8 մ։*

դոտներ (սարեր, ձորեր, լճեր, անտառներ և այլն), որոնք հնարավորություն չեն տա ժապավենով անմիջականորեն չափումներ կատարել։ Դրա համար AB-ի տարբեր կողմերում ընտրվում են մի շարք դիտակետեր (եռանկյունաչափական կետեր) այնպես, որ յուրաքանչյուրից երևա առնվազն երկու դիտակետ։ Միացնելով այդ կետերը, կստանանք մի շարք եռանկյուններ (այստեղից էլ մեթոդի անվանումը՝ եռանկյունավորման կամ տրիանգուլիացիոն մեթոդ)։ Դիտակետերում դնում են անկյունաչափ գործիքներ և չափում բոլոր տացված եռանկյունների բոլոր անկյունները (նկ. 50)։ Ընտրվում է



Նկ. 49.



Նկ. 50. Եռանկյունավորում։

եռանկյուններից մեկի մի կողմը, որը տեղանքում հարթ է և չափման համար հարմար. այն ընդունվում է որպես բազիս։ Բազիսի երկարությունը հնարավորին չափ մեծ ճշտությամբ չափվում է չափաժապավենով։ Վերջինս պատրաստվում է նիկելի և պողպատի համաձուլվածքից, որի ջերմային ընդարձակման գործակիցը աննշան է։ Համապատասխան պահանջները ապահովելու դեպքում 10 կմ տարածությունը չափելիս սխալը 1—2 սմ-ից չի անցնում։

Դրանից հետո եռանկյունաչափական բանաձևերի օգնությամբ որոշվում են, նախ այն եռանկյան տարրերը, որի կողմերից մեկը բազիսն է. այնուհետև հետզհետե անցնում են մյուս եռանկյունների տարրերի որոշմանը։ A և B կետերը միացնելով դիտակետերից որևէ մեկի հետ, դժվար չէ լուծել ստացված եռանկյունը, այսինքն՝ որոշել նաև AB հեռավորությունը։

Այս մեթոդով ստացվեց, որ միջօրեականի մեկ աստիճանին միջինում համապատասխանում է 111,1 կմ։

Եթե երկիրը ճշգրիտ գունդ լիներ, ապա անկախ նրանից թե չափումը միջօրեականի որ մասում է կատարված, մեկ աստիճանին պետք է համապատասխաներ նույն քանակությամբ կիլոմետրեր։ Սակայն ստացվեց, որ բևեռամերձ շրջաններում 1°-ին համապատասխանում է ավելի շատ քանակությամբ կիլոմետրեր (մոտ 111,7), քան հասարակածին առընթեր մասերում (մոտ 110,6 կմ)։ Նշանակում է երկիրը բևեռներում սեղմված է. այսինքն՝ միայն առաջին մոտավորությամբ կարելի է այն գունդ համարել։

Երկրորդ մոտավորությամբ երկիրը պտտման էլիպսոիդ է։ Այն է, հասարակածը և զուգահեռականները շրջանագծեր են, իսկ միջօրեականները՝ էլիպսներ և էլիպսոիդի փոքր առանցքը համընկնում է երկրի պտտման առանցքի հետ։ Երկրային էլիպսոիդի համար Ֆ. Կրասովսկու և Ա. Իզոտովի 1940 թվականին կատարած չափումների համաձայն հասարակածային շառավիղը՝ a=6378,24 կմ, իսկ բևեռային շառավիղները՝ b=6356,86 կմ։ Երկրի սեղմվածությունը, որը ցույց է տալիս, թե այդ շառավիղների տարբերությունը հասարակածային շառավղի որ մասն է կազմում, հավասար է՝ $\varepsilon = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,3}$:

Երկրի շառավղի որոշման երրորդ մեթոդում օգտագործվում են Երկրի արհեստական արբանյակները։ Հաշվումները հանգեցրին հետևյալ արդյունքներին. a=6375,75 կմ։ Ինչ վերաբերում է հյուսիսային ու հարավային շառավիղներին, ապա դրանք տարբեր են՝ հյուսիսայինը հավասար է 6355,39 կմ, իսկ հարավայինը դրանից 30 մետրով կարճ է և հավասար է 6355,36 կմ։ Երկրի սեղմվածությունն էլ հավասար է $\frac{1}{298,2}$:

Հաշվի առնելով մինչ այդ կատարված բոլոր չափումների արդյունքները, Միջազգային աստղագիտական միությունը 1976 թ. ընդունեց երկրային էլիպսոիդի հետևյալ չափերը. a=6378,140 կմ։ Հյուսիսային ու հարավային բևեռային շառավիղները միատեսակ են և հավասար 6356,78 կմ-ի։ Երկրի սեղմվածությունն էլ հավասար է $\frac{1}{298,257}$ *-ի։*

Երրորդ մոտավորությամբ, երկիրը եռառանցք էլիպսոիդ է։ Այսինքն, էլիպսներ են ոչ միայն միջօրեականները, այլև զուգահեռականները։ Սակայն վերջիններիս սեղմվածությունը շուրջ հարյուր անգամ ավելի փոքր է, քան միջօրեականներինը։

Երկիրը իրականում երկրաչափական ոչ մի ձևի հետ չի համընկնում։ Եթե օվկիանոսների ջրի մակարդակը հարթ կերպով շարունակենք նաև ցամաքում, ապա ստացված մարմինը անվանվում է գեոիդ (երկրանման)։ Գեոիդն ու եռառանցք էլիպսոիդը իրարից շատ չեն տարբերվում։ Եթե հաշվի չառնենք առանձին դեպքեր, ապա դրանց մակարդակների տարբերությունը, որպես կանոն, 100 մետրից փոքր է։

§ 43. Երկնային մարմինների հեռավորությունների որոշելը։ Օրական պարալաքս

Արեգակնային համակարգության անդամների հեռավորությունների համեմատությամբ Երկրի չափերը արհամարհելի փոքր չեն. դրա համար էլ համակարգության այս կամ այն լուսատուն, Երկրի տարբեր վայրերից դիտելիս, երևում է տարբեր ուղղություններով։ Այդ ուղղություններից հիմնական համարենք Երկրի կենտրոն-լուսատու ուղղությունը։

Դիցուք, դիտողը Երկրի կենտրոնից (O) տեղափոխվում է M կետը (նկ. 51)։ Նրան կթվա, որ S_1 լուսատուն երկնոլորտի S_1' կետից տեղափոխվում է S_1'' կետը։ Թվացող այդ տեղափոխությունը կոչվում է պարալակտիկ տեղափոխություն, իսկ OS_1 և MS_1 ուղղություններով կազմած անկյունը՝ պարալաքս (P)։ Իր առանցքի շուրջը Երկրի ունեցած օրապտույտի պատճառով, պարալաքսը ևս փոփոխվում է մեկօրյա պարբերությամբ. դրա համար էլ այն անվանվում է օրական պարալաքս։ Եթե ընդունենք, որ S_1-ը և S_2-ը միևնույն լուսատուի տարբեր դիրքերն են, ընդ որում S_2-ը գրտնվում է M վայրում գտնվող դիտողի հորիզոնի վրա, ապա այդ դեպքում պարալաքսը կոչվում է հորիզոնական պարալաքս (P_0)։ Փաստորեն հորիզոնական պարալաքսն այն անկյունն է, որի գագաթը գտնվում է լուսատուի կենտրոնում և որի տակ երևում է Երկրի շառավիղը։ Դժվար չէ ցանկացած բարձրության վրա գտնվող լուսատուի պարալաքսի և հորիզոնական պարալաքսի միջև կապ ստանալ։ Դրա համար MS_1O եռանկյան նկատմամբ կիրառենք սինուսների բանաձևը՝

$$\frac{\sin P}{\sin(180^\circ - z_1)} = \frac{R}{D},$$

որտեղ՝ R-ը Երկրի շառավիղն է, իսկ z_1-ը՝ լուսատուի զենիթային հեռավորությունը, D-ն՝ նրա գծային հեռավորությունը Երկրից։

Մյուս կողմից էլ MS_2O ուղղանկյուն եռանկյունուց՝

$$\frac{R}{D} = \sin P_0:$$

Այսինքն՝

$$\frac{\sin P}{\sin(180^\circ - z_1)} = \sin P_0:$$

P-ն և P_0-ն շատ փոքր լինելով, sinP-ն և $\sin P_0$-ն կարելի է ընդունել համեմատական անկյուններին, այսինքն՝

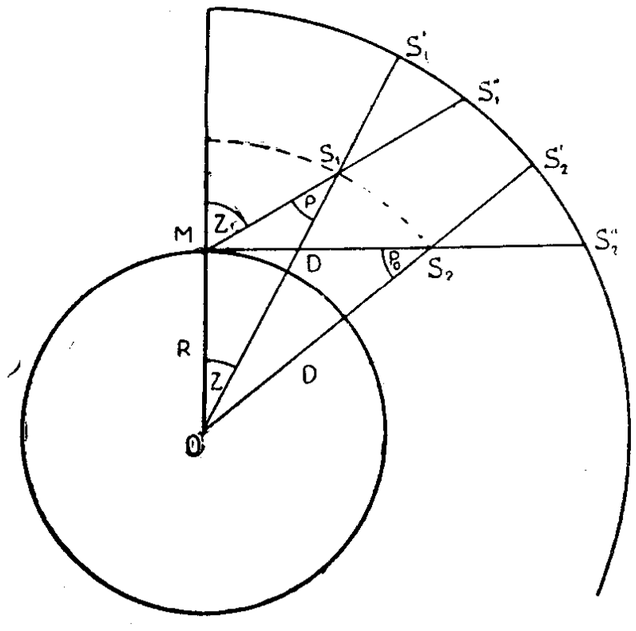
$$\frac{P \cdot \sin 1''}{\sin z_1} = P_0 \cdot \sin 1'',$$

որտեղից էլ՝

$$P = P_0 \cdot \sin z_1: \qquad (1)$$

Այս առնչությունից երևում է, որ պարալաքսի առավելագույն արժեքը (P_0) ստացվում է, երբ $z_1 = 90^\circ$։ Նվազագույնն էլ (0) կլինի, երբ $z_1 = 0$։

Աստղագիտական օրացույցներում լուսատուների հասարակածային կոորդինատները սովորաբար տրվում են Երկրի կենտրոնի նկատմամբ։ Այդպիսի կոորդինատները կոչվում են երկրակենտրոն կոորդինատներ: M կետից չափված կոորդինատները երկրակենտրոնից կտարբերվեն պարալաքսի չափով։ Պարալաքսի շնորհիվ լուսա-



Նկ. 51. Կապ պարալաքսի և հորիզոնական պարալաքսի միջև։

տուն երևում է իրական դիրքից ավելի ցածր. ընդ որում այդ իջեցումը տեղի է ունենում միջօրեականով: Դրա համար էլ M-ից դիտելիս հասարակածային կոորդինատներից կփոխվի լուսատուի միայն հակումը:

Ինչպես տեսանք՝ $\frac{R}{D} = \sin P_0$:

Մյուս կողմից էլ՝ $\sin P_0 = P_0 \cdot \sin 1'' = \frac{P_0}{206\,265}$,

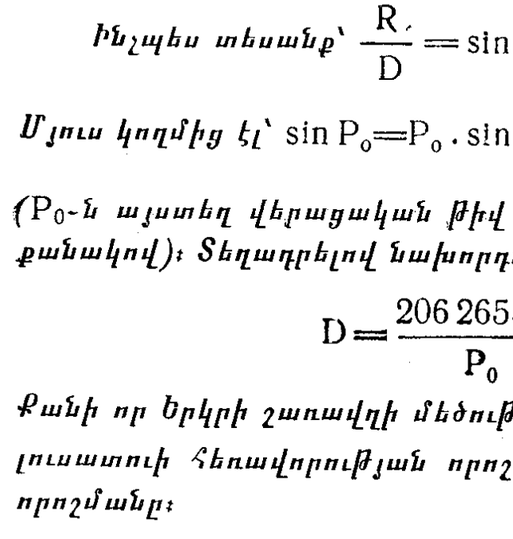
(P_0-ն այստեղ վերացական թիվ է՝ արտահայտված վայրկյանների քանակով): Տեղադրելով նախորդում, կստանանք

$$D = \frac{206\,265 \cdot R}{P_0}: \qquad (2)$$

Քանի որ երկրի շառավղի մեծությունը հայտնի է, ստացվում է, որ լուսատուի հեռավորության որոշելը հանգում է նրա պարալաքսի որոշմանը:

Երբ կարիք է լինում լուսատուների հեռավորությունը որոշել մեծ ճշտությամբ, անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև երկրի սեղմվածությունը: Պայմանավորվել են (2) բանաձևում R-ը համարել երկրի հասարակածային շառավիղը: Այդ դեպքում պարալաքսը համապատասխանորեն անվանվում է հորիզոնական հասարակածային պարալաքս:

Այժմ անցնենք արեգակնային համակարգության անդամների հորիզոնական պարալաքսի որոշմանը: Եթե հաջողվեր չափել լուսատուի տեսանելի և երկրակենտրոն զենիթային հեռավորությունները, ապա նրանց տարբերությունն էլ հավասար կլիներ պարալաքսին: Բայց դա գործնականորեն կատարել հնարավոր չէ, քանի որ դիտողը չի կարող տեղափոխվել երկրի կենտրոն: Դրա համար էլ օգտվում են օժանդակ եղանակից: Լուսատուն վերին կուլմինացիայում դիտվում է միաժամանակ՝ միևնույն միջօրեականի վրայի իրարից բավական հեռու գտնվող երկու վայրերից (նկ. 52): Ենթադրենք, որ այդ վայրերի (A և B) աշխարհագրական լայնություններն համապատասխանորեն φ_1-ը և φ_2-ն են, իսկ CD-ն



Նկ. 52. Հորիզոնական պարալաքսի որոշելը:

երկրի հասարակածն է: OASB քառանկյան ներքին անկյունների գումարը հավասար կլինի՝

$$(P_1 + P_2) + (180^0 - z_1) + (\varphi_1 + \varphi_2) + (180^0 - z_2) = 360^0,$$

որտեղից՝

$$P_1 + P_2 = z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2:$$

Ըստ պարալաքսի և հորիզոնական պարալաքսի կապի՝

$$P_1 = P_0 \cdot \sin z_1 \text{ և } P_2 = P_0 \cdot \sin z_2:$$

Տեղադրելով նախորդ հավասարության մեջ և լուծելով P_0-ի նկատմամբ, կստանանք՝

$$P_0 = \frac{z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2}{\sin z_1 + \sin z_2}:$$

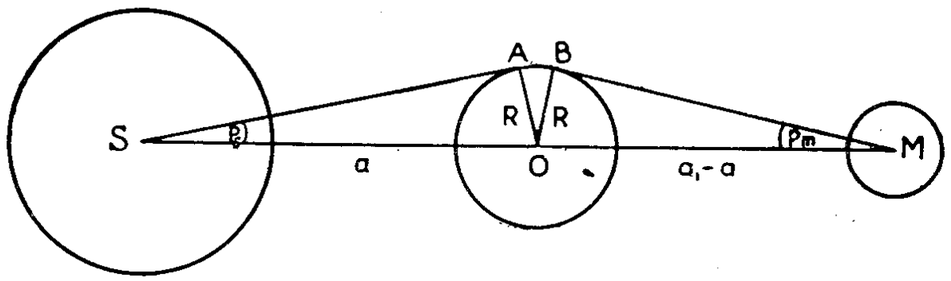
Չափումները Լուսնի համար տալիս են՝ $P_0 = 57'$: Պարալաքսի այդ արժեքը տեղադրելով (2)-ի մեջ, կստանանք Լուսնի հեռավորությունը՝ 384400 կմ:

Վերջին տարիներին Արեգակնային համակարգության անդամների մի մասի հեռավորությունները չափվել է նաև ռադիոլոկացիոն մեթոդով: Դեպի Լուսին, Վեներա ու Մերկուրի են ուղարկվել ռադիոիմպուլսներ, որոնք անդրադարձումից հետո գրանցվել են ընդունիչների կողմից: Իմպուլսների ընդունման ու հաղորդման պահերի տարբերությունը հնարավորություն է տվել որոշել այդ մարմինների հեռավորությունները՝ ռադիոալիքների տարածման արագության միջոցով:

Արեգակի պարալաքսի որոշելը: Արեգակի պարալաքսը անմիջականորեն որոշել հնարավոր չէ: Դիտումների ժամանակ, Արեգակի ջերմության ազդեցությամբ խախտվում է գործիքի օպտիկական համակարգը և ստացվում են սխալ արդյունքներ: Ուստի, Արեգակի պարալաքսը որոշվում է կողմնակի ճանապարհով՝ այլ լուսատուի պարալաքսի օգնությամբ: Սովորաբար օգտվում են Մարսի (կամ Երկրին համեմատաբար մոտ գտնվող որևէ փոքր մոլորակի) պարալաքսից: Դիտումները կատարվում են այդ օժանդակ մոլորակի դիմակայությունների ժամանակ:

Դիցուք, Արեգակի, Երկրի և Մարսի կենտրոնները (S, O և M) գտնվում են մոտավորապես մի ուղղի վրա (նկ. 53): Տանենք Երկրի SA և MB շոշափողները: SAO և MBO եռանկյուններից կարող ենք գրել՝

$$R = a \cdot \sin P_S \text{ և } R = (a_1 - a) \cdot \sin P_M,$$



Նկ. 53. Արեգակի պարալաքսի որոշելը։

որտեղ՝ R*-ը երկրի շառավիղն է,* P_S*-ը և* P_M*-ը համապատասխանաբար Արեգակի ու Մարսի պարալաքսները,* a*-ն երկրի, իսկ* a_1*-ը՝ Մարսի հեռավորությունները Արեգակից։ Այդ հավասարությունների աջ մասերը հավասարեցնելով և լուծելով* P_S*-ի նկատմամբ, կստանանք՝*

$$\sin P_S = \left(\frac{a_1}{a} - 1\right) \cdot \sin P_M:$$

Նկատի ունենալով, որ P_S*-ը և* P_M*-ը շատ փոքր են, կարող ենք սինուսները փոխարինել համապատասխան անկյուններով.*

$$P_S = \left(\frac{a_1}{a} - 1\right) P_M: \qquad (1)$$

Ճիշտ է, a*-ն առայժմ հայտնի չէ (դրա համար էլ ցանկանում ենք որոշել Արեգակի պարալաքսը), սակայն* $\frac{a_1}{a}$ *հարաբերությունը կարելի է որոշել, օգտվելով Կեպլերի երրորդ օրենքից։*

$$\frac{a_1^3}{a^3} = \frac{T_1^2}{T^2} \quad \text{կամ} \quad \frac{a_1}{a} = \left(\frac{T_1}{T}\right)^{2/3},$$

որտեղ՝ T*-ն երկրի, իսկ* T_1*-ը Մարսի պտտման պարբերություններն են։ Վերջիններիս արժեքները հայտնի են անմիջական դիտումներից։*

Ստացվում է $\frac{a_1}{a} = 1{,}52$*, որը տեղադրելով (1)-ի մեջ, կստանանք՝*

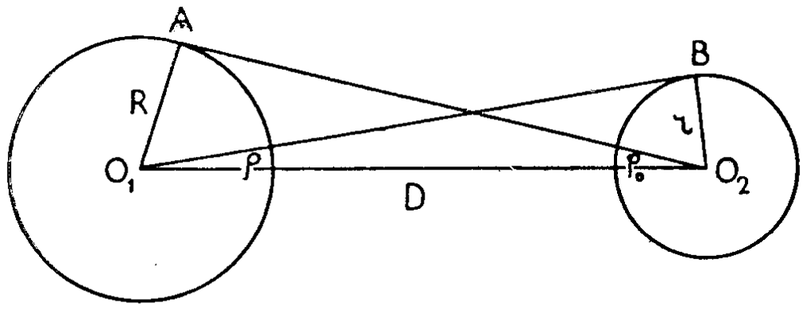
$$P_S = 0{,}52 \cdot P_M: \qquad (2)$$

Տեղադրելով Մարսի պարալաքսի արժեքը, կորոշենք նաև Արեգակի պարալաքսը։ Տարբեր չափումների արդյունքների համադրումից ստացվում է, որ Արեգակի պարալաքսը հավասար է $8'',794 \approx 8'',8$*, որը համապատասխանում է Արեգակի հեռավորությանը երկրից՝ 149,6 մլն կմ։*

Նշման արժանի է, որ չնայած Արեգակի պարալաքսը որոշվում է Մարսի պարալաքսի միջոցով, սակայն (2) հավասարությունից երևում է, որ Արեգակի պարալաքսի արժեքն ստացվում է մոտ երկու անգամ ավելի փոքր սխալով, քան Մարսինը, քանի որ սխալը ևս բազմապատկվում է 0,52-ով։

§ 44. Սկավառակի տեսքով երևացող լուսատուների չափերի որոշելը

Լուսատուի գծային շառավիղը նշանակենք r*-ով։ Նկ. 54-ից երևում է, որ*



Նկ. 54. Լուսատուների շառավղի որոշելը։

$$r = D \cdot \sin\rho,$$

որտեղ՝ D*-ն նրա հեռավորությունն է, իսկ* ρ*-ն՝ անկյունային շառավիղը։ Մյուս կողմից էլ՝*

$$R = D \cdot \sin P_0,$$

որտեղ՝ R*-ը երկրի շառավիղն է, իսկ* P_0*-ն՝ լուսատուի հորիզոնական պարալաքսը։ Վերջին երկու հավասարությունները իրար վրա բաժանելով և հաշվի առնելով* ρ*-ի և* P_0*-ի փոքր լինելը, վերջնականորեն կարող ենք գրել՝*

$$r = \frac{\rho}{P_0} R:$$

Օրինակ, Արեգակի համար $\rho = 16'16''$ *և* $P_0 = 8'',794$*։ Այդ արժեքները տեղադրելով, կստանանք* $r = 109\,R$*։*

Լուսնի համար ($\rho = 15',5$ *և* $P_0 = 57'$*)* $r = 0{,}27\,R$*։ Հետևաբար, Արեգակի շառավիղը 109 անգամ մեծ է երկրի շառավղից, որն իր հերթին Լուսնի շառավղից մեծ է գրեթե 4 անգամ։ Տեղադրելով երկրի շառավղի արժեքը, կստանանք, որ Արեգակի շառավիղը հավասար է 695000 կմ, իսկ Լուսնինը՝ 1740 կմ։*

§ 45. Աստղերի հեռավորությունների որոշելը եռանկյունաչափական մեթոդով: Տարեկան պարալաքս

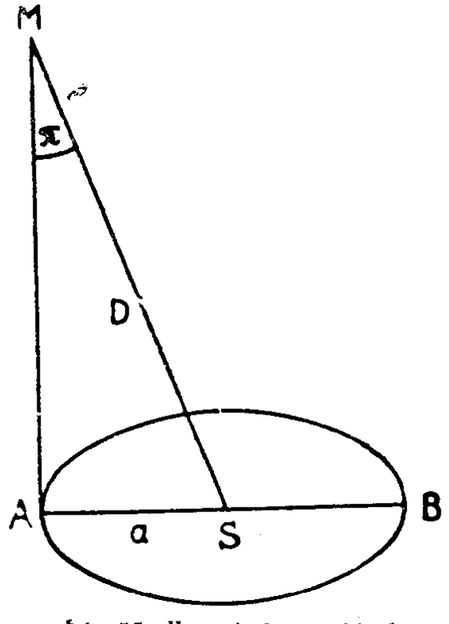
Աստղերի հեռավորությունները երկրի չափերի համեմատությամբ այնքան մեծ են, որ վերջինիս վրա ինչպիսի դիտակետեր էլ ընտրենք, միևնույն է նրանցից աստղը կերևա նույն ուղղությամբ: Այսինքն՝ աստղերի պարալաքսների չափման համար հարկավոր է ունենալ շատ ավելի մեծ բազիս:

Երկրի պտույտը Արեգակի շուրջը մեզ հնարավորություն է տալիս աստղերին նայել ուղեծրի տրամագծորեն հակառակ կետերից, կետեր, որոնց միացնող ուղղի հատվածը կազմում է մոտ 300 մլն կմ: Երկրի (դիտողի) տարեպտույտի հետ մեզ համեմատաբար մոտ աստղերը երկնոլորտի վրա տեղաշարժվում են, որոնց բնույթը կախված է այն դիրքերից, որ նրանք գրավում են ուղեծրի հարթության նկատմամբ: Եթե աստղը գտնվում է այդ հարթության վրա, նա գծում է ուղիղ գիծ: Ուղեծրի բևեռում գտնվելու դեպքում գծում է շրջանագիծ, իսկ մյուս դեպքերում՝ էլիպս: Ընդ որում ինչքան աստղի ուղղության և ուղեծրի կազմած անկյունը փոքր է, այնքան պարալաքսային էլիպսը ձգված է:

Քանի որ աստղերի պարալաքսային տեղափոխությունը պայմանավորված է Երկրի տարեպտույտով, նրանց պարալաքսը ընդունված է անվանել **տարեկան պարալաքս:**

SAM *եռանկյունուց (նկ. 55) կարող ենք գրել՝*

$$\sin\pi = \frac{a}{D},$$



Նկ. 55. Աստղերի տարեկան պարալաքսը:

որտեղ՝ π-ն աստղի տարեկան պարալաքսն է, a-ն՝ Երկրի հեռավորությունը Արեգակից և D-ն՝ աստղի հեռավորությունը: Նկատի ունենալով, որ աստղերի պարալաքսները մեկ աղեղնային վայրկյանից էլ փոքր են, վերհիշյալ հավասարությունը ձևափոխելով, կարող ենք գրել՝

$$D = \frac{a}{\pi'' \cdot \sin 1''} = \frac{a}{\dfrac{\pi''}{206\,265}},$$

այսինքն՝

$$D = \frac{206\,265 \cdot a}{\pi''}: \qquad (3)$$

Աստղերի մեծ մասը Երկրի ուղեծրային շարժման ժամանակ պարալաքսային տեղաշարժ չի դրսևորում: Դա բացատրվում է նրանով, որ նրանք գտնվում են շատ հեռու և նրանց համար անգամ Երկրի ուղեծրի մեծ առանցքը, որպես բազիս, աննշան մեծություն է: Հետևաբար, նկարագրված եռանկյունաչափական մեթոդով այդ աստղերի պարալաքսը որոշել հնարավոր չէ:

Աստղերի պարալաքսների առաջին չափումները հնարավոր դարձավ անցյալ դարի 30-ական թվականներին: Պուլկովոյի աստղադիտարանում Վ. Ստրուվեն չափեց Քնար համաստեղության Վեգա աստղի, իսկ Քյոնիքսբերգում Ֆ. Բեսելը՝ Կարապի 61-րդ աստղի պարալաքսը: Առայսօր Հայտնի ամենամեծ պարալաքս ունեցող (և հետևաբար մեզ ամենամոտ) աստղը Կենտավրոսի Պրոքսիմա (Մերձավոր) աստղն է: Նրա պարալաքսը հավասար է 0″,76-ի: Աստղերի պարալաքսների առաջին չափումները, չնայած իրենց ոչ մեծ ճշտությանը, մեծ դեր են խաղացել Երկրի տարեկան շարժման ուսմունքը հաստատելու և աստղային աշխարհի չափերի մասին մեր ունեցած պատկերացումներն ընդլայնելու գործում:

Աստղերի տարեկան պարալաքսները անմիջական չափումներով որոշելու համար կան զանազան մեթոդներ, որոնցից լավագույնը լուսանկարչական մեթոդն է: Վերջինիս էությունը հետևյալումն է: Մի քանի տարվա ընթացքում, միևնույն աստղադիտակով և հավասար պայմաններում լուսանկարվում է աստղային երկնքի այն տիրույթը, որտեղ գտնվող աստղերի պարալաքսներն անհրաժեշտ է որոշել: Լուսանկարների վրա չափելով այդ աստղերի տեղաշարժման մեծությունները և դրանք համեմատելով, այսպես կոչված, համեմատման աստղերի տեղափոխությունների հետ, որոնց ճշգրիտ պարալաքսները մինչ այդ արդեն հայտնի են, որոշում են պահանջվող աստղերի պարալաքսները:

§ 46. Հեռավորությունների միավորները աստղագիտության մեջ

Լուսատուների չափերը, արբանյակների հեռավորությունները մայր մոլորակներից, ինչպես նաև մեզ համեմատաբար մոտ գտնվող երկնային մարմինների (արհեստական արբանյակներ, Լուսին, Մարս, Մերկուրի, Վեներա, Արեգակ) հեռավորություններն արտահայտելու համար որպես միավոր ընդունվում է կիլոմետրը (կմ):

Մոլորակների մի մասն էլ շատ հեռու է և նրանց հեռավորությունները կիլոմետրերով արտահայտված շատ մեծ թվեր են։ Սովորաբար Արեգակնային համակարգության անդամների փոխադարձ հեռավորություններն արտահայտելիս օգտվում են աստղագիտական միավորից (ամ)։ Դա երկրի միջին հեռավորությունն է Արեգակից և հավասար է $149{,}6.10^6$ կմ։

Միջաստղային հեռավորությունները, գալակտիկաների չափերն ու փոխադարձ հեռավորություններն արտահայտելիս ընդունված են ավելի մեծ միավորներ՝ լուսատարի (լտ), պարսեկ (պս), կիլոպարսեկ (կպս) և մեգապարսեկ (մպս)։

Լուսատարին այն հեռավորությունն է, որը լույսի ճառագայթն անցնում է մեկ տարվա ընթացքում։ Այն կիլոմետրերով արտահայտելու համար անհրաժեշտ է լույսի արագությունը բազմապատկել տարվա մեջ եղած վայրկյանների քանակով։ Ստացվում է՝ $9{,}46\cdot10^{12}$ կմ կամ 63300 ամ։

Մեկ պարսեկ (պարալաքս և սեկունդ բառերից) կոչվում է այն հեռավորությունը, որին համապատասխանող պարալաքսը՝ $\pi=1''$. այսինքն՝ այն հեռավորությունն է, որից աստղագիտական միավորը երևում է $1''$ անկյան տակ։ (3) բանաձևից երևում է, որ պարսեկը հավասար է 206265 ամ, կամ 1 պս$=3{,}26$ լտ։ Այդ նույն առընչությունից երևում է, որ հեռավորությունը պարսեկներով կարտահայտվի

$$D=\frac{1}{\pi}$$

բանաձևով, որտեղ π-ն ցույց է տալիս պարալաքսի արժեքը՝ արտահայտված վայրկյաններով։

Կիլոպարսեկը հավասար է հազար պարսեկի, իսկ մեգապարսեկը՝ միլիոն պարսեկի։

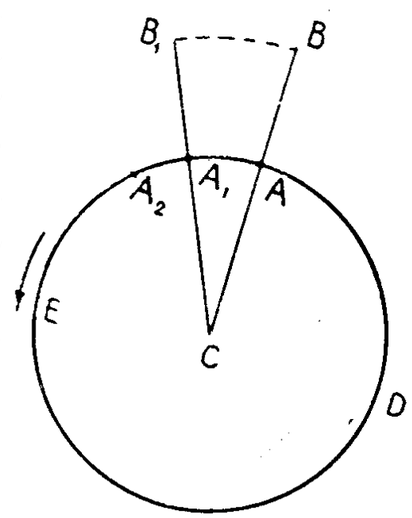
Գլուխ V

ԵՐԿՐԻ ԵՎ ԼՈՒՍՆԻ ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐԸ

§ 47. Երկրի պտույտն իր առանցքի շուրջը

Երկրի առանցքային պտտման մի շարք ապացույցներ կան։ Կանգ առնենք դրանցից երկուսի վրա։

1. Վայր ընկնող մարմինների խոտորումը դեպի արևելք։ Դիցուք, AED-ն երկրի հասարակածն է, որի A կետում գտնվում է AB աշտարակը (նկ. 56)։ Երկիրը չպտտվելու դեպքում B կետից բաց թողած ծանրոցը կընկներ A կետը։ Բայց իրականում այն խոտորվում է դեպի արևելք։ Պատճառն այն է, որ ծանրոցը գտնվելով B կետում, ունի գծային ավելի մեծ արագություն, քան A կետը։ Ծանրոցը B կետից երկրի վրա ընկնելու ժամանակամիջոցում AB աշտարակը, Երկրի պտտման հետևանքով, գրավում է A_1B_1 դիրքը, իսկ ծանրոցն էլ A_1 կետից առաջ է անցնում և վայր ընկնում A_2 կետում։ Ընդ որում, $AA_2=BB_1$։ Խոտորումը՝ $A_1A_2=AA_2-AA_1$։



Նկ. 56. Վայր ընկնող մարմինների շեղվելը դեպի արևելք (Երկրի հասարակածում)։

Հասարակածում խոտորման արժեքը ամենամեծն է։ Աշխարհագրական լայնության մեծացման հետ այն փոքրանում է և բևեռում դառնում զրո։ Ընդհանրապես խոտորման մեծությունը փոքր է լինում։ Այսպես, 100 մ բարձրության աշտարակից ընկնող մարմինը շեղվում է ընդամենը 1 սմ-ի չափով։ Այդ պատճառով պետք է փորձը կատարել այնպիսի պայմաններում, ուր վերացված է քամու ազդեցությունը։ Դրա համար էլ, սովորաբար, փորձը դրվում է գետնի տակ՝ խոր հանքախորշերում։

2. Ֆուկոյի ճոճանակը: *1851 թ. ֆրանսիացի գիտնական Ֆուկոն բարձր աշտարակից կախված թելի ծայրին ամրացրեց ծանրոց և այն դուրս բերեց հավասարակշռությունից: Հայտնի է, որ ճոճանակը իր ճոճման հարթությունը չի փոխում: Իսկ այստեղ ստացվում էր, որ այն հետզհետե տեղափոխվում է դեպի արևմուտք: Այսինքն, փաստորեն ճոճանակը պահպանում է իր հարթության դիրքը, իսկ նրա տակ երկիրը պտտվում է արևմուտք-արևելք ուղղությամբ:*

Նման փորձ, ավելի մեծ մասշտաբով, 1931 թ. ցուցադրվում է Լենինգրադում (Իսակովյան տաճարում): Այստեղ ճոճանակի երկարությունը 98 մ է, ծանրոցի կշիռը՝ 60 կգ: Տատանման ամպլիտուդը 5 մ, պարբերությունը՝ 20 վրկ:

Ճոճանակի շեղման չափը կախված է տեղի աշխարհագրական լայնությունից: Առավելագույն շեղումը լինում է բևեռում՝ ժամում 15°: Լենինգրադում այն կազմում է 13°: Երևանում այդ փորձը դնելու դեպքում շեղումը ժամում կկազմեր 10°: Հասարակածում շեղում տեղի չի ունենա:

Երկրի առանցքային պտույտով են պայմանավորված նրա տեղմվածությունը բևեռներից: Այն, որ առաջացած կենտրոնախույս ուժերը (որոնց մեծությունը առավելագույնի է հասնում հասարակածում) պահում են հասարակածային գոտու ջրերի բարձր մակարդակը: Պտտման հետևանքով է, որ հրանոթի արկերը հյուսիսային կիսագնդում շեղվում են դեպի աջ, հարավայինում՝ դեպի ձախ. հյուսիսային կիսագնդի գետերի աջ ափը, իսկ հարավայինինը՝ ձախ ափը ավելի զառիթափ է լինում, հյուսիս արևելքից և հարավ արևելքից երկրի տաք գոտին ներխուժում են մթնոլորտային սառը հոսանքներ և այլն:

Կենտրոնախույս ուժի մեծությունը կախված է տեղի աշխարհագրական լայնությունից (բևեռներում հավասար է զրոյի): Բացի այդ երկիրը սեղմված է, այսինքն՝ բևեռամերձ շրջանները երկրի կենտրոնից ավելի մոտ են գտնվում: Այս երկու հանգամանքների շնորհիվ ծանրության ուժը հասարակածում բևեռների համեմատությամբ փոքր է 1:190 անգամով: Դա նշանակում է, որ բևեռում 190 կգ կշիռ ունեցող մարմինը հասարակածում կկշռի 189 կգ (եթե, իհարկե, կշռումը կատարվում է զսպանակավոր կշեռքով. հակառակ դեպքում կշռաքարերը ևս նույն հարաբերությամբ կփոխեն իրենց ծանրությունը):

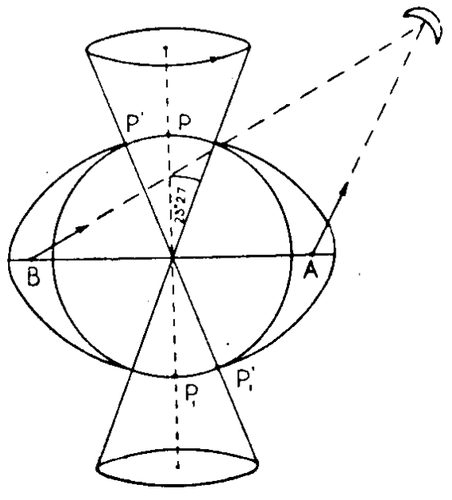
Պտտման հետևանքով երկրի հասարակածի կետերը տարածության մեջ տեղափոխվում են 0,5 կմ/վրկ արագությամբ: Դրա համար էլ հասարակածով և երկրի պտտման ուղղությամբ կարելի է արհեստական արբանյակ արձակել 0,5 կմ/վրկ-ով փոքր արագություն հաղորդելով, քան այն արագությունը, որն անհրաժեշտ է միջօրեականի ուղղությամբ արբանյակ արձակելուն:

§ 48. Պրեցեսիա և նուտացիա

Եթե երկիրը լիներ ճշգրիտ գնդաձև և զանգվածը նրա ներսում բաշխված հավասարաչափ, անկախ երկնային մարմինների ձգողական ուժի ազդեցությունից, նրա պտտման առանցքը տարածության մեջ իր դիրքը չէր փոխի, այսինքն՝ կմնար ինքն իրեն զուգահեռ: Սակայն, ինչպես տեսանք, երկիրը բևեռներում սեղմված է: Այժմ տեսնենք, թե ինչպես կազդեն Լուսնի ու Արեգակի ձգողական դաշտերը հասարակածային այդ հավելյալ զանգվածի վրա և ինչ հետևանք կարող են դրանք ունենալ երկրի պտտման առանցքի դիրքի վրա:

Եթե Լուսինը երկրի շուրջը պտտվեր երկրի հասարակածի հարթության մեջ, ապա ոչ մի փոփոխություն տեղի չէր ունենա: Բայց իրականում նրա պտտման հարթությունը հասարակածի հարթության հետ կազմում է 5°9′ անկյուն: Երկրի հասարակածը թեքված է նաև խավարածրի նկատմամբ (23°27′):

Լուսինը հասարակածային այդ ավելցուկի իրեն համեմատաբար մոտ գտնվող մասին (A) կձգի ավելի մեծ ուժով, քան հեռու մասին (B) (նկ. 57): Հետևանքը կլինի այն, որ այդ ուժը կաշխատի երկրին ժամացույցի սլաքի պտտման հակառակ ուղղությամբ շրջել այնպես, որ նրա հասարակածը ուղղված լինի դեպի Լուսին: Դա տեղի կունենար այն դեպքում, եթե երկիրը իր առանցքի շուրջը չպտտվեր: Սակայն իրականում պտտվում է նաև երկիրը: Միաժամանակ տեղի ունեցող այդ երկու պտույտների հետևանքով երկրի առանցքը տարածության մեջ գծում է կոնական մակերևույթ (նկարում PP_1-ի փոխարեն $P'P'_1$ առանցքի P' ծայրը դեպի մեզ և աջ է շարժվում), իսկ բևեռը գծում է շրջանագիծ, որի անկյունային շառավիղը հավասար է հասարակածի ու խավարածրի կազմած անկյանը (23°27′):



Նկ. 57. Պրեցեսիոն շարժումը:

Համանման երևույթ է առաջացնում նաև Արեգակը, սակայն մեծ հեռավորության հետևանքով նրա ազդեցությունը երկու անգամ ավելի փոքր է:

Աշխարհի առանցքի դիրքի փոփոխության հետևանքով գիշերահավասարի կետերը տեղափոխվում են խավարածրով՝ ընդառաջ Արեգակի շարժմանը: Դրա համար էլ այդ երևույթը կոչվում է պրեցեսիա (կանխադիպում): Այդ տեղափոխությունը տարեկան կազ-

մում է 50″,26։ Այսինքն, գիշերահավասարի կետերը, ինչպես նաև Երկրի բևեռները մեկ լրիվ շրջան են կատարում ու վերադառնում իրենց նախկին դիրքին՝ 360°:50″,26, այսինքն՝ շուրջ 26000 տարվա ընթացքում։

Լուսնաարեգակնային պրեցեսիոն ազդեցությունը բացի դարավոր բնույթ ունենալուց, ունենում է նաև պարբերական փոփոխություններ, որոնք կախված են այն բանից, թե Լուսինն ու Արեգակը Երկրի հասարակածի նկատմամբ ինչ դիրք են գրավում։ Հասարակածի վրա գտնվելիս այդ ազդեցությունը կվերանա, առավելագույն անկյունային հեռավորություն ունենալու դեպքում կունենա ամենամեծ ազդեցությունը։ Արդյունքը լինում է այն, որ բացի կոնական մակերևույթի գծելուց, Երկրի առանցքը կատարում է նաև պարբերական տատանումներ, որոնք կոչվում են **երկրային առանցքի նուտացիա**: Ամենամեծ նուտացիոն տատանման պարբերությունը հավասար է լուսնային հանգույցների բոլորման պարբերությանը՝ 18,6 տարվա։ Դրա հետևանքով Երկրի պտտման առանցքի ծայրը այդ ժամանակամիջոցում գծում է 9″,2 և 6″,9 կիսառանցքներ ունեցող էլիպսներ։ Պրեցեսիայի ու նուտացիայի համատեղ ազդեցությամբ աշխարհի առանցքի ծայրը (հյուսիսային բևեռը) երկնոլորտի վրա տեղափոխվում է գրեթե շրջանագիծ ներկայացնող ալիքավոր կորով։

Փոքր զանգված և մեծ հեռավորություններ ունենալու պատճառով, մոլորակների ազդեցությունները Երկրի առանցքի դիրքի վրա այնքան փոքր են, որ կարելի է հաշվի չառնել։ Սակայն դրանք ազդում են Արեգակի շուրջը Երկրի գծած ուղեծրի վրա՝ փոփոխելով խավարածրի դիրքը։ Այդ փոփոխությունն էլ կոչվում է **մոլորակային պրեցեսիա**:

Երկրի պտտման առանցքի դիրքի պրեցեսիոն փոփոխությունները իրենց հերթին առաջ են բերում հետևյալ երևույթները.

1. Գարնանային գիշերահավասարի կետը, Արեգակին ընդառաջ գնալով, արևադարձային տարին աստղային տարուց փոքրացնում է 20 րոպե 23 վայրկյանով։

2. Փոփոխվում է աշխարհի բևեռների դիրքը։ 4000 տարի առաջ հյուսիսային բևեռում է գտնվել Վիշապի համաստեղության α աստղը։ Այժմ բևեռը գտնվում է Փոքր Արջի α աստղի մոտ։ 12000 տարի հետո որպես բևեռ կծառայի երկնոլորտի հյուսիսային կիսագնդի պայծառագույն աստղը՝ Վեգան։

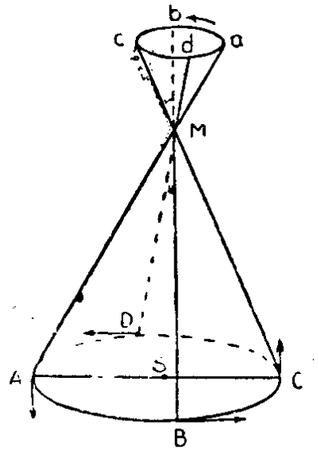
3. Երկրի առանցքի հետ փոփոխվում է նաև նրան ուղղահայաց հասարակածային հարթության դիրքը։ Վերջինիս նկատմամբ են

որոշվում հասարակածային կոորդինատները։ Այսինքն, պրեցեսիայի երևույթը փոփոխում է լուսատուների հասարակածային կոորդինատները։

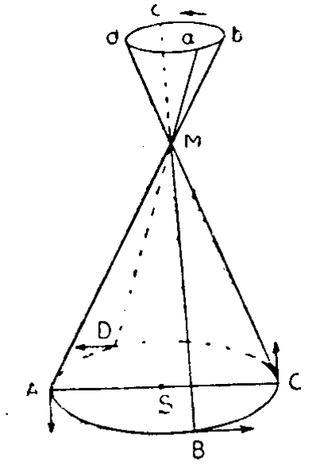
4. Բևեռի ու հասարակածի դիրքի փոփոխությունը, ակնհայտ է, կփոփոխի նաև տվյալ վայրից դիտվող աստղային երկնքի տեսքը։ Հորիզոնին մոտ գտնվող որոշ աստղեր ու համաստեղություններ կարող են այլևս չերևալ, նրանց փոխարեն կերևան մինչ այդ չդիտվող այլ աստղեր ու համաստեղություններ։

§ 49. Աբերացիայի երևույթը

Պարալաքսային շարժումն ուսումնասիրելիս մենք տեսանք, որ Արեգակի շուրջ Երկրի տարեպտույտի պատճառով, լուսատուները երկնոլորտի վրա գծում են էլիպսներ, որոնց չափերը կախված են նրանց հեռավորությունից։ Նկ. 58-ի վրա պատկերված է Երկրի տարեպտույտի ազդեցությունը լուսատուի դիրքի վրա։ S Արեգակի շուրջը Երկիրը ABCD էլիպսը գծելիս M լուսատուն երկնոլորտում գծում է abcd էլիպսը, ընդ որում պրոյեկտման պատճառով համապատասխան կետերը գտնվում են տրամագծորեն հակառակ ուղղությամբ, այսինքն՝ աստղը իր իրական դիրքից թեքվում է Երկիր-Արեգակ ուղղությամբ։



Նկ. 58. Աստղերի պարալաքսային տեղաշարժը։

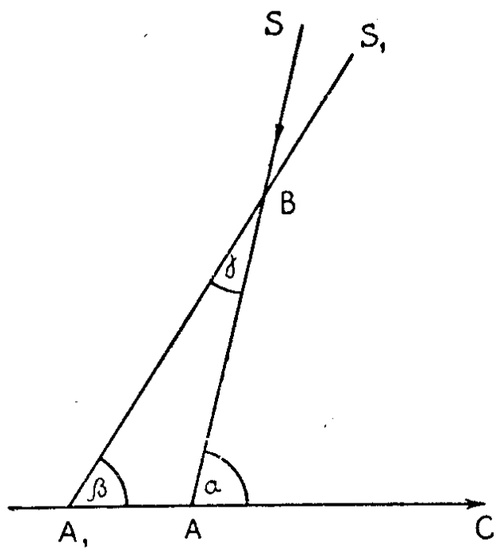


Նկ. 59. Աստղերի աբերացիոն տեղաշարժը։

Սակայն Բրադլեյը 1728 թվականին, երբ ցանկանում էր որոշել Վիշապ համաստեղության γ աստղի պարալաքսը, հանդիպեց մի անսպասելի երևույթի։ Ճիշտ է աստղը փոխում էր իր դիրքը, սակայն տեղափոխությունը պարալաքսային տեղափոխության նկատ-

մամբ մշտապես շեղված էր 90°-ով (աստղը շեղված էր լինում երկրի ուղեծրի տվյալ կետի շոշափողի ուղղությամբ, նկ. 59)։ Մյուս տարօրինակությունն այն էր, որ նշված աստղին մոտ գտնվող բոլոր աստղերի գծած էլիպսների մեծ կիսառանցքները նույնն էին (20″,5)՝ անկախ նրանց հեռավորություններից։ Այդ երևույթը կոչվեց աբերացիայի երևույթ *(աբերացիա բառացի նշանակում է շեղում), իսկ աստղի իրական ու տեսանելի ուղղություններով կազմած անկյունն էլ՝* աբերացիայի անկյուն *կամ ուղղակի* աբերացիա:

Բրադլեյը աբերացիան բացատրեց որպես երկրի ուղեծրային և լույսի շարժման զուգակցման հետևանք։ Դիցուք, AC-ն երկրի շարժման ուղղությունն է (նկ. 60)։ Փոքր ժամանակամիջոցների համար այն կարելի է համարել ուղղագիծ։



Նկ. 60. Աբերացիայի բացատրման սխեման։

Եթե երկիրը անշարժ լիներ, ապա S աստղը դիտելու համար դիտակը պետք է ուղղվեր AS ուղղությամբ։ S-ից լույսը կընկնի դիտակի B օբյեկտիվի վրա և անցնելով BA խողովակը, կընկնի A օկուլյարի վրա՝ նրա թելիկների խաչաձևման կետում տալով աստղի լուսապատկերը։ Քանի որ երկիրը, հետևաբար նաև նրա վրա գտնվող դիտակը, շարժվում է V արագությամբ, այդ դեպքում աստղի իրական դիրքն ուղղված դիտակում կամ աստղն ընդհանրապես չի երևա, կամ կերևա շեղված։ Իսկապես, աստղից եկող լույսը օբյեկտիվից մինչև հասնի օկուլյար, վերջինս արդեն տեղափոխված կլինի։ Որպեսզի աստղը երևա, անհրաժեշտ է այն թեքել, նրան տալով A_1S_1 ուղղություն այնպես, որ մինչև լույսը B-ից հասնի A, A_1-ն էլ հասնի A։ Աստղի իրական ուղղության և երկրի շարժման ուղղության կազմած անկյունը նշանակենք α-ով։ Տեսանելի ուղղության և երկրի շարժման ուղղության կազմած անկյունն էլ՝ β-ով։ Ըստ սահմանման, աբերացիայի անկյունը կլինի՝ $\gamma=\alpha-\beta=\angle A_1BA$։ A_1BA եռանկյունուց կարող ենք գրել՝

$$\frac{AB}{A_1A}=\frac{\sin\beta}{\sin\gamma}: \qquad (1)$$

Դիցուք, լույսը օբյեկտիվից օկուլյար տարածությունն անցնում է t ժամանակամիջոցում. այդ դեպքում՝ AB=c.t, ուր c-ն լույսի տարածման արագությունն է։ Ինչպես ասացինք, այդ նույն ժամանակամիջոցում երկիրը A_1-ից տեղափոխվում է A։ Նշանակում է $A_1A=V.t$, ուր V-ն երկրի ուղեծրային արագությունն է (29,8 կմ/վրկ)։ AB-ի և A_1A-ի արժեքները տեղադրելով (1) հավասարության մեջ, կստանանք

$$\sin\gamma=\frac{V}{c}\sin\beta:$$

Նկատի ունենալով, որ γ-ն փոքր է, sinγ-ի փոխարեն կարելի է գրել $\gamma.\sin1''=\frac{\gamma}{206\,265}$: *Տեղադրելով նաև c-ի և V-ի արժեքները, կստանանք՝*

$$\frac{\gamma}{206\,265}=\frac{29{,}8}{300\,000}\sin\beta:$$

Այսպիսով, γ-ն վայրկյաններով մոտավորապես կարտահայտվի

$$\gamma=20''{,}5.\sin\beta$$

բանաձևով։ γ-ի արտահայտության մեջ t-ի բացակայությունն ասում է այն մասին, որ աբերացիայի մեծությունը անկախ է դիտակի երկարությունից։ 20″,5-ը կոչվում է աբերացիայի հաստատուն: *Դա փաստորեն աբերացիայի այն արժեքն է, որ ունենում է խավարածրի բևեռում գտնվող աստղը։*

Աստղերի դիրքերի թվացող մեկամյա պարբերություն ունեցող ինչպես պարալաքսային, այնպես էլ աբերացիոն փոփոխությունները ակնառու ցույց են տալիս, որ երկիրը պտտվում է Արեգակի շուրջը։

§ 50. Լուսնի ուղեծիրը

Լուսինը երկրի միակ բնական արբանյակն է, երկնային մարմիններից մեզ ամենամոտը։ Երկրի շուրջը այն պտտվում է 27,32 օրում՝ արևմուտքից-արևելք ուղղությամբ։ Նրա միջին հեռավորությունը երկրից հավասար է 384400 կմ: Բայց, քանի որ երկրի շուրջը պտույտը կատարվում է էլիպսական ուղեծրով, որի էքսցենտրիսիտետը հավասար է 1/18-ի, երկրամոտ կետում այդ հեռավորությունը 21000 կմ-ով միջինից փոքր է, իսկ երկրահեռ կետում այդ նույն չափով մեծ։

Լուսնի ուղեծրի կիզակետերից մեկում գտնվում է Երկիրը։ Երկրամոտ ու երկրահեռ կետերը միացնող ուղիղը կոչվում է ապսիդների գիծ։ Ուղեծրի պրոյեկցիան երկնոլորտի վրա խավարածրի հետ հատվում է երկու կետերում, որոնք կոչվում են լուսնահանգույցներ։ Դրանցից այն, որին հատելով Լուսինը տեղափոխվում է խավարածրից վերև (հյուսիսային կիսագնդի բնակիչների համար) կոչվում է վերելման հանգույց, մյուս հանգույցը (որը հատելով Լուսինը տեղափոխվում է խավարածրից ցած)՝ վայրիջման հանգույց։ Հանգույցները միացնող ուղիղը կոչվում է հանգուցագիծ։

Լուսնի ուղեծիրը ենթարկվում է բազմաթիվ խանգարումների. դրա համար էլ նրա շարժման օրինաչափությունների լրիվ լուսաբանումը երկնային մեխանիկայի դժվարագույն հարցերից մեկն է։ Նախ, փոփոխվում է ուղեծրի և խավարածրի հարթությունների կազմված անկյունը՝ 4°58′-ից 5°20′ սահմաններում, այսինքն՝ միջինում այն հավասար է 5°9′-ի։ Անընդհատ տեղափոխվում են ուղեծրի հանգույցները, լուսնի շարժմանն ընդառաջ՝ նրա յուրաքանչյուր պտույտի ընթացքում 1°,5-ով։ Այսինքն, հանգույցները խավարածրով մեկ շրջան են կատարում 18,6 տարում (6793 օր)։ Հակառակ ուղղությամբ պտտվում է ուղեծրի երկրամոտ կետը, լրիվ պտույտը կատարելով 8,9 տարում (3232 օր)։ Այդ փոփոխությունների շնորհիվ փոփոխվում է նաև Լուսնի հակումը՝ —28°36′-ից +28°36′ սահմաններում։

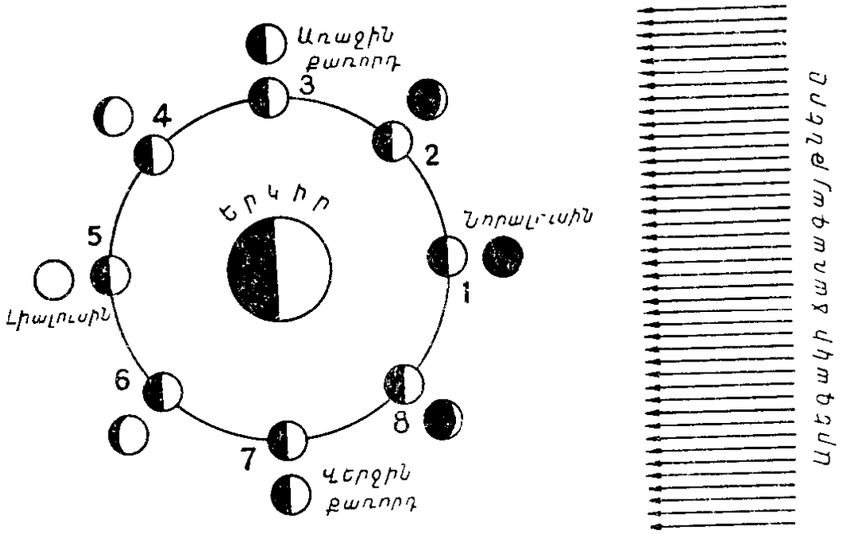
§ 51. Լուսնային ամիսներ

Աստղերի նկատմամբ Լուսնի դիրքի կրկնման պարբերությունը կոչվում է սիդերիկ (աստղային) ամիս։ Այն հավասար է 27,32 օրվա։ Լուսնի ամսական շարժման հետևանքով նա օրական տեղափոխվում է 360°:27,32=13°,2։ Քանի որ Արեգակն էլ է այդ նույն ուղղությամբ տեղափոխվում օրական գրեթե 1°-ով, ապա Լուսինը Արեգակի նկատմամբ օրական տեղափոխվում է 12°,2-ով և իր դիրքը Արեգակի նկատմամբ վերականգնում է 29,53 օրում (29 օր 12 ժամ 44 րոպե 2,9 վայրկյանում)։ Այդ ժամանակամիջոցը կոչվում է սինոդիկ (միացման) ամիս։

Երկրամոտ կետով Լուսնի երկու հաջորդական անցումների միջև ընկած ժամանակամիջոցը անվանվում է անոմալիստական ամիս։ Այն հավասար է 27,55 օրվա։ Նույն հանգույցով երկու հաջորդական անցումների ժամանակների տարբերությունն էլ անվանվում է վիշապային (դրակոնական) ամիս, որը հավասար է 27,22 օրվա։ Եվ վերջապես այն ժամանակամիջոցը, որի ընթացքում Լուսնի խավարածրային երկայնությունը մեծանում է 360°-ով, կոչվում է արևադարձային ամիս։ Դա էլ հավասար է 27,21 օրվա։

§ 52. Լուսնի փուլերը

Լուսինը սառած մարմին է և իր սեփական լույսը չունի. դրա համար էլ Արեգակի ճառագայթները լուսավորում են նրա մակերևույթի միայն կեսը (որը տվյալ պահին ուղղված է դեպի Արեգակ)։ Երկրի շուրջը Լուսնի պտույտի հետևանքով երկրային դիտողի նկատմամբ փոփոխվում է Լուսնի լուսավոր մասի տեսքն ու մեծությունը, այսինքն՝ Լուսինը երևում է տարբեր փուլերով։ Նկ. 61-ում



Նկ. 61. Լուսնի փուլերի առաջացումը։

տրված է Լուսնի փուլերի առաջացման սխեման։ 1-ին դիրքում, երբ Լուսնի ու Արեգակի երկայնությունները նույնն են, դեպի Երկիր է ուղղված Լուսնի մութ մասը և այն բոլորովին չի երևում։ Այդ փուլը կոչվում է նորալուսին (նկարում համապատասխան դիրքերի կողքերին պատկերված են Լուսնի դիտվող տեսքերը)։ Դրանից 1—2 օր հետո Լուսնի սկավառակի աջ կողմում երևում է մանգաղաձև լուսավոր մահիկ։ Նորալուսնից մոտ մեկ շաբաթ հետո Լուսնի և Արեգակի երկայնությունները տարբերվում են 90°-ով։ Երկրից երևում է Լուսնի սկավառակի աջ կեսը։ Այդ փուլն էլ կոչվում է առաջին քառորդ։ Հետագա շաբաթում պայծառ մասը հետզհետե մեծանում է և շաբաթվա վերջում, երբ Լուսինը գտնվում է դիմակայության մեջ, դեպի Երկիր է ուղղված լինում նրա ամբողջ պայծառ երեսը, այսինքն՝ երևում է սկավառակի տեսքով։ Այդ փուլի՝ լիալուսնի, ժամանակ Լուսինը ծագում է արևամուտին (գտնվելով երկնոլորտի արևելյան մասում) և լուսավորում է ամբողջ գիշերվա ընթացքում։ Դրանից հետո Լուսինը արևմտյան մասից սկսում է հետզհետե մաշվել, մեկ շաբաթ հետո երևում է վերջին (կամ երրորդ) քառորդը,

իսկ հետո էլ երևում է մանգաղաձև և վերջապես տեսադաշտից անհետանում է։

Լուսնի փուլի միջոցով Արեգակի ուղղությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է տանել նրա սուր ծայրերը միացնող ուղղի հատվածի միջնուղղահայացը (դեպի սուր ծայրերի բացվածքի հակառակ ուղղությունը)։ Մահիկը կազմող կորերից այն, որն ուղղված է դեպի Արեգակ, որպես գնդի պրոյեկցիա, շրջանային աղեղ է։ Իսկ մյուս մասը, որպես շրջանագծի պրոյեկցիա՝ էլիպսական աղեղ (քառորդների դեպքում դառնալով ուղղի հատված)։

Նորալուսնից 1—2 օր հետո կամ առաջ, երբ Լուսնի պայծառ մասը երևում է շատ նեղ մանգաղի տեսքով, սկավառակի մնացած մասը՝ թույլ լուսավորված է։ Ըստ իր ունեցած գույնի այն անվանվում է մոխրագույն լույս։ Այդ երևույթին առաջին անգամ ճիշտ բացատրություն է տվել Լեոնարդո դա Վինչին (XV դ.)։ Բանը նրանումն է, որ Լուսնից դիտելիս տարբեր փուլերով է երևում նաև Երկիրը։ Այդ օրերին դեպի Լուսին է ուղղված լինում Երկրի լուսավոր ամբողջ սկավառակը։ Եվ որովհետև Երկրի չափերը ավելի մեծ են Լուսնի չափերից, ինչպես նաև մեծ է նրա վրա ընկած ճառագայթների անդրադարձման տոկոսը (ալբեդոն), Երկիրը մոտ 80 անգամ ավելի պայծառ լույսով է լուսավորում Լուսնին, քան մեր ստացած լույսը լիալուսնից։ Լիաերկրի հենց այդ լույսն է, որ լուսավորում է Լուսնի մութ մասը և այն դարձնում տեսանելի։

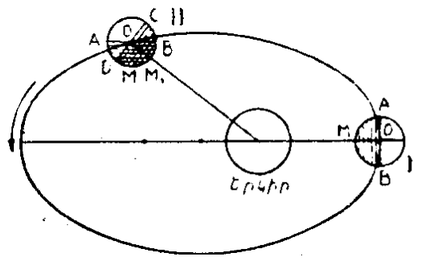
§ 53. Լուսնի պտույտը և ճոճումները (լիբրացիաներ)

Լուսնի պտտման առանցքն իր ուղեծրի հարթությանն ուղղահայաց չէ, այլ ուղղահայացի նկատմամբ թեքված է 6°39′-ով։ Բացի այդ, Լուսնի ուղեծրի հարթությունը խավարածրի հարթության նկատմամբ թեքված է 5°9′-ով։ Հետաքրքրական է, որ Լուսնի հասարակածի, ուղեծրի և խավարածրի հարթությունները հատվում են միևնույն ուղղով։ Այդ օրինաչափությունը հայտնաբերել է Կասսինին (1721 թ.) և նրա անվամբ էլ կոչվում է **Կասսինիի օրենք**:

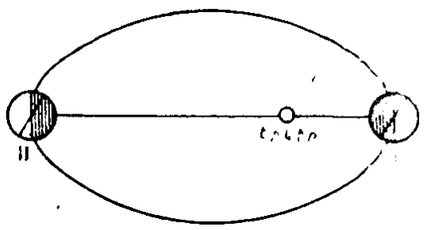
Լուսինն իր առանցքի և Երկրի շուրջը պտտվում է միևնույն ժամանակամիջոցում՝ 27,32 օրում. դրա համար էլ նրա մակերևույթի միշտ միևնույն երեսն է ուղղված դեպի Երկիր։ Թվում էր, որ երկրային դիտողը կարող էր կազմել լուսնային մակերևույթի միայն կես մասի քարտեզը։ Սակայն որոշ ճոճումների հետևանքով մենք հնարավորություն ենք ստանում 50 %-ի փոխարեն դիտել Լուսնի մակերևույթի 59 %-ը։ Լուսնային ճոճումները լինում են չորս տիպի՝ ըստ երկայնության, ըստ լայնության, պարալաքսային և ֆիզիկական։

1. Ճոճում ըստ երկայնության: *Տեղի է ունենում այն պատճառով, որ Լուսինն իր առանցքի շուրջը պտտվում է հաստատուն անկյունային արագությամբ, իսկ Երկրի շուրջը նրա պտույտը ենթարկվում է Կեպլերի երկրորդ օրենքին, այսինքն՝ էլիպսական ուղեծրի Երկրին մոտ մասերում նա շարժվում է արագ, հեռու մասերում՝ դանդաղ։*

I դիրքում երկրային դիտողը կտեսնի Լուսնի մակերևույթի AMB կեսը և տեսանելի մասի կենտրոնում կգտնվի M կետը (նկ. 62)։ Քառորդ աստղային ամիս անցնելուց հետո Լուսինը կտեղա-



Նկ. 62. Լուսնի ճոճումն ըստ երկայնության։



Նկ. 63. Լուսնի ճոճումն ըստ լայնության։

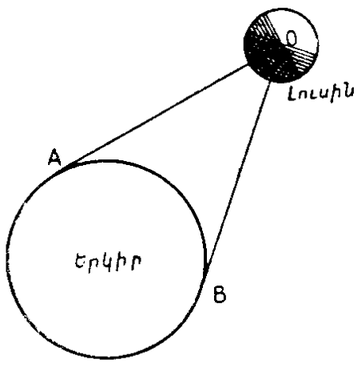
փոխվի իր ուղեծրի քառորդից ավելի ճանապարհ (II դիրք), բայց իր առանցքի շուրջը պտտված կլինի 90°-ով. այսինքն՝ OM-ն ուղղված կլինի նախկինում ունեցած դիրքին ուղղահայաց։ Դեպի երկրային դիտողը ուղղված կլինի OM_1 շառավիղը։ Այսինքն, Երկրից կերևա նրա DM_1C կեսը (որտեղ՝ $DC \perp OM_1$)։ Նշանակում է AOD մասի փոխարեն մենք այժմ կտեսնենք լրացուցիչ՝ COB մասը։ Համանման երևույթ տեղի կունենա նաև ուղեծրի մնացած մասերում։

Ըստ երկայնության ճոճումը ամենազգալին է և հավասար է 7°54′-ի։

2. Ճոճում ըստ լայնության: *Առաջանում է այն պատճառով, որ Լուսնի պտտման առանցքը տարածության մեջ մնում է ինքն իրեն զուգահեռ, ընդ որում այդ առանցքը ուղղահայաց չէ Լուսնային ուղեծրի հարթությանը։ Արդյունքը լինում է այն, որ Լուսինը մերթ մի կիսագնդով է թեքված լինում դեպի Երկիր, մերթ՝ մյուս։ Նկ. 63-ից երևում է, որ I և II դիրքերում երկրային դիտողը կտեսնի Լուսնի մակերևույթի որոշ չափով իրարից տարբերվող կեսեր։ Այդ ճոճման մեծությունը հավասար է 6°50′-ի։*

3. Պարալաքսային ճոճումն *առաջանում է այն պատճառով, որ Լուսինը միշտ չէ, որ գտնվում է ոչ շատ մեծ հեռավորության վրա.*

դրա համար էլ, երկրի մակերևույթի տարբեր դիրքերից դիտելիս, երևում են Լուսնի մակերևույթի իրարից փոքր-ինչ տարբերվող կեսեր (նկ. 64)։ Պարալաքսային ճոճումը հավասար է մոտ 1°-ի։



Նկ. 64. Լուսնի պարալաքսային ճոճումը։

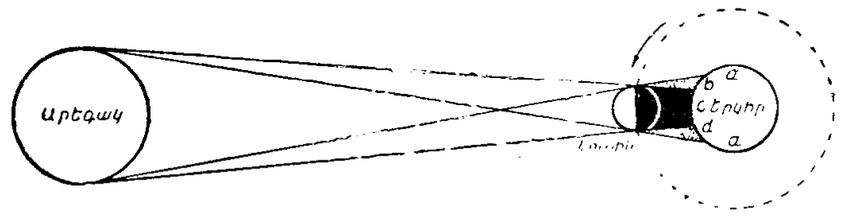
Նկարագրված երեք ճոճումներն էլ թվացող են, այսինքն՝ կապված չեն Լուսնի շարժման ընթացքում նրա ունեցած իրական ճոճումների հետ։ Դրա համար էլ այդ ճոճումներն անվանվում են օպտիկական։ Գոյություն ունի նաև ֆիզիկական ճոճում, երբ լուսնային առանցքը տատանվում է նրա միջին դիրքի շուրջը։ Պատճառն այն է, որ Լուսինը գնդաձև չէ, այլ նրա հասարակածային մասում դեպի մեզ և հակառակ ուղղությամբ ձգված է (ունի լրացուցիչ զանգվածներ)։ Ըստ երկայնության ճոճման պատճառով այդ լրացուցիչ զանգվածները պարբերաբար շեղվում են Լուսին—Երկիր ուղղությունից, իսկ Երկրի ձգողական ուժն էլ ձգտում է վերականգնել այդ ուղղությունը։

Ֆիզիկական ճոճման մեծությունը մյուսների համեմատությամբ փոքր է և կազմում է ընդամենը 2″։

§ 54. Արեգակի և Լուսնի խավարումները

Երկնային մարմինները մեկը մյուսին ծածկելու հետևանքով ամբողջությամբ կամ մասամբ ժամանակավորապես դադարում են երևալուց։ Նայած թե այդ երևույթը որ մարմինների նկատմամբ է տեղի ունենում, այն կոչվում է խավարում, անցում կամ ծածկում։ Այսպես, Երկրի շուրջը պտտվելիս, եթե Լուսինը ընկնում է Արեգակի ուղղությամբ ու նրան վարագուրում է կամ մտնում է Երկրի ստվերի մեջ, երևույթը կոչվում է խավարում։ Եթե Մերկուրին ու Վեներան են գտնվում ներքին միացման մեջ, երևույթն անվանվում է մոլորակի անցում Արեգակի սկավառակով։ Եվ վերջապես, եթե Լուսինը վարագուրում է աստղերին, և կամ թե աստղերը մեկը մյուսին, երևույթն անվանվում է ծածկում։ Այստեղ մենք կանգ կառնենք Արեգակի ու Լուսնի խավարումների վրա։

1. Արեգակի խավարումները։ Թե՛ Երկիրը և թե՛ Լուսինը իրենց սեփական լույսը չունեն, թափանցիկ չեն և իրենց չափերով փոքր են Արեգակից։ Դրա համար էլ Արեգակից լուսավորվելով, հակառակ ուղղությամբ ունենում են կոնաձև ստվերներ, շրջապատված կիսաստվերներով։ Այն դեպքում, երբ Արեգակը, Լուսինն ու Երկիրը մոտավորապես գտնվում են մի ուղղի վրա, Լուսնի ստվերն ընկնում է Երկրի վրա, այսինքն՝ Երկրի մակերևույթի որոշ մասերից դիտելիս Արեգակը ամբողջությամբ կամ մասամբ չի երևում. տեղի է ունենում Արեգակի խավարում։ Ակնհայտ է, որ Արեգակի խավարումը կլինի Լուսնի միացման դեպքում, այսինքն՝ նորալուսնի ժամանակ։ Նկ. 65-ում տրված է Արեգակի խավարման սխեման։ Տա-



Նկ. 65. Արեգակի խավարման սխեման։

նենք Արեգակի և Լուսնի սկավառակների ներքին և արտաքին շոշափողներ և տեսնենք թե այդ երևույթը ինչպես կդիտվի Երկրի մակերևույթի a, b, c և d դիրքերից։ Ինչպես երևում է սխեմայից, a դիրքից դիտողին Լուսինը չի խանգարում. Արեգակն ամբողջությամբ երևում է. այսինքն՝ այստեղ խավարում տեղի չի ունենա։ b դիրքում գտնվող դիտողը Արեգակի աջ մասը կտեսնի, իսկ ձախ մասը դիտելուն կխանգարի Լուսինը։ Այսինքն, b-ում կլինի մասնակի խավարում։ c-դիրքից Արեգակը (ամբողջապես ծածկված լինելով) չի երևա։ Երկրի այդ մասում կլինի լրիվ խավարում։ d դիրքում էլ կլինի մասնակի խավարում, միայն թե այժմ խավարած կլինի Արեգակի աջ մասը։

Լրիվ խավարման տիրույթը Երկրի վրա յուրաքանչյուր պահի լինում է շրջան, որին շրջապատում է մասնակի խավարման (ավելի մեծ չափերի) օղակ։ Սակայն Երկիրն իր առանցքի և Լուսինն էլ Երկրի շուրջը պտտվելով, լրիվ խավարման տիրույթը տեղափոխվում է Երկրի մակերևույթի վրայով, իսկ նրան զուգահեռ, երկու կողմերից, տեղափոխվում են մասնակի խավարման տիրույթները։ Այդ տիրույթների լայնությունը, ինչպես և խավարման տևողությունը կախված է Լուսնի ու Արեգակի մեզանից ունեցած հեռավորություններից, քանի որ դրանցից է կախված նրանց դիտվող անկյունային տրամագծերը։

Լրիվ խավարման տիրույթի լայնությունը հասնում է մինչև 300 կմ-ի, իսկ մասնակի խավարմանը՝ մինչև 7000 կմ։ Տվյալ վայրում լրիվ խավարումը, սովորաբար, տևում է 2—3 րոպե, իսկ առա-

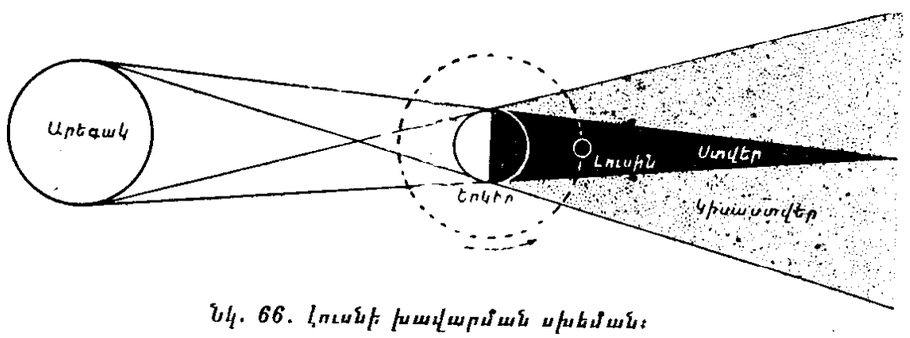
վելագույն տևողությունը 8 րոպե է։ Մասնակի խավարումը տևում է 2—3 ժամ։ Լրիվ խավարման տիրույթի տեղափոխվելը Երկրի մակերևույթի վրայով տևում է մինչև 3 ժամ, իսկ մասնակի խավարմանը՝ մինչև 5 ժամ։

Լրիվ խավարման դեպքում, եթե Լուսնի անկյունային տրամագիծը փոքր է լինում Արեգակի անկյունային տրամագծից, Լուսինն Արեգակի սկավառակը ամբողջապես ծածկել չի կարողանում և նրա շուրջը երևում է պայծառ օղակ։ Այդպիսի խավարումը կոչվում է օղակաձև։

Երկիրն իր առանցքի շուրջը պտտվում է ավելի արագ, քան Լուսինը Երկրի շուրջը։ Երկու պտույտն էլ տեղի է ունենում միևնույն ուղղությամբ։ Դրա համար էլ Լուսնի ազիմուտը փաստորեն մեծանում է (այսինքն՝ երկրային դիտողի նկատմամբ Լուսինը տեղափոխվում է դեպի արևմուտք), սակայն Լուսնի շարժումը տեղի է ունենում մեզանից զգալի հեռավորության վրա, դրա համար էլ նրա ստվերը Երկրի վրա տեղափոխվում է մեծ չափով, և փաստորեն խավարման տիրույթը Երկրի մակերևույթի վրայով սովորաբար շարժվում է դեպի արևելք։ Այդ նույն պատճառով էլ Արեգակի խավարումն սկսվում է նրա արևմտյան եզրից, հետզհետե տեղափոխվում է դեպի կենտրոն և ապա ձախ եզրը։ Այդ հաջորդականությամբ էլ տեղի է ունենում Արեգակը խավարումից դուրս գալու երևույթը։

Արեգակի խավարումների ժամանակ, հատկապես այն դեպքում, երբ Լուսինն ամբողջապես ծածկում է Արեգակի շլացուցիչ սկավառակը, հնարավոր է դառնում ուսումնասիրել նրան շրջապատող, համեմատաբար թույլ պայծառության արեգակնային մթնոլորտը։

2. Լուսնի խավարումները։ Այն դեպքում, երբ Արեգակի, Երկրի ու Լուսնի կենտրոնները գտնվում են գրեթե մի ուղղի վրա, Լուսինն ընկնում է Երկրի ստվերի մեջ, այսինքն՝ տեղի է ունենում Լուսնի խավարում (նկ. 66)։ Եթե Լուսինը ամբողջապես է ընկղմվում, խա-



Նկ. 66. Լուսնի խավարման սխեման։

վարումը կոչվում է լրիվ, իսկ այդ ստվերը մասամբ հատելու դեպքում՝ մասնակի խավարում։ Արեգակի դեպքին հակառակ, Լուսնի խավարման ժամանակ սկզբից խավարում է նրա սկավառակի ձախ մասը։

Ակնհայտ է, որ Լուսնի խավարումը կլինի նրա դիմակայության ժամանակ, այսինքն՝ միայն լիալուսնի դեպքում։ Քանի որ Երկրի չափսերը Լուսնի չափսերից մեծ են և նրանց հեռավորությունները Արեգակից գրեթե հավասար են, նշանակում է Երկրի գցած ստվերը կգրավի ավելի մեծ տարածություն, քան Լուսինը։ Դրանից էլ հետևում է, որ Լուսնի խավարումը կլինի ավելի տևական, քան Արեգակի խավարումը։ Խավարման դեպքում, եթե Լուսինը գտնվում է լուսահանդույցներից մեկում, խավարումը լինում է ամենատևականը՝ $3^3/_4$ ժամ, որից լրիվ խավարումը՝ $1^3/_4$ ժամ։ Մյուս դեպքերում խավարումները լինում են ավելի կարճատև։

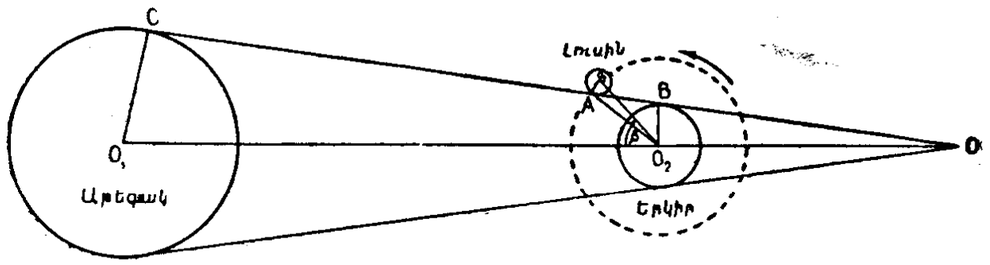
Քանի որ Լուսինն իր սեփական լույսը չունի, ինչում է, որ լրիվ խավարման ժամանակ այն պետք է չերևար։ Սակայն իրականում Լուսինը երևում է դեղնա-կարմրավուն գույնի։ Պատճառն այն է, որ Երկրի մթնոլորտի վերին շերտում Արեգակի կարճալիք ճառագայթները գրեթե ամբողջապես կլանվում են, իսկ համեմատաբար երկարալիքները բեկվում են, շեղում իրենց ճանապարհը և լուսավորում Լուսինը։

Դրա համար էլ Լուսնի խավարումների ժամանակ, նրա գույնի հետազոտմամբ, ուսումնասիրում են մեր մթնոլորտի վերին շերտերի կառուցվածքն ու նրանցում կատարվող որոշ երևույթներ։

3. Արեգակի ու լուսնի խավարումների անհրաժեշտ ու բավարար պայմանները։ Խավարումների թիվը մեկ տարում։ Եթե նորալուսնի ու լիալուսնի ժամանակ Լուսինը գտնվի հանգույցներում, ապա Արեգակի, Լուսնի ու Երկրի կենտրոնները կգտնվեն մի ուղղի վրա (խավարածրի հարթության մեջ), ուստի և տեղի կունենան խավարումներ։ Քանի որ այդ երեք մարմիններն էլ կետային չեն, ապա խավարումներ տեղի կունենան նաև այն դեպքերում, եթե Լուսինը այդ պահերին լուսնահանդույցներից գտնվի որոշ հեռավորության վրա։ Որոշենք հանգույցներից Լուսնի ունեցած անկյունային հեռավորության այն միջակայքերը, որոնց դեպքերում, նորալուսնի ու լիալուսնի ժամանակ, համապատասխանորեն տեղի կունենան Արեգակի ու Լուսնի խավարումներ։

Դիցուք, Լուսնի խավարածրային լայնությունը նորալուսնի ժամանակ հավասար է β-ի։ Արեգակի խավարում լինելու համար Լուսնի սկավառակի եզրը պետք է խանգարի Արեգակի լույսն ընկնելու Երկրի վրա։ Դա տեղի կունենա, եթե Լուսնի սկավառակը շոշափի կամ հատի Արեգակի ու Երկրի արտաքին շոշափողը։ Նկ. 67-ից երևում է, որ

$$\beta = \angle O_3 O_2 A + \angle A O_2 O_1,$$



Նկ. 67. Լուսնի դիրքը Արեգակի խավարումը սկսվելու պահին։

բայց $\angle AO_2O_1$-*ը, որպես* AO_2O *եռանկյան արտաքին անկյուն, հավասար է* $\angle BAO_2 + \angle O_2OB$: *Իսկ* $\angle O_2OB = \angle BCO_1 - \angle BO_1O_2$:
Տեղադրելով այդ արժեքները, կստանանք՝

$$\beta = \angle O_3O_2A + \angle BAO_2 + \angle BCO_1 - \angle BO_1O_2;$$

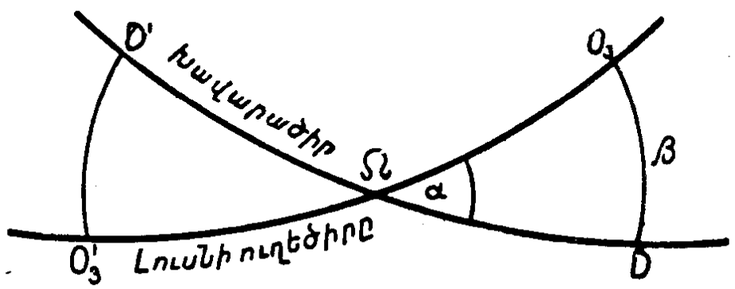
$\angle O_3O_2A$-*ն Լուսնի անկյունային շառավիղն է* ($\rho_{L.}$)։ $\angle BAO_2$-*ը՝ Լուսնի պարալաքսը* ($P_{L.}$), $\angle BCO_1$-*ը՝ Արեգակի անկյունային շառավիղը* ($\rho_{U.}$) *և* $\angle BO_1O_2$-*ը՝ Արեգակի պարալաքսը* ($P_{U.}$). *Այսինքն՝*

$$\beta = \rho_{L.} + P_{L.} + \rho_{U.} - P_{U.}:$$

Հավասարության աջ մասի մեծությունները հայտնի են. տեղադրելով, կստանանք՝

$$\beta = 15',5 + 57',0 + 16',3 - 8'',8 = 1°28'41'':$$

Խավարման համար այդպիսի տարմանային դեպք կունենայինք նաև β-*ի բացասական արժեքի դեպքում: Այսպիսով, Արեգակի խավարում տեղի կունենա, եթե նորալուսնի ժամանակ նրա երկրակենտրոն լայնությունը բավարարի* $|\beta| < 1°28'41''$ *անհավասարությանը:*



Նկ. 68. Արեգակը խավարելու դեպքին։

Նկ. 68-ից որոշենք β-*ի այդ արժեքներին հանգույցից Լուսնի ունեցած համապատասխան երկայնությունը: Նկարում* $O_3D = D'O_3' = \beta$, α-*ն՝ Լուսնի ուղեծրով և խավարածրով կազմված անկյունն է,* Ω-*ն՝ վերելման հանգույցը:* $O_3\Omega D$ *սֆերիկ եռանկյունուց*

$$\cos(90° - \Omega D) = \operatorname{ctg}\alpha \cdot \operatorname{ctg}(90° - \beta),$$

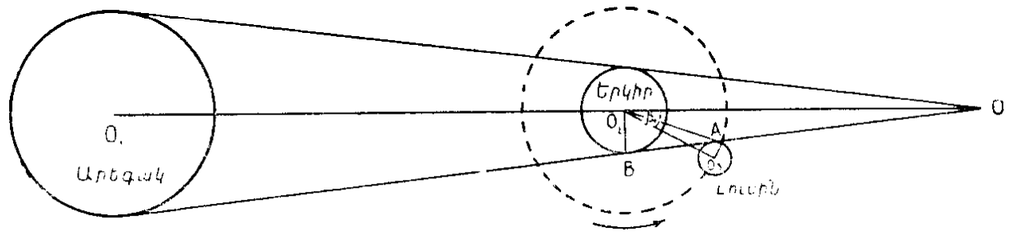
կամ՝

$$\sin \Omega D = \operatorname{ctg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta:$$

Տեղադրելով $\alpha = 5°9'$, $\beta = 1°28'41''$, *կստանանք* $\Omega E = 16°42'$: *Դրա կրկնակին կլինի* $33°22'$:

Քանի որ Արեգակը օրական միջին հաշվով անցնում է $1°$, *նշանակում է* $33°22'$ *կանցնի ավելի քան 33 օր ժամանակամիջոցում, որը ավելի է սինոդիկ ամսվա տևողությունից: Այսինքն, այդ ժամանակամիջոցում կլինի առնվազն մեկ և ամենաշատը երկու նորալուսին, և այդ գոտում կլինեն Արեգակի մեկ կամ երկու խավարումներ: Նույնքան խավարում կլինի նաև մյուս հանգույցի շրջակայքում: Այսպիսով, մեկ տարվա ընթացքում կլինի Արեգակի առնվազն 2 խավարում. հնարավոր են նաև երեք կամ չորս խավարումներ:*

Այժմ համանման հաշվարկներ կատարենք Լուսնի խավարումների վերաբերյալ:



Նկ. 69. Լուսնի դիրքը նրա խավարումը սկսվելու պահին։

Լուսնի խավարածրային լայնությունը, երբ նա շոշափում է երկրի ստվերը, նշանակենք β_1-*ով (նկ. 69): Նկարից երևում է, որ*

$$\beta_1 = \angle OO_2A + \angle AO_2O_3 = (\angle O_2AB - \angle O_2OA) +$$
$$+ \angle AO_2O_3 = [\angle O_2AB - (\angle O_1O_2C - \angle O_2CB)] + \angle AO_2O_3:$$

Մյուս կողմից էլ $\angle O_2AB$-*ն Լուսնի և* O_2CB-*ն Արեգակի պարալաքսներն են, իսկ* $\angle O_1O_2C$-*ն և* $\angle AO_2O_3$-*ն էլ՝ համապատասխանորեն Արեգակի ու Լուսնի անկյունային շառավիղները: Այսինքն՝*

$$\beta_1 = P_{L.} - \rho_{U.} + P_{U.} + \rho_{L.}:$$

Տեղադրելով աջ մասի մեծությունների արժեքները, կստանանք՝

$$\beta_1 = 57',0 - 16',3 + 8'',8 + 15',5 = 56'\ 7'',6:$$

Հաշվի առնելով նաև β_1-*ի բացասական արժեքը, կստանանք, որ լիալուսնի ժամանակ Լուսնի խավարում տեղի կունենա, եթե նրա խավարածրային լայնությունը բավարարի* $|\beta_1| < 56'7''$, U_6 *անհավասարությանը:*

$$\cos(90° - \Omega D) = \operatorname{ctg}\alpha \cdot \operatorname{ctg}(90° - \beta_1)$$

բանաձևում տեղադրելով α-*ի և* β_1-*ի արժեքները, կստանանք* $\Omega D \approx 10,°5$: *Դրա կրկնակին էլ կլինի* 21^0:

Խավարածրի 21^0 *աղեղը Արեգակն անցնում է մոտ 21 օրում, որը սինոդիկ ամսվա տևողությունից զգալիորեն փոքր է: Նշանակում է այդ ժամանակամիջոցում կարող է լիալուսին չլինել, իսկ լինելու դեպքում էլ՝ միայն մեկը: Այսինքն, այդ գոտում կամ խավարում չի լինի, կամ կլինի Լուսնի միայն մեկ խավարում: Նույնը կարելի է ասել նաև խավարման մյուս գոտու համար: Այսպիսով, մեկ տարվա ընթացքում կլինի Լուսնի ամենաշատը երկու խավարում: Հնարավոր է նաև, որ այդ տարում լինի միայն մեկ խավարում կամ թե Լուսնի խավարում բոլորովին չլինի:*

4. Խավարումների կրկնման պարբերությունը: Ինչպես տեսանք, խավարումներ տեղի ունենալ կամ չունենալը կախված է Լուսնի փուլից, ինչպես նաև որոշակի փուլերի ժամանակ հանգույցից Լուսնի ունեցած անկյունային հեռավորությունից: Դա նշանակում է, որ խավարումների կրկնման պարբերությունը պետք է լինի մի այնպիսի ժամանակահատված, որի մեջ մտնեն ամբողջ թվով սինոդիկ ու դրակոնական ամիսներ, ինչպես նաև դրակոնական տարիներ: Հաշվումները ցույց են տալիս, որ այն հավասար է 6585,321 օրվա կամ 18 տարի $11^1/_3$, կամ $10^1/_3$, հազվադեպ էլ $12^1/_3$ օրվա, կախված այդ ընթացքում եղած նահանջ տարիների թվից (4,5 կամ 3)։ Եվ իրոք, այդ ժամանակահատվածին են գրեթե հավասար 223 սինոդիկ ամիսը, 242 դրակոնական ամիսը և 19 դրակոնական տարին՝

$$223.29{,}53 \text{ օր} = 6585{,}32 \text{ օր},$$
$$242.27{,}22 \text{ օր} = 6585{,}36 \text{ օր},$$
$$19.346{,}62 \text{ օր} = 6585{,}78 \text{ օր}:$$

Խավարումների գրառումների համադրությամբ, հին քաբելական աստղագետները որոշեցին այդ պարբերաշրջանը և անվանեցին Սարոս («կրկնում» բառից)։ Մեկ Սարոսի ընթացքում տեղի են ունենում 70 խավարումներ, որոնցից 41-ը՝ Արեգակի և 29-ը՝ Լուսնի։ Այդ 70-ական խավարումները նույն հաջորդականությամբ կրկնվում են հաջորդ սարոսների ընթացքում։ Բայց որովհետև վերևում բերված արտադրյալները փոքր-ինչ իրարից տարբերվում են, որոշ չափով փոփոխության են ենթարկվում նաև խավարումների պահերը, տևողությունները և հատկապես տեսանելիության պայմանները։ Այնպես որ, մեկ Սարոսի ընթացքում 70 խավարումներ լինում են ամբողջ աշխարհում։ Տվյալ վայրից դիտվում են շատ ավելի քիչ քանակությամբ։ Մասնավորապես Արեգակի լրիվ խավարում տվյալ վայրից դիտվում է 200—300 տարին մեկ։

Չնայած Արեգակի խավարումները մոտ 1,5 անգամ շատ են Լուսնի խավարումներից, տվյալ վայրից Լուսնի խավարումներն ավելի հաճախ են դիտվում, քան Արեգակի խավարումները։ Պատճառն այն է, որ Արեգակի խավարումը դիտվում է Երկրի մակերևույթի մի նեղ շերտից, այնինչ Լուսնի խավարումը կարող են դիտել Երկրի մակերևույթի կես (գիշերային) մասից։

1977—1980 թթ. Արեգակի լրիվ խավարումներ կլինեն. 1977 թ. հոկտեմբերի 13-ին, 1979 թ. փետրվարի 26-ին և 1980 թ. փետրվարի 16-ին. ընդ որում դրանցից ոչ մեկը Սովետական Միության տարածքից չի երևա։ Այդ նույն ժամանակամիջոցում Լուսնի լրիվ խավարումներ կլինեն 1978 թ. մարտի 24-ին և սեպտեմբերի 16-ին, ինչպես նաև՝ 1979 թ. սեպտեմբերի 6-ին։ Դրանցից Սովետական Միության եվրոպական մասից հնարավոր է դիտել միայն առաջին երկուսը։

Գլուխ VI

ԱՐԵԳԱԿՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒԹՅԱՆ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒՅԹԸ

§ 55. Մերկուրի (Փայլածու)

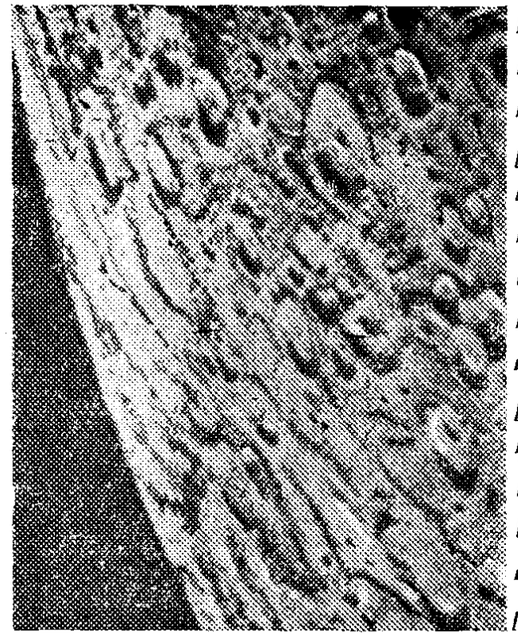
Մերկուրին կամ Փայլածուն, ինչպես մի ժամանակ անվանում էին հայերը, Արեգակին ամենամոտ մոլորակն է. նրա շուրջը պտտվում է 88 երկրային օրում։ Միջին հեռավորությունը Արեգակից հավասար է 58 մլն կմ-ի։ Ուղեծիրը զգալիորեն ձգված է (էքսցենտրիսիտետը հավասար է 0,2-ի) և Մերկուրու հեռավորությունը Արեգակից փոփոխվում է 46 մլն կմ-ից 70 մլն կմ սահմաններում։ Մեծ ինտերվալում է փոփոխվում նաև նրա հեռավորությունը Երկրից՝ 82 մլն կմ-ից մինչև 217 մլն կմ: Մերկուրու ուղեծրի հարթությունը խավարածրի հարթության նկատմամբ թեքված է 7°-ով։ Մերկուրին Արեգակից շատ չի հեռանում։ Նրա առավելագույն անկյունային հեռավորությունը (էլոնգացիան) հավասար է 29°-ի։ Դրա համար էլ Մերկուրու դիտումները կապված են մեծ դժվարությունների հետ, քանի որ այն մեծ մասամբ կորչում է արևի շողերի մեջ։ Մերկուրուն, սովորաբար, դիտում են առավելագույն էլոնգացիաների ժամանակ՝ արևամուտից հետո կամ արևածագից առաջ։

Առավելագույն պայծառության դեպքում Մերկուրին երևում է առաջին աստղային մեծության։ Լուսնի նման այն երևում է փուլերով։ Դիտվող սկավառակի անկյունային տրամագիծը կախված է մեզանից ունեցած հեռավորությունից. ընդ որում, մոտ դիրքում կամ բոլորովին չի երևում, կամ երևում է մանրագաձև։ Այս հանգամանքը ևս խոչընդոտում է դիտումներին։

Մերկուրու շառավիղը 2437 կմ է, այսինքն՝ նա գրեթե Լուսնի չափ է։ Զանգվածն էլ կազմում է Երկրի զանգվածի 20-րդ մասը, իսկ ձգողական ուժը երկրայինից փոքր է 2,6 անգամով։ Մերկուրին անդրադարձնում է իր վրա ընկած լույսի միայն 7%-ը։ Իր առանցքի շուրջը պտտվում է 59 օրում, հյուսիսային բևեռից նայելիս արևմուտքից-արևելք ուղղությամբ. ընդ որում պտտման առանցքը

ուղեծրի հարթության ուղղահայացից թեքված է 7°-ով։ Ստացվում է, որ մերկուրյան օրը նրա տարուց երկու անգամ երկար է։

Մերկուրու վրա նկատվել են որոշ գազեր, մասնավորապես հելիում, որը, հավանաբար, առաջացել է արեգակնային քամուց[15]։



Նկ. 70. Մերկուրու մակերևույթի հյուսիսային տիրույթը (լուսանկարված է 77200 կիլոմետրից)։

Մթնոլորտային ճնշումը նրա մակերևույթի վրա կես միլիարդ անգամ փոքր է Երկրի մակերևույթին առընթեր մթնոլորտային շերտերի ճնշումից։ Հելիումը մյուս գազերի հետ համեմատած ամենատարածվածն է, սակայն մակերևույթի յուրաքանչյուր քառակուսի սանտիմետրի վրա հենվող սյունում ընդամենը $4 \cdot 10^{14}$ հելիումի մոլեկուլ է պարունակվում։ Նման խտության գազը երկրային լաբորատորիաներում կհամարվեր խոր վակուում։ Այսպիսով, Մերկուրին գործնականորեն մթնոլորտ չունի։ Այդ բանը պայմանավորված է պարաբոլական արագության փոքրությամբ (այն արագության, որին հավասար կամ նրանից մեծ արագությամբ օժտված մարմինները կհաղթահարեին մոլորակի ձգողական դաշտը և մեկընդմիշտ կհեռանային), որը Մերկուրու համար ընդամենը 4,3 կմ/վրկ է։ Մթնոլորտի աննշան լինելով է պայմանավորված ջերմաստիճանների մեծ տարբերությունը Մերկուրու ցերեկային ու գիշերային մասերում։ Կեսօրին միջին հաշվով լինում է 345°C (արևամոտ կետում դրանից բարձր է 70°-ով, իսկ արևահեռ կետում՝ նույնքանով ցածր)։

Ավտոմատ կայաններով մոտ տարածությունից լուսանկարվել է Մերկուրու մակերևույթի ավելի քան $^1/_3$ մասը։ Նրա մակերևույթը շատ նման է Լուսնի մակերևույթին։ Կան «ծովեր», այսինքն՝ մակերևույթի խոր ընկած հարթավայրեր, խառնարաններ, սակայն ավելի փոքր խորության են, քան Լուսնինը։ 14 կմ-ից մեծ չափերի խառնարանները, որպես կանոն, ունեն կենտրոնական թմբեր և նրանց շրջանաձև հողաթմբի ներքին մասը ավելի տափարակ է։ Նման խառնարաններ, միայն 50 կմ-ից մեծ չափերի, կան Լուսնի վրա։ Մերկուրու վրա հաճախ են պատահում համակենտրոն կրկնակի խառնարաններ։ Նկատվում են նաև 3 կմ բարձրության և հարյուրավոր կիլոմետրեր ձգվող հսկայական ժայռախորշեր։

Եթե ընդունենք, որ Լուսինն ու Մերկուրին ունեն նույն կառուցվածքային առանձնահատկությունները (և հաշվի առնենք այն հանգամանքը, որ Մերկուրու միջին խտությունը բավականին մեծ է 5,44 գր/սմ^3, այսինքն՝ գրեթե երկրայինի չափ), ապա կարելի է ենթադրել, որ այն ապրում է նյութի քիմիական տարրաբաժանման դարաշրջանը։ Հավանաբար նրա 500—600 կմ հաստության կեղևը սիլիկատային է, իսկ ծավալի մնացած կեսը կազմում է երկաթային կորիզը։

Մերկուրին ունի փոքր հզորության մագնիսական դաշտ։ Հասարակածում նրա լարվածությունը $35 \cdot 10^{-4}$ էրստեդ է, իսկ բևեռներում՝ 70.10^{-4} էրստեդ։ Դիպոլի առանցքը մոլորակի պտտման առանցքի նկատմամբ թեքված է 7°-ով։

Մերկուրին արբանյակ չունի։

§ 56. Վեներա (Արուսյակ)

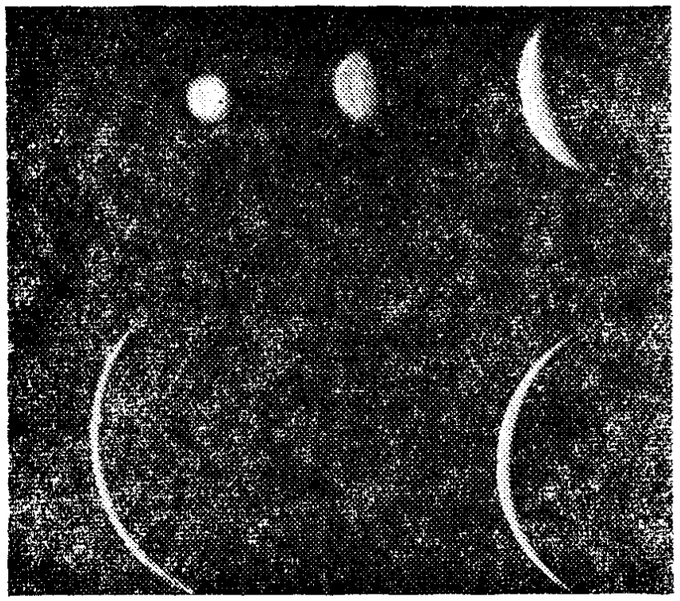
Վեներան Երկրին ամենաշատ մոտեցող մոլորակն է, սակայն երկու հանգամանք խոչընդոտում են նրա դիտումները։ Նախ, լինելով ներքին մոլորակ, մեզ համեմատաբար մոտ գտնվելու դեպքում դեպի Երկիր է ուղղված լինում նրա գիշերային մասը, այնուհետև նրա խիտ մթնոլորտով պատած լինելը։ Այդ էր պատճառը, որ Վեներայի հետ կապված բազմաթիվ հարցեր երկար ժամանակ մնում էին չլուծված։ Նույնիսկ հայտնի չէր նրա առանցքային պտտման պարբերությունը։

1961 թվականից տիեզերական հրթիռներ ուղարկվեցին դեպի Վեներա։ Նրա շուրջը պտտվում են արհեստական արբանյակներ։ Մակերևույթի վրա փափուկ վայրէջք կատարեցին սովետական ավտոմատ կայանները։ Հաղորդվեցին բազմաթիվ նոր տվյալներ մթնոլորտի բաղադրության, նրանում կատարվող երևույթների և մակերևույթի բնույթի վերաբերյալ։

Վեներան, Մերկուրու նման, երևում է արևածագից առաջ կամ արևամուտից հետո, սակայն նրա առավելագույն էլոնգացիան հա-

[15] Արեգակի արտաքին շերտերից (արևապսակից) մշտապես տեղի է ունենում պլազմայի հոսք, որի շարժման արագությունը Արեգակից ունեցած հեռավորության հետ աճում է։ Երկրի հեռավորության վրա այն հասնում է 300—400 կմ/վրկ։ Արևապսակի այդ ընդարձակվելը միջմոլորակային տարածությունում անվանվում է արեգակնային քամի։

վասար է 48°-ի։ Արեգակից գտնվում է շուրջ 108,1 մլն կմ հեռավորության վրա։ Պտտվում է փոքր ձգվածության էլիպսով՝ 225 երկրային օր պարբերությամբ։ Երկրից նրա հեռավորությունը փոփոխվում է 40 մլն կմ-ից 257,6 մլն կմ սահմաններում։ Երևում է փուլերով։ Մոլորակի սկավառակի անկյունային տրամագիծը կախված է փուլի մեծությունից (նկ. 71)։ Նեղ՝ մանգաղաձև, երևալիս նրա անկյունային տրամագիծը լինում է մեծ, իսկ մեծ փուլերի դեպ-



Նկ. 71. Վեներայի փուլերը։

քում՝ փոքր։ Արեգակին ավելի մոտ գտնվելով, երկու անգամ ավելի շատ ջերմություն և լույս է ստանում, քան Երկիրը։ Անդրադարձնում է ստացած լույսի 70%-ը, որի հետևանքով էլ նա երևում է բավականին պայծառ (—3-ից —4 աստղային մեծության)։

Վեներան իր զանգվածով ու չափերով գրեթե Երկրի չափ է։ Նրա տրամագիծը 12112 կմ է, այսինքն՝ 4—5%-ով փոքր է Երկրի տրամագծից. զանգվածն էլ հավասար է Երկրի զանգվածի 0,81 մասին։ Իր առանցքի շուրջը Վեներան պտտվում է 243,2 երկրային օրում՝ հակառակ ուղղությամբ (հյուսիսային բևեռից նայելիս ժամացույցի սլաքի պտտման ուղղությամբ)։ Գիշերը և ցերեկը տևում են երկրային երկուական ամիս։ Պտտման առանցքը գրեթե ուղղահայաց է ուղեծրի հարթությանը, հետևաբար Վեներայի վրա տարվա եղանակների փոփոխություններ տեղի չեն ունենում։

1761 թ. Արեգակի սկավառակով Վեներայի անցման ժամանակ կատարած ուսումնասիրությունից Մ. Վ. Լոմոնոսովը եզրակացրեց,

որ նա պատած է մթնոլորտով։ Մթնոլորտի գոյությամբ է բացատրվում նաև այն, որ նեղ մանգաղաձև փուլի դեպքում առաջանում է նշմարելի լուսավոր օղակ։ Հետագայում պարզվեց, որ Վեներան պատած է համեմատաբար բարակ՝ 50—60 կմ հաստության շերտով, սակայն այն շատ խիտ է։ Բավական է ասել, որ մակերևույթին առընթեր շերտերում մթնոլորտային ճնշումը հասնում է շուրջ 100 մթնոլորտի։

Նկ. 72. Վեներա (լուսանկարված է 726000 կիլոմետրից)։

Վեներայի մթնոլորտը հիմնականում կազմված է ածխաթթու գազից (97%) և ազոտից (2%)։ Թթվածինը 0,1 % է, իսկ ջրային գոլորշիները կազմում են նրա ոչ ավելի քան 0,05 %-ը։ Թեև Վեներայի մթնոլորտի ու մակերևույթի կլանման ու անդրադարձման ընդունակությունները լինելին երկրայինի նման, միջին ջերմաստիճանը կլիներ շուրջ 50°C. այնինչ այն հավասար է 470°C-ի։ Ենթադրվում է, որ Վեներայի մթնոլորտն ունի «ջերմոցային» հատկություն (Արեգակի լույսը, նրա մթնոլորտով անցնելիս, մասնակիորեն կլանվում է, մնացածը հասնում է ու տաքացնում մակերևույթը։ Այնուհետև մակերևույթի կողմից վերաճառագայթվում են առավելապես մեծ երկարության (ջերմային) ալիքներ, որոնց համար մթնոլորտը գրեթե անթափանցիկ է)։ Այստեղ, անկասկած, ջրային գեր կարող էր խաղալ ածխաթթվի առատությունը։

Վեներայի մթնոլորտում նկատվում են ամպեր, որոնք կազմում են ամբողջ մթնոլորտի զանգվածի հազարերորդ մասը։ Սրանց բնույթը դեռևս լրիվ պարզված չէ։ Ենթադրվում է, որ դրանք կազմված են ամոնիակի միացություններից։

Մթնոլորտում փչում են քամիներ, որոնց ուժգնությունը մակերևույթից ունեցած բարձրության հետ մեծանում է։ Թեև ստորին շերտերում դրանց արագությունը 1—2 մ/վրկ է, 45 կմ բարձրության վրա՝ 50 մ/վրկ, ապա վերին շերտերում այն հասնում է մինչև 100 մ/վրկ-ի։ Քամիների ու մեծ խտության մթնոլորտի պատ-

ճառով ջերմաստիճանը Վեներայի ցերեկային ու գիշերային մասերում գրեթե միևնույնն է։

Ինչպես ցույց տվեցին «Վեներա—9» և «Վեներա—10» ավտոմատ կայանների լուսանկարները, մակերևույթի այդ մասը քարքարոտ է։ Ռադիոիմպուլսների անդրադարձման բնույթով որոշվել է Վեներայի մակերևույթի խտությունը։ Այն հավասար է 1,5 գ/սմ^3-ի։ Ավտոմատ կայանի իջեցման վայրում նյութի 4 %-ը եղել է կալիում, $2 \cdot 10^{-5}$ %-ը՝ ուրան և $6{,}5 \cdot 10^{-5}$ %-ը՝ թորիում։ Այդպիսի պարունակությունը հիշեցնում է երկրային գրանիտի տիպի օքսիդացած ապարները։

Վեներա ուղարկված ավտոմատ կայանում տեղավորված չափիչ սարքերը չգրանցեցին մագնիսական երևույթներ։ Դա նշանակում է, որ եթե Վեներան նույնիսկ այդպիսի դաշտ ունենա էլ, նրա աստիճանը առնվազն տաս հազար անգամ փոքր կլինի երկրայինից։ Վեներայի մթնոլորտում նկատվել է իոնոլորտային շատ նեղ շերտ, ընդ որում ցերեկային մասի էլեկտրոնային խտացման առավելագույն արժեքը 10^5 սմ$^{-3}$-ից չի անցնում, իսկ գիշերային մասում դրանից էլ փոքր է։ Այսինքն, կարելի է ընդունել, որ Վեներայի մթնոլորտում գործնականորեն բացակայում է իոնոլորտային շերտը։ Վեներան չի պարուրված նաև ճառագայթային գոտիներով։

Վեներան արբանյակ չունի։

§ 57. Երկիր, Լուսին

1. Երկրի ընդհանուր տվյալները։ Արեգակից ունեցած իր հեռավորությամբ Երկիրը երրորդ մոլորակն է։ Ինչպես տեսանք, նրա միջին հեռավորությունը Արեգակից հավասար է 149,6 մլն կմ-ի։ Մեկ լրիվ պտույտն իր առանցքի շուրջը նա կատարում է 23 ժամ 56 րոպեում, իսկ Արեգակի շուրջը՝ մեկ տարում։ Նրա զանգվածը հավասար է $6 \cdot 10^{72}$ գ։

Երկրի մթնոլորտն ունի շուրջ 3000 կմ հաստություն, որը ավելի քան երկու անգամ փոքր է Երկրի շառավղից։ Սակայն մթնոլորտի գրաված ծավալը Երկրի պինդ մասի ծավալից մեծ է մոտ երկու անգամ։ Մթնոլորտի զանգվածը հավասար է $5 \cdot 10^{20}$ գ (այն որոշվում է Երկրի մակերեսը բազմապատկելով մակերևույթի յուրաքանչյուր քառակուսի միավորի վրա ունեցած ճնշման չափով՝ 1 սմ^2 վրա մոտ 1 կգ)։

Երկիրն ունի մեկ բնական արբանյակ. դա Լուսինն է։ Սովորաբար արբանյակներն իրենց զանգվածով ու չափերով մայր մոլորակների համեմատությամբ արհամարհելիորեն փոքր են։ Այդ տեսակետից Լուսինը բացառություն է կազմում։ Դրա համար էլ Երկրին երբեմն համարում են կրկնակի մոլորակ։

2. Լուսնի ընդհանուր տվյալները։ Լուսնի մակերևույթը։ Լուսնի շառավիղը (1740 կմ) կազմում է Երկրի շառավղի 0,27 մասը. նրա զանգվածը՝ 81,3, ձգողական ուժի արագացումը մակերևույթի վրա՝ 6, միջին խտությունը 1,5 անգամ փոքր են Երկրի համապատասխան մեծություններից։

Լուսնի ու Արեգակի լույսի սպեկտրներն իրարից չեն տարբերվում, աստղերը ծածկելու պահին՝ նախքան նրանց անհետանալը աստղերի փայլի ու գույնի փոփոխություններ տեղի չեն ունենում. Լուսնի վրա բացակայում են մթնշաղի ու աղջամուղջի երևույթները։ Այս փաստերը վկայում են, որ Լուսինը զուրկ է մթնոլորտից։

Եթե Լուսինը ինչ-որ ժամանակ պատած լիներ մթնոլորտով, ապա այն շատ արագ կցրվեր միջմոլորակային տարածության մեջ, քանի որ փոքր ձգողական ուժի շնորհիվ նրա վրա պարաբոլական արագությունը հավասար է 2,4 կմ/վրկ, որը զգալիորեն փոքր է գազերի մասնիկների շարժման արագությունից։

Լուսինը անդրադարձնում է իր վրա ընկած լույսի մոտ 6 %-ը, իսկ մնացածը կլանում է։ Մթնոլորտի բացակայության պատճառով, ցերեկային ու գիշերային ջերմաստիճաններն իրարից բավականին տարբերվում են։ Ցերեկը՝ կեսօրին նրա մակերևութային ջերմաստիճանը բարձրանում է մինչև +120°C, գիշերը իջնում է մինչև —160°C։ Գիշերվա ու ցերեկվա տևողությունները հավասար են երկուական շաբաթի։ Մթնոլորտի բացակայության և ցերեկվա բարձր ջերմաստիճանի պատճառով, Լուսնի վրա ջուր ընդհանրապես գոյություն չունի (նկ. 73)։

Լուսինը միշտ միևնույն երեսով է ուղղված դեպի Երկիր։ Այդ երեսում, նույնիսկ անզեն աչքով, երևում են մութ բծեր, որոնց նմանեցնելով Երկրի համապատասխան կազմավորումներին, անվանել են «ծովեր», «լճեր», «պարանոցներ» ու «օվկիանոսներ»։ Լուսնային օվկիանոսներին ու ծովերին տրվել են անուններ ըստ երկրային երևույթների վրա նրանց «ունեցած ազդեցության» (Փոթորիկների օվկիանոս, Անձրևների ծով, Ճգնաժամերի ծով և այլն)։ Դրանք, ինչպես հետագայում պարզվեց, հարթավայրեր են, որոնցից ավելի քիչ լույս է անդրադառնում։ Մնացած, համեմատաբար լուսավոր մասերը, որոնք կազմում են մակերևույթի շուրջ 60 %-ը, անվանվում են մայր ցամաքներ։

Լուսնի վրա կան տարբեր չափերի բազմաթիվ լեռներ։ Սակայն արտաքին տեսքով դրանք տարբերվում են երկրային լեռներից։

Դրանք շրջանաձև թմբեր են՝ միջին մասում ավելի հարթ և խոր ընկած։ Այդպիսի տեսքի պատճառով կոչվում են կրկեսներ կամ խառնաճներ։ Լուսնային լեռները հիմնականում կրում են գիտնականների անուններ (Կոպերնիկոս, Արքիմեդ, Կեպլեր և այլն)։ Հաճախ այդ լեռները կազմում են լեռնաշղթաներ։ Դրանք էլ կրում են նույն անունները, ինչ անուններ ունեն դրանց փոքրիշատե նմանվող երկրային լեռնաշղթաները (Կովկասյան, Ալպյան, Ապենինյան և այլն)։ Որոշ խառնարաններից դուրս են գալիս սպիտակավուն, ուղղագիծ շերտեր, այսպես կոչված սպիտակ ճառագայթներ։ Դրանք հատկապես լավ են երևում լիալուսնի ժամանակ։ Ինչպես պարզվեց, դրանք փաստորեն փոքր չափերի խառնարանների շղթաներ են, որոնք հավանաբար առաջացել են երկնաքարերի ուժեղ բախման ժամանակ լուսնի մակերևույթից դուրս շպրտված քարաբեկորների երկրորդական հարվածներից։

Նկ. 73. Լուսինը առաջին քառորդում։

Նկ. 74. Լուսնի մակերևույթը նկարահանված մոտ տարածությունից։

Ջերմաստիճանի մեծ փոփոխությունների պատճառով լուսնի

մակերևույթն ունի ճեղքվածքներ։ Մի քանի մետր լայնության այդ ճեղքերը երբեմն տարածվում են հազարավոր կիլոմետրեր։

Մինչև վերջին երկու տասնամյակը լուսնի հետ շատ հարցեր էին մնացել չպարզաբանված։ 1959 թ. հոկտեմբերի 4-ին սովետական երրորդ տիեզերական հրթիռի վրա գտնվող ավտոմատ կայանը լուսանկարեց լուսնի մեզ չերևացող մասը։ Հետագայում արձակվեցին լուսնաշուրջ ուղեծրով պտտվող արհեստական արբանյակներ, իջեցվեցին ավտոմատ կայաններ, իսկ 1969 թվականին՝ նաև տիեզերագնացներ։ Տեղում կատարված ուսումնասիրություններից բացի, լուսնային ապարներ տեղափոխվեցին Երկիր։

Լուսնի մեզ չերևացող մասում «ծովերի» քանակը ավելի քիչ է։ Դրա փոխարեն այդ մասը ավելի լեռնոտ է։ Նրա կազմավորումներից են Մոսկվայի ու Օրազանքի ծովերը, Աստղագնացների ծոցը, Ցիոլկովսկի, Ժոլիո Կյուրի, Գագարին խառնարանները և այլն։ Հետաքրքրական է, որ եթե լուսնի դեպի մեզ ուղղված կեսում ծովերը շրջապատի համեմատությամբ մութ են, հակառակ երեսում ընդհակառակը՝ պայծառ են։ Ի դեպ, այդ պատճառով էլ դրանք կոչվեցին ոչ թե ծովեր, այլ տալասոիդներ, այսինքն՝ ծովանմաններ։ Հավանաբար լուսնի մեզ ուղղված կողմում ծովերը լցված են մթնագույն լավայով, իսկ հակառակ երեսում դա հազվադեպ է տեղի ունեցել։

Լուսնի արտաքին շերտերը համասեռ չեն. նրանց մեջ կան զանգվածի առանձին խտացումներ։ Վերջիններս անվանվեցին մասկոններ (մասսա և կոնցենտրացիա բառերից)։ Մերձմակերևութային շերտերում մասկոններ հանդիպում են հատկապես մեծ ծովերի տակ։

Լուսինը միայն առաջին մոտավորությամբ կարելի է գունդ համարել։ Իրականում նա գնդաձև մակերևույթից շեղվում է $\pm$ 500 մետրով և նրանից դուրս է գալիս հիմնականում հասարակածային մասում՝ Երկրին հակառակ ուղղությամբ։ Այսինքն, լուսնի մակերևույթի տեսանելի մասում մակերևույթն ավելի ցածր է, քան անտեսանելի մասում։ Ծովերի միջին խորությունը 1—2 կմ է. առավելագույն խորություն ունի Ճգնաժամերի ծովը՝ 3,5 կմ։ Լեռների առավելագույն բարձրությունը հասնում է 4 կմ-ի։ Եթե Երկրի ծանրության ու երկրաչափական կենտրոնները գրեթե համընկնում են, ապա լուսնի դեպքում դրանք շեղված են. ծանրության կենտրոնը 2,2 կմ-ով ավելի մոտ է Երկրին։ Լուսնի այդ բարդ ձևը, ըստ երևույթին, պետք է բացատրել նրա կեղևի անհամասեռությամբ։

Լուսնային ապարների միջին խտությունը (չափված Երկրի

վրա) հավասար է 0,8 գ/սմ³։ Գրավիտացիոն շեղումները մեծ են հատկապես ոչ շատ մեծ շրջանաձև ծովերում։ Դա թույլ է տալիս ենթադրելու, որ այդ ծովերը առաջացել են երկնաքարերի հարվածների հետևանքով և, հավանաբար, նրանց մակերևույթի տակ գտնվում են իրենց՝ երկնաքարերի մնացորդները։ 1972 թ. մայիսի 13-ին Լուսնի վրա ընկավ 600 տոննա կշռով երկնաքար, առաջացնելով 100 մ տրամագծով խառնարան։ Ստորգետնյա տատանումները հասան մինչև 1000 կմ։ Դրանց մանրամասն ուսումնասիրությունը բերեց այն ենթադրության, որ Լուսնի կեղևի հաստությունը 60 կմ է։ Այն կազմում է լուսնային զանգվածի 10 %-ը։ Համեմատման համար նշենք, որ Երկրի կեղևը դրանից երկու անգամ բարակ է և կազմում է ամբողջ զանգվածի հազիվ 0,5 %-ը։ Լուսնի մակերևույթից ներս՝ 960 կմ-ից մինչև 1500 կմ-ը կազմում է մանտիան, իսկ դրանից էլ ներքև՝ կորիզը։ Ուրեմն կորիզի տրամագիծը 1500 կմ է։ Ենթադրվում է նաև, որ 1000°C-ից բարձր չերմաստիճան Լուսնի ընդերքում գոյություն չպետք է ունենա, իսկ ճնշումը նրա կենտրոնում հավասար պետք է լինի երկրային ճնշմանը 180 կմ խորության վրա։ Կորիզը հավանաբար պնդացել է շուրջ 3 միլիարդ տարի առաջ։

Լուսնի վրա ոչ միայն ջուր, այլև ընդհանրապես կենսաբանական գոյացումներ չկան։ Սկզբում լուսնագնացները, վերադառնալուց հետո, անցնում էին պրոֆիլակտիկ երկարատև շրջան, որպեսզի վնասազերծվեին ու ոչնչացվեին Լուսնից բերված ենթադրվելիք մանրեները։ Սակայն հետագայում ապացուցվեց, որ այդպիսիններից Լուսինը զուրկ է, դրա համար էլ հետագայում Լուսնից վերադարձողներին այլևս չէին դիտում որպես «մահացու վարակ բերողների»։

Լուսինը մագնիսական դաշտ գրեթե չունի։ Եղած դաշտի լարվածությունը հազար անգամ փոքր է երկրայինից։ Առանձին մասերում նկատված փոքր-ինչ զգալի լարվածությունները բացատրվում են մակերևույթի տակ եղած ֆերոմագնիսական մարմինների առկայությամբ։

Երկիր բերված ապարների տարիքը 3,1—4,2 միլիարդ տարի է։ Որտեղից էլ Լուսնի հասակի համար ստացվում է գրեթե նույն տարիքը (մոտ 5 միլիարդ տարի), ինչ որ Երկրինն է։

Լուսնային մեծ ծովերը, հավանաբար, հրաբխային ծագում ունեն, իսկ 5 կմ-ից պակաս տրամագիծ ունեցողները առաջացել են երկնաքարերի անկման հետևանքով։ Լուսնային ապարները անորտոզիտների տիպի են, հիմնականում կազմված դաշտային շպատից։ Իրենց ֆիզիկական հատկություններով ու քիմիական բաղադրությամբ դրանք հիշեցնում են մեր բազալտները, միայն այն տարբերությամբ, որ սրանց մեջ երկաթ, տիտան ու ցիրկոնիում ավելի շատ կան, իսկ ուրան ու թորիում՝ չորս անգամ ավելի քիչ, քան երկրային ապարներում։ Լուսնային ապարների շուրջ 50 %-ը պերոքսեն է, քառորդ մասը՝ պլագիոկլազ, իսկ 20 %-ը կազմում են բնածին երկաթն ու նրա միացությունները։ Մայր ցամաքներում ավելի շատ մետաղ է պարունակվում (հատկապես ալյումին ու կրեմնիում. քիչ է պերոքսենը, ինչպես և ռադիոակտիվությունը), քան ծովերում։ Դրանից ենթադրվում է, որ ցամաքները ներկայացնում են լուսնային նախնական կեղևը։

Լուսինը փոշու հաստ շերտով պատած չէ, ինչպես պետք էր սպասել, նկատի ունենալով մթնոլորտի բացակայության պատճառով երկնաքարերի անարգել հարվածները։ Սակայն տիեզերագնացներին շատ հոգս էր պատճառում մանր փոշին, որը ծածկում էր գործիքների օպտիկան, մաշում ռետինե ծածկույթները, դժվարացնում մեխանիզմների աշխատանքը։

Լուսնի վրա տեղադրված լազերային անդրադարձիչներով մեծ ճշտությամբ (ընդամենը 10—15 սմ սխալով) որոշվել է Լուսնի համապատասխան մասերի հեռավորությունը Երկրի տարբեր վայրերից։ Այդ բանը մասնավորապես կարևոր է Երկրի մայր ցամաքների տեղաշարժերը և պտտման առանցքի դիրքի փոփոխությունները հետազոտելու համար։

§ 58. Մարս (Հրատ)

Մարսը Երկրից ավելի հեռու է գտնվում, քան Վեներան, սակայն նա դիտման համար ավելի հարմար է և նրա վերաբերյալ մեզ ավելի շատ բան է հայտնի։ Նախ, Մարսը արտաքին մոլորակ է, և երբ նա գտնվում է դիմակայության մեջ, դեպի Երկիր է ուղղված լինում նրա լուսավոր երեսը։ Մյուս կողմից, Մարսի նոսր մթնոլորտի միջով հնարավոր է դիտել մոլորակի մակերևույթի բազմաթիվ առանձնահատկությունները։

1965 թվականից դեպի Մարս ուղարկված ավտոմատ կայանները զգալիորեն ընդարձակեցին մեր գիտելիքներն այդ մոլորակի մասին։

Մարսը Արեգակի շուրջը պտտվում է 687 օրում. նրա ուղեծիրը բավականին ձգված է, որի պատճառով նրա հեռավորությունը Արեգակից զգալիորեն փոփոխվում է (արևամոտ կետում՝ 206,5 մլն կմ, արևահեռ կետում՝ 249 մլն կմ). միջին հեռավորությունը հավասար

է 227,8 մլն կմ-ի։ Երկու տարի 50 օրում Մարսը վերականգնում է իր դիրքը Երկրի նկատմամբ։ Սակայն թե՛ Երկիրը և թե՛ Մարսը պտտվում են էլիպսով, դրա համար էլ դիմակայությունների ու արտաքին միացումների ժամանակ տարբեր են լինում նրանց փոխադարձ հեռավորությունները։ Արտաքին միացումների ժամանակ նա Երկրից հեռանում է շուրջ 400 մլն կմ-ով, իսկ 15—17 տարին մեկ, դիմակայության ժամանակ, Մարսը Երկրից գտնվում է նվազագույն հեռավորության վրա՝ 56,5 մլն կմ։ Այդպիսի դիմակայությունները կոչվում են մեծ դիմակայություններ։ Այդպիսին եղել է, օրինակ,

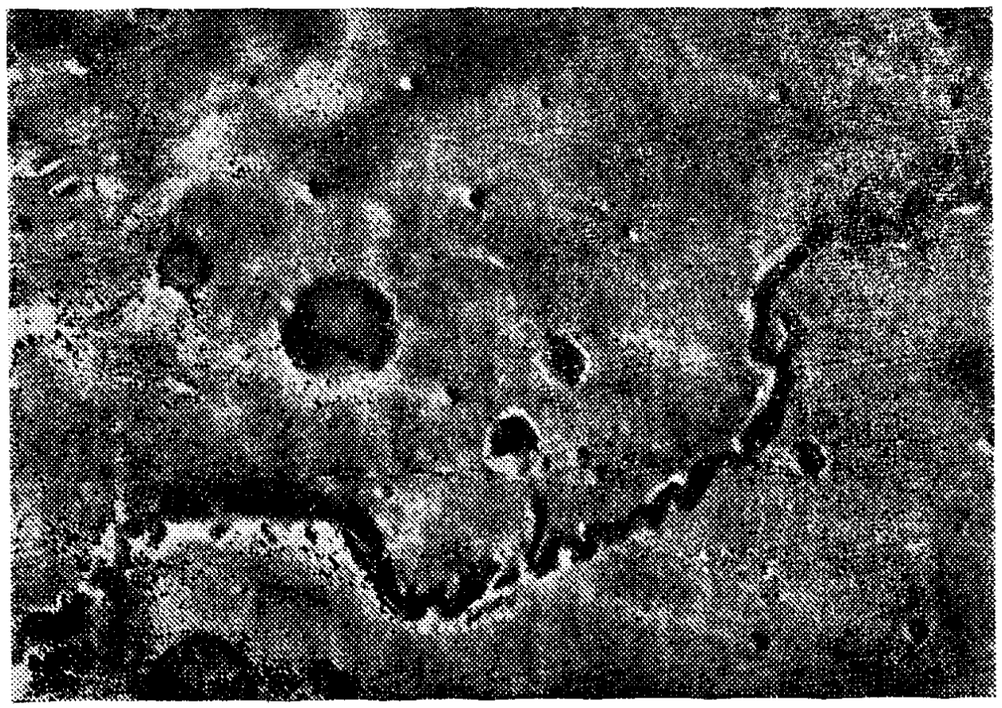
Նկ. 75. Մարս։

1971 թվականին։ Մեծ դիմակայությունները հատկապես նպաստավոր են Մարսի երկրային դիտումների համար։

Մարսի շառավիղը փոքր է երկրայինից գրեթե երկու անգամ (3386 կմ), իսկ զանգվածը՝ 9 անգամ։ Ձգողական ուժի արագացումը Մարսի մակերևույթի վրա հավասար է ընդամենը 376 սմ/վրկ²։

Մարսն իր առանցքի շուրջը պտտվում է 24 ժամ 37 րոպե 22,6 վայրկյանում. այսինքն՝ այնտեղ ցերեկվա ու գիշերվա տևողությունները գրեթե հավասար են երկրայինին։ Պտտման առանցքն ուղեծրի հարթության ուղղահայացի հետ կազմում է 24°56′, որը նույնպես երկրայինից քիչ է տարբերվում։ Դրա համար էլ տեղի են ունենում տարվա եղանակների փոփոխություններ. միայն թե դրանք երկրայինից մոտ երկու անգամ տևական են, քանի որ մարսյան տարին երկու անգամ տևական է երկրայինից։ Եթե Երկրի վրա հարավային կիսագնդում ավելի տաք ամառ ու ցուրտ ձմեռ է լինում, քան հյուսիսային կիսագնդում, ապա Մարսի վրա ճիշտ հակառակն է, քանի որ նրա հյուսիսային կիսագունդը Արեգակին թեքված լինելու ժամանակ Մարսը գտնվում է իր ուղեծրի արևամոտ կետում, իսկ արևահեռ կետում գտնվելիս դեպի Արեգակ է թեքված նրա հարավային մասը։

Մարսի միջին ջերմաստիճանը հավասար է —57°C-ի, սակայն ուղեծրի ձգվածության պատճառով, արևամոտ և արևահեռ կետերում գտնվելու պահերին այն 11°-ով փոփոխվում է։ Ինչ վերաբերում է Մարսի տարբեր մասերին, ապա դրանց ջերմաստիճանը կախված է տեղի աշխարհագրական լայնությունից և տարվա եղանակից։ Հասարակածում ցերեկը ջերմաստիճանը երբեմն հասնում է +30°C-ի, իսկ գիշերը լինում է —90° սառնամանիք։ Ջերմաստիճանի նման մեծ փոփոխությունը բացատրվում է Մարսի մթնոլորտի նոսրությամբ։



Նկ. 76. Մարսի մակերևույթը։

Մարսը տանձաձև կառուցվածք ունի, նրա հարավային մասը մյուս մասերի նկատմամբ 3—4 կմ-ով բարձր է (հարավային շառավիղը հյուսիսայինից երկար է), իսկ ամենացածր մասը հասարակածից գտնվում է 65° դեպի հյուսիս։ Մակերևույթի վրա մթնոլորտային ճնշումը միջինում հավասար է 0,006 մթնոլորտի, հարավային բևեռամերձ շրջաններում՝ 0,003, հասարակածում՝ 0,005, հյուսիսային լայնության 65°-ում՝ 0,009 մթնոլորտի։ Այսինքն, մթնո-

լորտի զանգվածի մեծ մասը գտնվում է հյուսիսային կիսագնդի վրա։

Ջերմաստիճանի ուժեղ տատանումների պատճառով առաջանում են մեծ ուժգնության քամիներ ու ավազախառն մրրիկներ, որոնց արագությունը հասնում է 60 մ/վրկ-ի։ Մրրիկների ժամանակ մթնոլորտի ջերմաստիճանը բարձրանում է, իսկ մակերևույթինը՝ ընկնում։ Բանն այն է, որ մրրիկները բարձրացնում են 1—10 միկրոն չափերի հատիկներ, որոնց շնորհիվ երկարալիք ճառագայթները գրեթե անարգել անցնում են մթնոլորտով, այսինքն՝ իջնում է մակերևութային ջերմաստիճանը։

Մարսի մթնոլորտը հիմնականում կազմված է ածխաթթու գազից (սակայն այդ գազը ամբողջությամբ վերցրած կազմում է երկրայինի 1 %-ից ոչ ավելին)։ Համեմատաբար ցածր շերտերում հայտնաբերվել են թթվածին ու ջրային գոլորշիներ։ Օզոնի քանակը փոքր է և բավարար չէ կանխելու Արեգակի ուլտրամանիշակագույն ճառագայթների մահաբեր ազդեցությունը։ Ազոտ ու նրա միացություններ չեն հայտնաբերվել։ Ամոնիակի ու մեթանի բացակայությունը վկայում է այն մասին, որ Մարսի ու մյուս արտաքին մոլորակների (Յուպիտեր, Սատուրն, Ուրան, Նեպտուն, Պլուտոն) մթնոլորտի առաջացման մեխանիզմներն իրարից միանգամայն տարբերվում են։ Այսինքն, հավանական է դառնում այն վարկածը, որ Մարսի վրա բուն հրաբխային երևույթներ տեղի չեն ունեցել։ Մարսի մթնոլորտի ջերմաստիճանը, ինչպես և խտությունը բարձրության հետ փոքրանում են, բայց շատ ավելի մեծ արագությամբ, քան մեր մթնոլորտում։

Մարսի մթնոլորտում գոյություն ունեն իոնոլորտային մի քանի շերտեր։ Էլեկտրոնների հիմնական խտացումը դիտվում է 134—142 կմ բարձրության վրա (էլեկտրոնների քանակը՝ $N_e = 1{,}7 \cdot 10^5$ սմ$^{-3}$)։

Մարսի մագնիսական դաշտը աննշան է. նրա լարվածությունը 500 անգամ փոքր է երկրայինից։

Մարսի բևեռամերձ շրջաններն ունեն սպիտակ ծածկույթներ, որոնք կոչվում են սպիտակ գլխարկներ։ *Դրանց գրաված տարածությունը կախված է տարվա եղանակից։ Ձմեռը այդ ծածկույթը գրավում է մեծ տիրույթ, գարնան հետ սկսում է փոքրանալ, ամառը հասնում է նվազագույն չափերի, իսկ երբեմն էլ բոլորովին անհետանում։ Ներկայումս պարզված է, որ սպիտակ գլխարկները հիմնականում կազմված են պինդ ածխաթթվից (CO_2), սակայն նրանց տակ գտնվում է նաև սառույց։ Մարսյան բևեռային երկար ու ցուրտ ձիշերներին սկզբում սառչում են ջրային գոլորշիները և բևեռա-*

մերձ տարածությունները սառցապատում, իսկ այնուհետև, երբ ջերմաստիճանը իջնում է —145°C-ից, խտանում է նաև ածխաթթուն՝ կազմելով վերևի շերտը։ Բևեռային գլխարկների զանգվածը հարավային կիսագնդում ավելի մեծ է ($3{,}5 \cdot 10^{18}$ գ), քան հյուսիսայինում ($2 \cdot 10^{18}$ գ), չնայած հյուսիսային բևեռային ծածկույթի հաստությունը ավելի մեծ է (1 սմ^2 կտրվածքով սյան զանգվածը հավասար է 94 գ), քան հարավային բևեռային ծածկույթը (76 գ)։ Այդ ծածկույթի մեծ մասը պինդ ածխաթթուն է, իսկ ջրային սառույցը կազմում է ընդամենը $6 \cdot 10^{14}$ գ։

Մարսի մակերևույթի վրա հայտնաբերվեցին 250 մետրից մինչև մի քանի հարյուր կմ չափեր ունեցող օղակաձև լեռներ. դրանք նման են լուսնային խառնարանների, սակայն դրանց մեջ կան նաև տարբերություններ։ Նախ փոքր խառնարանների քանակը այստեղ ավելի քիչ է, խառնարաններից և ոչ մեկից լուսավոր ճառագայթներ չեն դուրս գալիս, խառնարանների թմբերը ավելի փոքր թեքություն ունեն, իսկ հատակներն էլ ավելի հարթ են։ Այս բոլորը հեշտությամբ բացատրվում է Մարսի վրա ավազախառն քամիների առկայության փաստով։

Մարսի խառնարանների մի մասը գտնվում է բարձր լեռնագագաթներում, որոնց շրջակայքի նյութերի ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ դրանք հրաբխային ծագում ունեն և առաջացել են ոչ շատ վաղ անցյալում։

Բազմաթիվ խառնարաններ են հայտնաբերվել Մարսի հարավային բևեռամերձ շրջանում։ Դա նորից հաստատում է այն տեսակետը, որ սպիտակ գլխարկները շատ բարակ ծածկույթներ են։

Վերջնականորեն հերքվել է մարսյան «ջրանցքների» գոյության ենթադրությունը։ Այդ կազմավորումները ուղղագիծ կամ երկրաչափական որոշակի այլ դիրքորոշում չունեն, ինչպես դրանք երևում են փոքր խոշորացման աստղադիտակներում (որի համար էլ անվանվեցին «ջրանցքներ»)։ Դրանց մի մասը լեռների արանքում ընկած կիրճեր ու ձորեր են, իսկ մյուս մասը՝ մեծ չափերի խառնարանների ստվերասփյուռ եզրագծեր։ Ջրամբարներ ու գետեր Մարսի վրա ընդհանրապես չեն հայտնաբերվել։ Այդ բանը բացատրվում է թեկուզ հենց մթնոլորտային ճնշման շատ ցածր լինելով։ Միաժամանակ մակերևույթի որոշ մութ շերտերին միանում են առանձին «վտակներ», որոնք հիշեցնում են ոչ շատ վաղ անցյալում ինչ-որ հոսքերի գոյության մասին։

Դիէլեկտրիկ թափանցելիության (≈ 3) և միջին խտության ($\approx 1{,}6$ գ/սմ^3) արժեքներով Մարսի մակերևույթը հիշեցնում է վե-

ներան։ Ջերմաֆիզիկական տեսակետից այն հիշեցնում է կվարցային ավազը։

Մարսի առայժմ լուծված հարցերից է շրջապատի նկատմամբ համեմատաբար տաք որոշ տիրույթների գոյությունը։

Ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ Մարսի կեղևում (30—50 սմ խորության վրա) ջերմաստիճանի օրական փոփոխություններ գրեթե տեղի չեն ունենում, որից պետք է եզրակացնել, թե մակերևույթի արտաքին ծածկույթն ունի ջերմային մեծ իներցիա ու փոքր ջերմահաղորդականություն։

Մարսն ունի երկու արբանյակ՝ Ֆոբոս (ԱՀ) և Դեյմոս (Սարսափ)։ Երկուսն էլ անձև քարի կտորներ են, համապատասխանորեն 22×12 և 12×8 կմ չափերի։ Գոյություն ունի այն վարկածը, որ Մարսի արբանյակները գերված են Փոքր մոլորակներից (տե՛ս հաջորդ ենթաբաժինը)։

Ֆոբոսը Մարսից գտնվում է նրա 2,79, իսկ Դեյմոսը՝ 6,93 տրամագծի չափ հեռավորությունների վրա. դրա համար էլ Մարսի ոչ բոլոր մասերից են նրա արբանյակները երևում։ Դեյմոսը կա-

Նկ. 77. Մարսի արբանյակներից՝ ԱՀը (Ֆոբոս)։

րելի է դիտել մինչև 81° աշխարհագրական լայնությունը, իսկ Ֆոբոսը 68°-ից մինչև բևեռ չի երևում։ Երկուսն էլ ունեն ուղիղ պտույտ՝ գրեթե մոլորակի հասարակածային հարթությունում (նրա հետ արբանյակների ուղեծրերը համապատասխանորեն կազմում են 1°,8 և 1°,4)։

Մարսի շուրջը Դեյմոսը պտտվում է երկրային 1 օր 6 ժամ 18 րոպեում և լինում է տվյալ վայրի երկնքում (արբանյակի ծագելուց մինչև մայրամուտ) ավելի քան 2,5 օր։ Ֆոբոսը Մարսի շուրջը պտտվում է 7 ժամ 39 րոպեում, այսինքն՝ Մարսի առանցքային պտտման ժամանակամիջոցից ավելի արագ։ Դրա համար էլ Մարսից դիտելիս թվում է, որ այն շարժվում է հակառակ ուղղությամբ՝ ծագում է արևմուտքում և մայր է մտնում արևելքում։ Մարսի նույն վայրի նկատմամբ Ֆոբոսը իր դիրքը վերականգնում է 11 ժամ 2 րոպեում։ Մարսի մակերևույթից Ֆոբոսը կերևա —8,8 աստղային մեծության, այսինքն՝ գրեթե նույն պայծառության, ինչ որ Լուսինը առաջին քառորդում։ Դեյմոսը համեմատաբար թույլ է՝ —4,8. այդպիսին է Վեներայի առավելագույն պայծառությունը Երկրից դիտելիս։

Մարսի արբանյակների վրա կան խառնարաններ, որոնց տրամագծերը գտնվում են 500 մետրից 2 կիլոմետրի սահմաններում։ Ամենայն հավանականությամբ, դրանք առաջացել են երկնաքարերի բախումներից։

Այժմ Մարսի շուրջը պտտվում են նաև երեք արհեստական արբանյակ։ Մարսի մակերևույթը նկարող սարքերից մեկը այնպիսին էր, որ կարող էր տարբերել 100 մետր և ավելի չափերի կազմավորումներ։ Սակայն առայսօր թե՛ Մարսի և թե՛ նրա արբանյակների վրա կենդանական ու բուսական աշխարհների հետքեր չեն հայտնաբերվել։ Այդ կապակցությամբ հետաքրքրական է հետևյալ փորձի արդյունքները։ Հերմետիկորեն փակ խցիկում ստեղծվել են նույն մթնոլորտային պայմանները (բաղադրություն, ջերմաստիճան, խտություն և այլն), ինչ որ Մարսինն է։ Դրանում տեղավորված մանրէների մի մասը արագորեն ոչնչացել է, իսկ մյուս մասը աճել ու բազմացել է ավելի արագ, քան երկրային, սովորական պայմաններում։ Մարսյան խիստ պայմանները տանելի են նույնիսկ որոշ կենդանիների (մասնավորապես կրիայի) համար։

§ 59. Փոքր մոլորակներ

1801 թվականի հունվարի 1-ին իտալական աստղագետ Պիացցին հայտնաբերեց աստղանման մի օբյեկտ, որը, ինչպես պարզ-

վեց, պտտվում էր Արեգակի շուրջը։ Դա Յերերան էր։ Մեկ տարի անց Օլբերսը հայտնաբերեց երկրորդ մոլորակը՝ Պալլադան։ Հետագայում դրանց քանակը հասավ հարյուրների, իսկ լուսանկարչության կիրառությունից հետո՝ շուրջ երկու հազարի։ Դրանցից ամենամեծը Յերերան է, որի տրամագիծը 780 կմ է։ Հայտնի ամենափոքր մոլորակն ունի մի քանի կիլոմետր տրամագիծ։ Այդ փոքր չափերի մոլորակները, գտնվելով մեծ հեռավորության վրա, երեվում են աստղերի տեսքով։ Դրա համար էլ դրանց անվանեցին Աստղակերպեր (Աստերոիդներ) կամ Փոքր մոլորակներ։

Համեմատաբար մեծ չափեր ունեցող աստղակերպերը գրտնելու համար աստղադիտակին տրվում է երկնոլորտի պատման արագություն։ Աստղերը լուսանկարչական թիթեղի վրա պատկերվում են փոքրիկ շրջանակների տեսքով, իսկ Փոքր մոլորակները՝ աղեղներով։ Համեմատաբար փոքր չափերի աստղակերպերի պայծառությունն այնքան փոքր է, որ նրանց գծած աղեղների սևացման աստիճանը շատ թույլ է և թիթեղի վրա գրեթե ոչ մի հետք չի թողնում։ Դրա համար էլ կիրառվեց մի այլ եղանակ։ Իմանալով ենթադրվող աստղակերպերի հեռավորությունը, հետևապես և նրանց պտտման պարբերությունը, որոշվում է թե ինչ անկյունային արագությամբ դրանք կտեղափոխվեն երկնոլորտով։ Աստղադիտակին տրվում է այդպիսի պտտման արագություն։ Այժմ էլ աստղերն են աղեղներ գծում, իսկ աստղակերպերը պատկերվում են կետի կամ փոքրիկ բծի տեսքով։ Մեծացնելով լուսանկարման պահաժամը, հնարավոր է լինում երկար ազդել թիթեղի էմուլսիայի նույն մասի վրա և հետք առաջացնել. այսինքն՝ հայտնաբերել փոքր աստղակերպեր։

Բոլոր աստղակերպերն էլ ունեն ուղիղ շարժում։ Դրանց մեծ մասը Արեգակի շուրջը պտտվում է 3,5-ից 6 տարի պարբերությամբ, Արեգակից 2,3-ից 3,3 աստղադիտական միավոր հեռավորության վրա. այսինքն՝ գտնվում են Մարսի ու Յուպիտերի ուղեծրերի արանքում։ Մի մասը շարժվում է շրջանաձև ուղեծրերով և գտնվում է գրեթե խավարածրի հարթության վրա, իսկ մի մասի ուղեծրերը բավական ձգված են և խավարածրի նկատմամբ խիստ շեղված։

Աստղակերպերի փայլի պարբերական փոփոխություններից հնարավոր եղավ հաստատել նրանց առանցքային պտույտը և ձևվությունը (օրինակ, էրոսի ուղեծիրը երկարաձիգ է, իսկ ինքը՝ տանձաձև)։

Հավանական է այն ենթադրությունը, որ փոքր մոլորակները

մի ժամանակ կազմել են ընդհանուր մի մեծ մարմին, որ հետագայում ինչ-ինչ պատճառներով բաժանվել է մասերի, որոնք փոխադարձ բախումների ժամանակ նորից տրոհվել են ու շատացել։ Մեծ մոլորակների (հատկապես Յուպիտերի) ձգողական ուժի ազդեցությամբ փոփոխման են ենթարկվել որոշ աստղակերպերի ուղեծրերը, իսկ դրանցից Իկարինը այնքան է ձգվել, որ նրա ուղեծիրը հատում է նույնիսկ Մերկուրու ուղեծիրը։

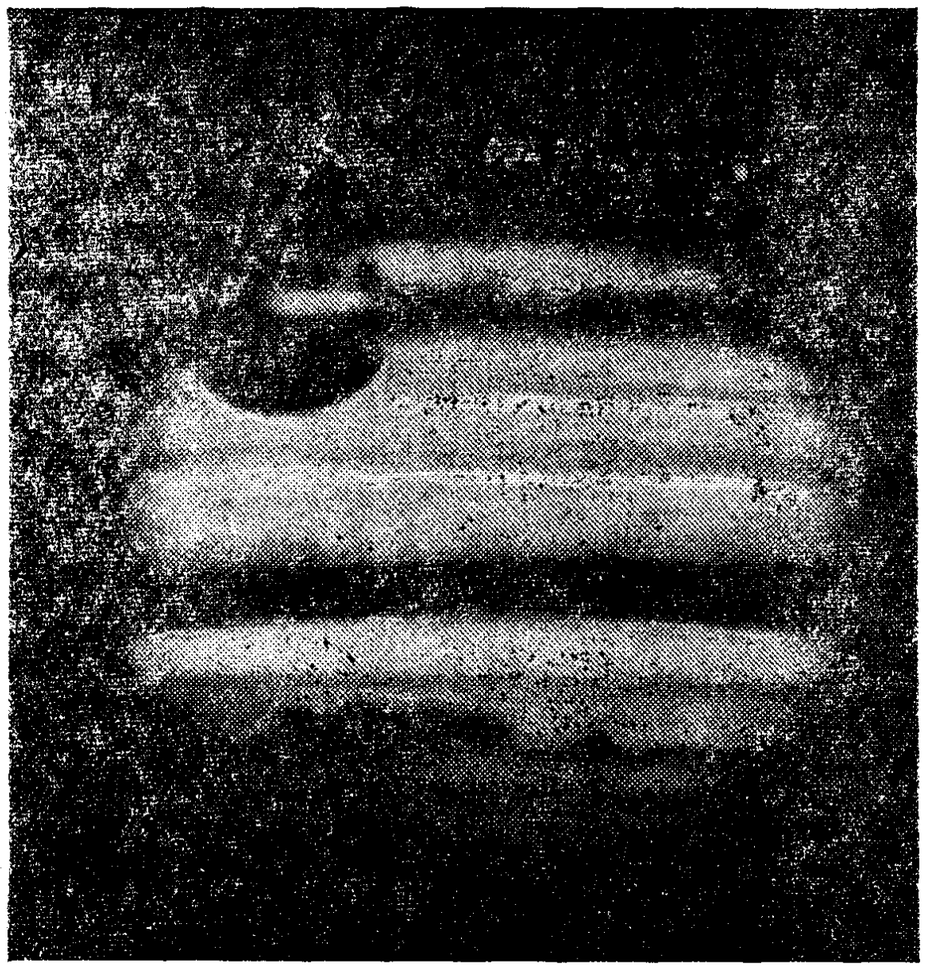
Կա փոքր մոլորակների երկու խումբ, որոնք շարժվում են Յուպիտերի ուղեծրով. դրանցից ամեն մեկը Յուպիտերի ու Արեգակի հետ կազմում են հավասարակողմ եռանկյունի։ Դրանց անվանել են Տրոյացիներ (ընդամենը 5 մոլորակ) և Հույներ (10 մոլորակ)։ Լագրանժը տեսականորեն ապացուցեց, որ եթե այդպիսի դասավորություն ունեցող մարմիններից մեկի զանգվածը մյուսների նկատմամբ արհամարհելի փոքր է, իսկ մյուս երկուսից մեկի զանգվածն էլ երրորդի զանգվածի 0,04 մասից փոքր, ապա այդ մարմինները կպտտվեն համակարգի ընդհանուր ծանրության կենտրոնի շուրջը և մշտապես կպահպանեն իրենց փոխադարձ դասավորությունը։ Վերոնշյալ խմբերը, Յուպիտերն ու Արեգակը բավարարում են այդ պայմանները։ Եվ իրոք, այդ խմբերի զանգվածները Յուպիտերի ու Արեգակի զանգվածների նկատմամբ արհամարհելի փոքր են, բացի այդ, Յուպիտերի զանգվածը կազմում է Արեգակի զանգվածի ընդամենը 0,001 մասը։ Նշանակում է, Տրոյացիների ու Հույների դասավորությունը կպահպանվի, եթե, իհարկե, նրանց վրա զգալի ազդեցություն չունենան այլ մոլորակների խանգարող ուժերը։

Փոքր մոլորակների որոշ մասի ուղեծրերի մեծ փոփոխությունները հնարավոր է դարձնում նրանց բախումը մյուս մոլորակների և մասնավորապես Երկրագնդի հետ, սակայն բախումների հավանականությունը շատ փոքր է։ Համենայն դեպս Արեգակնային համակարգության գոյության ընթացքում, հավանաբար, տեղի են ունեցել մի քանի բախումներ։ Այդպիսի բախումը աստղակերպի համար ճակատագրական է, մինչդեռ Երկրագնդի (կամ այլ մոլորակի) համար միայն տեղական մասշտաբի մի վթար է։

§ 60. Յուպիտեր (Լուսնթագ)

Յուպիտերը Արեգակնային համակարգության ամենամեծ մոլորակն է։ Նրա շառավիղը 11,2, ծավալը՝ 1400, իսկ զանգվածը 318 անգամ մեծ են Երկրագնդի համապատասխան մեծություններից։ Ձգողական ուժի արագացումը Յուպիտերի մակերևույթի վրա

հավասար է 25մ/վրկ²: Նյութի միջին խտությունը մոտ է ջրի խտությանը (1,2 գ/սմ³): Ինչպես Յուպիտերի, այնպես էլ մյուս հսկա մոլորակների (Սատուրն, Ուրան, Նեպտուն) խտությունների շատ փոքր արժեքները հիմնականում հետևանք են այն բանի, որ այդ մոլորակները պատած են խիտ մթնոլորտով և հնարավոր չէ դիտել նրանց մակերևույթը. այսինքն՝ որոշել պինդ մասի ծավալը, որում կենտրոնացված է գրեթե ամբողջ զանգվածը: Խտությունը որոշելիս զանգվածը բաժանում ենք պինդ մասի ու մթնոլորտի ծավալների գումարի վրա:



Նկ. 78. Յուպիտեր:

Յուպիտերի առանցքային պտտման պարբերությունը տարբեր աշխարհագրական լայնություններում տարբեր է: Այսպես, հասարակածային շերտը պտտվում է 9 ժամ 50,5 րոպեում, իսկ 45° լայնության վրա գտնվող շերտի պտտման պարբերությունը դրա-

նից 5 րոպեով ավելի մեծ է: Մոլորակի պտտման առանցքը ուղեծրի հարթության ուղղահայացից շեղված է ընդամենը 3°7′-ով, դրա համար էլ այդ հսկա մոլորակի վրա տարվա եղանակների փոփոխություններ գործնականորեն չեն լինում:

Արեգակի շուրջը Յուպիտերի գծած էլիպսի մեծ կիսառանցքը 5,2 աստղագիտական միավոր է, իսկ պտտման պարբերությունը՝ 11,9 տարի: Յուպիտերի դիտվող լուսավոր փուչի և Երկրից ունեցած հեռավորության փոփոխման պատճառով, տեսանելի պայծառությունը ևս փոփոխվում է (—1ᵐ,2-ից —2ᵐ,7 սահմաններում):

Յուպիտերն Արեգակից ստանում է 27 անգամ ավելի քիչ ջերմություն, քան Երկիրը: Մակերևույթի վրա նրա ջերմաստիճանը հավասար է —140°C: Դրա համար էլ գազերի մեծ մասը խտանալով ու իջնելով, նրա մթնոլորտում բացակայում են քիմիական շատ տարրեր: Յուպիտերի մթնոլորտը հիմնականում կազմված է մեթանից (CH_4) և ամոնիակից (NH_3), ընդ որում վերջինս, հավանաբար, հանդես է գալիս սառած բյուրեղների ձևով: Հայտնաբերվել է նաև մոլեկուլյար ջրածին (H_2): Հելիում չի հայտնաբերված, թեև որոշ հիմքեր կան ենթադրելու նրա առկայության մասին: Յուպիտերի մթնոլորտում կան մուխ և լուսավոր ջերտեր, որոնք համապատասխանորեն կոչվում են շերտեր և գոտիներ (գոնաներ): Դրանց վրա նկատվում են առանձին բծեր: Հավանաբար դրանք առաջացել են ցիկլոններից ու անտիցիկլոններից: Մթնոլորտի ստորին շերտերում խտությունը 0,1—0,2 գ/սմ³ է, այսինքն՝ այդ շերտերը իրենց ֆիզիկական վիճակով մոտ են հեղուկ վիճակին: Ամպային ծածկույթի վերին շերտերում ճնշումը հավասար է 1—2 մթնոլորտի:

1664 թ. Յուպիտերի հասարակածից 20° դեպի հարավ հայտնաբերվեց կարմրավուն մի կազմավորում՝ Կարմիր բիծ, որը, ոչ մեծ փոփոխություններով գոյություն ունի մինչև այժմ: Կարմիր բիծն ունի 50000×11000 կմ չափեր: Սկզբում այն ունեցել է կարմիր գույն, որը հետագայում հետզհետե գունաթափվել է և դարձել գորշ: Նորմալ պայմաններում ամոնիակը սառչում է —78°C-ում, իսկ մեթանը՝ —184°C-ում: Դրանից ելնելով ենթադրում են, որ Յուպիտերի մթնոլորտում ամոնիակը գոնվում է պինդ վիճակում, իսկ Կարմիր բիծը, հավանաբար պինդ ամոնիակից կազմված մի կղզի է մթնոլորտային օվկիանոսում:

Յուպիտերն օժտված է հզոր ռադիոճառագայթմամբ, որը հիմնականում ունի տարբեր հզորության առանձին ծփանքների բնույթ: Հատկապես ինտենսիվ է 30 մեգահերց հաճախությունից ցած ճա-

ռագայթումը։ Ենթադրվում է, որ այն հետևանք է մթնոլորտային ուժեղ պարպումների (մեծ ուժգնության կայծակներ)։ 8 մմ—68 սմ ալիքի երկարություններում Յուպիտերի ռադիոճառագայթումը քիչ է փոփոխվում։ Նրա դեցիմետրային ճառագայթումը բևեռացված է։ Յուպիտերը, երկրի նման, շրջապատված է ճառագայթային գոտիներով, սակայն նրանց մագնիսական դաշտը և էլեկտրոնային խտությունը ավելի մեծ են։

Յուպիտերը (ինչպես և մյուս հսկա մոլորակները) հիմնականում ջրածնա-հելիումային կառուցվածք ունի։ Ջերմաստիճանը խորության հետ բարձրանում է, կենտրոնական մասերում հասնելով մի քանի հազար աստիճանի. սակայն մթնոլորտային մեծ ճնշման պատճառով և՛ ջրածինը, և՛ հելիումը գտնվում են պինդ վիճակում։

Բոլորովին անսպասելի տվյալներ ստացվեցին ամերիկյան «Պիոներ-10» տիեզերական ավտոմատ կայանից, որը 1973 թ. անցավ Յուպիտերի մոտով։ Նախ, պարզվեց, որ մոլորակի ջերմաստիճանը շատ ավելի բարձր է, քան մինչ այդ որոշվել էր այլ մեթոդներով։ Ենթադրվեց, որ մոլորակն ամբողջությամբ հեղուկ ջրածնի մի գունդ է ներկայացնում, իսկ կարմիր բիծը՝ մրրիկներից առաջացած պտտողական շարժման հետևանք։ Այս տվյալները դեռևս չեն հաստատվել։

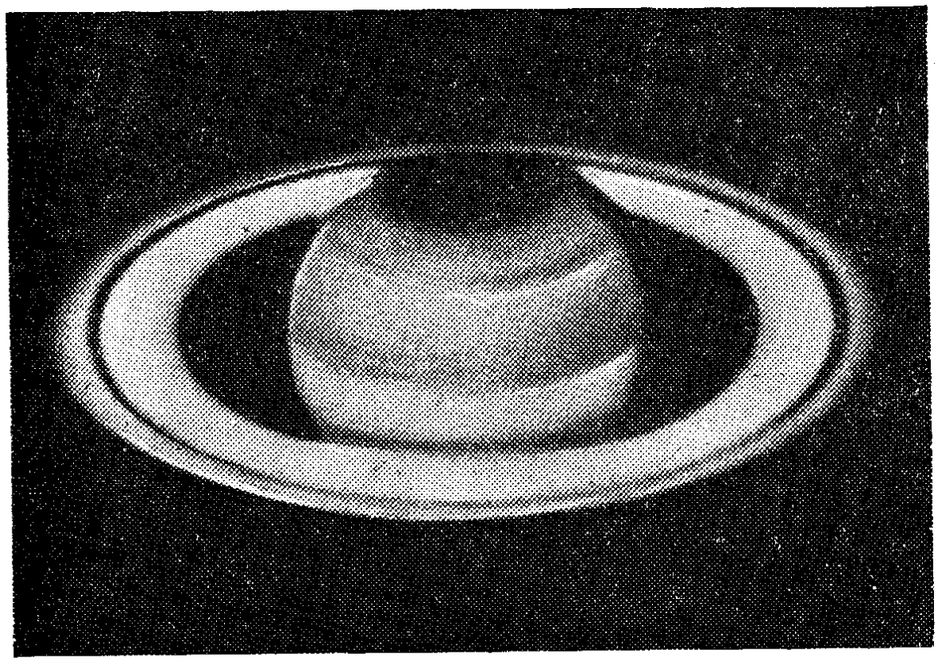
Յուպիտերն ունի 14 արբանյակ։ Առաջին չորսը (Իո, Եվրոպա, Հանիմեդ, Կալիստո) կոչվում են գալիլեյան արբանյակներ, քանի որ դրանց հայտնաբերել է Գալիլեյը (1609 թվականին)։ Յույց է տրված, որ դրանք, Լուսնի նման, միշտ միևնույն երեսով են ուղղված դեպի մայր մոլորակը, այսինքն նրանց առանցքային և Յուպիտերի շուրջ ունեցած պտտման պարբերությունները իրար հավասար են։ Հեռավոր չորս արբանյակները (որոնք ըստ հայտնաբերման կարգի համարվում են VIII, IX, XI և XII), Յուպիտերի շուրջը պտտվում են հակառակ ուղղությամբ. մնացածները ունեն ուղիղ շարժում։

§ 61. Սատուրն (Երևակ)

Սատուրնն իր մեծությամբ Արեգակնային համակարգության երկրորդ մոլորակն է։ Նրա շառավիղը 9,4, զանգվածը՝ 95 և ձգողական ուժի արագացումը՝ 1,2 անգամ գերազանցում են Երկրագնդի համապատասխան մեծությունները։ Միջին խտությունը հավասար է 0,7 գ/սմ^3-ի։

Սատուրնը գտնվում է Արեգակից 9,5 աստղագիտական միավոր հեռավորության վրա։ Յուպիտերի նման, Սատուրնի պտտման

պարբերությունը կախված է աշխարհագրական լայնությունից։ Հասարակածային շերտը պտտվում է 10 ժամ 14 րոպեում, իսկ միջին լայնության շերտերը՝ 10 ժամ 38 րոպեում։ Պտտման առանցքը ուղեծրի հարթության նկատմամբ թեքված է 63°-ով (գրեթե Երկրի առանցքի թեքության չափ), դրա համար էլ այստեղ տեղի են ունենում տարվա եղանակների փոփոխություններ։ Մեծ արագությամբ պտտվելու պատճառով Սատուրնը բևեռներում բավականին սեղմված է (1/10 շառավղի չափով)։



Նկ. 79. Սատուրն։

Սատուրնը Արեգակի շուրջը պտտվում է 29,5 տարում։ Ուղեծրի հարթությունը խավարածրի հարթության նկատմամբ թեքված է 2°29′-ով։

Սատուրնը պատած է խիտ մթնոլորտով, որը հնարավորություն չի տալիս դիտել նրա մակերևույթը։ Յուպիտերի նման, մթնոլորտում նշմարվում են հասարակածին զուգահեռ տարածվող առանձին շերտեր։ Մթնոլորտում հայտնաբերվել են մեթան և մոլեկուլյար ջրածին։ Սատուրնի ալբեդոն 42% է, ջերմաստիճանը՝ —170°C։ Նրա տեսանելի պայծառությունը փոփոխվում է 1,4-ից —0,4 աստղային մեծության սահմաններում։ Սատուրնը հանդարտ ռադիոճառագայթում է տալիս 3—21 սմ ալիքային տիրույթում։

Սատուրնը մյուս մոլորակներից խիստ տարբերվում է արտաք-

նապես։ Նա իր շուրջը հասարակածի հարթության մեջ ունի շատ բարակ (15—20 կմ) օղակ։ Այդ օղակի լայնությունը 67000 կմ է։ Օղակը չի կազմում մի ամբողջություն, այլ բաղկացած է համակենտրոն երեք օղակներից, որոնք իրարից բաժանված են խավար շերտերով։ Միջին օղակը ամենապայծառն է։ Ներքին օղակի հեռավորությունը մոլորակից 70800 կմ է։ Տեսական հաշվումները, ինչպես նաև սպեկտրալ ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ օղակները համատարած չեն, այլ կազմված են մոտ դասավորված փոքր քարակտորներից, որոնք մոլորակի շուրջը պտտվում են համաձայն Կեպլերի օրենքների։ Ներքին օղակում գտնվող բեկորները պտտվում են շուրջ 20 կմ/վրկ, իսկ արտաքին օղակում գտնվողները՝ 15 կմ/վրկ գծային արագություններով։

Երկրի նկատմամբ Սատուրնի ունեցած դիրքի փոփոխության պատճառով, երկրային դիտողին օղակը երևում է տարբեր տեսքերով։ Երբեմն լավ է երևում, իսկ երբեմն էլ, կողքով դեպի մեզ ուղղվելիս, հազիվ է նշմարվում գծի տեսքով։ Օղակի նույն դիրքի վերականգնումն ունի մոտավորապես 17-ամյա պարբերություն։

Սատուրնը ունի 10 արբանյակ, որոնցից ամենամեծի՝ Տիտանի, տրամագիծը հավասար է 5800 կմ, իսկ զանգվածը երկու անգամ մեծ է Լուսնի զանգվածից։ Մյուս արբանյակներից սա տարբերվում է նաև նրանով, որ պատած է մեթանային մթնոլորտով։ Արբանյակներից 9-ը ունեն ուղիղ պտույտ, իսկ ամենահեռավորը՝ Ֆեբան ունի հակառակ պտույտ։ Սպեկտրալուսաչափական մեթոդով հաստատվել է, որ Սատուրնի արբանյակներից Ռեյան, Դիոնան ու Յապետը իրենց առանցքի շուրջը պտտվում են նույն ժամանակամիջոցում, ինչ որ Սատուրնի շուրջը։ Այսինքն, Լուսնի նման միշտ մրնույն երեսով են ուղղված դեպի մայր մոլորակը։

§ 62. Ուրան

Վերը նկարագրված հինգ մոլորակները բավականին պայծառ են և երևում են նաև անզեն աչքով։ Մյուսները թույլ են և հայտնաբերվել են աստղադիտակի հայտնագործությունից հետո։ Ուրանի տեսանելի աստղային մեծությունը 5,8 է։ Այն հայտնաբերվել է 1781 թ. (Վ. Հերշել)։

Ուրանի ուղեծրի մեծ կիսառանցքը 19,2 աս է։ Ուրանն Արեգակի շուրջը պտտվում է 84 տարի պարբերությամբ։ Նրա զանգվածը 14,6, իսկ շառավիղը (24800 կմ) 4,2 անգամ մեծ է Երկրի համապատասխան մեծություններից։ Ուրանը բևեռներում բավա-

կանին սեղմված է (սեղմվածությունը հավասար է 1/14-ի)։ Նա պատած է խիտ մթնոլորտով, որն իր կառուցվածքով նման է Յուպիտերի ու Սատուրնի մթնոլորտներին։ Նրա ջերմաստիճանը —180°C է, ուստի ամոնիակն այստեղ, հավանաբար, գտնվում է սառած վիճակում, դրա հետևանքով սպեկտրում նրա գծերը բացակայում են։ Մթնոլորտում առկա են մոլեկուլյար ջրածին ու մեթան։

Խիտ մթնոլորտի ու մեծ հեռավորության (որի հետևանքով անկյունային տրամագիծը հավասար է 4″-ի) պատճառով մակերևութային կազմավորումներ չեն երևում. դրա համար էլ անհնար է անմիջականորեն որոշել նրա առանցքային պտտման պարբերությունը։ Այն որոշվել է մոլորակի պայծառության պարբերական փոփոխությունների ու սպեկտրալ գծերի դոպլերյան շեղումներով։ Պարզվեց, որ Ուրանն իր առանցքի շուրջը մի լրիվ պտույտ կատարում է 10 ժամ 49 րոպեում. ընդ որում՝ հակառակ ուղղությամբ։ Պտտման առանցքն ուղեծրի հարթության հետ կազմում է 82°. Այսինքն, Ուրանը ուղեծրի հարթության վրա կարծես գլորվում է (տեղափոխվում է «կողքի պառկած»). դրա համար էլ ուրանյան ցերեկն ու գիշերը տևում են մի քանի տարիներ։

Հայտնաբերվել է Ուրանի 5 արբանյակ։ Դրանց պտույտը Ուրանի շուրջը կատարվում է գրեթե հասարակածային հարթության վրա՝ նույն ուղղությամբ, ինչ ուղղությամբ պտտվում է ինքը՝ մոլորակը. այսինքն՝ դրանք ևս ունեն հակառակ պտույտ։

§ 63. Նեպտուն

Ուրանի շարժման խանգարումների միջոցով հայտնաբերված (1846 թ.) մոլորակին տրվեց Նեպտուն անունը։ Վերջինիս ուղեծրի մեծ կիսառանցքը 30,1 աս է, Արեգակի շուրջը ունեցած պտտման պարբերությունը՝ 164,8 տարի։ Նրա միջին ջերմաստիճանը —200°C է։ Նրան շրջապատող խիտ մթնոլորտի բաղադրությունը նման է Ուրանի մթնոլորտի բաղադրությանը։ Պայծառության և սպեկտրի փոփոխությունների ուսումնասիրմամբ որոշվել է նրա առանցքային պտտման պարբերությունը՝ 15 ժամ 48 րոպե (պտույտը ուղիղ է)։

Նեպտունը զանգվածով 17,2, իսկ շառավղով (25000 կմ) մոտ 4 անգամ գերազանցում է Երկրագնդին։ Այն երևում է սկավառակի տեսքով՝ 2″,4 անկյունային տրամագծով։

Նեպտունն ունի երկու արբանյակ, որոնք նրա շուրջը պտտվում են հակառակ ուղղությամբ։ Արբանյակներից մեկը (Տրիտոն) Արե-

գակնային համակարգության խոշոր արբանյակներից մեկն է։ Նրա վրա պարաբոլական արագությունը բավական մեծ է՝ 2,7 կմ/վրկ, որը հավանական է դարձնում մթնոլորտի գոյությունը արբանյակի շուրջը։ Սակայն առայսօր անմիջական չափումներն այդ բանը հաստատող ոչ մի փաստ չեն տվել։

§ 64. Պլուտոն

1930 թ. հայտնաբերվեց Արեգակնային համակարգության հեռավորագույն մոլորակը՝ Պլուտոնը։ Նրա միջին հեռավորությունը Արեգակից հավասար է 40 աստղագիտական միավորի։ Սակայն մոլորակի ուղեծրի էքսցենտրիսիտետը բավական մեծ է (0,249), որի պատճառով այդ հեռավորությունը փոփոխվում է ±9,8 աստղագիտական միավորով. այսինքն՝ Պլուտոնը Արեգակին երբեմն ավելի մոտ է գտնվում, քան Նեպտունը։ Պլուտոնի ուղեծրի թեքությունը խավարածրի հետ կազմում է 17°, դրա համար էլ հաճախ մոլորակը դուրս է գալիս Կենդանաշրջանի համաստեղություններից։

Իր չափերով ու զանգվածով Պլուտոնը գրեթե հավասար է Երկրին։ Նրա զանգվածը Երկրի զանգվածից փոքր է ընդամենը 0,07 մասով։ Արեգակի շուրջը պտտվում է 248 տարում։ Քանի որ Պլուտոնը շատ հեռու է և ունի գծային փոքր չափեր, երևում է կետային՝ 15-րդ աստղային մեծության, որն անհնար է դարձնում նրա պտտման պարբերության որոշելը սովորական եղանակով։ Պայծառության փոփոխության պարբերությունից հետևում է, որ Պլուտոնն իր առանցքի շուրջը պտտվում է 6,4 երկրային օրում։ Հետաքրքրական է, որ Պլուտոնի պայծառության փոփոխության ամպլիտուդը 50-ական թվականներին եղել է 0,10—0,11 աստղային մեծության, 1964 թ. այն կազմել է 0,15, իսկ 1972-ին՝ 0,2 աստղային մեծություն։ Այս հանգամանքը ենթադրել է տալիս, որ Պլուտոնի պտտման առանցքը, Ուրանի նման, գրեթե գտնվում է Արեգակի շուրջը իր գծած ուղեծրի հարթության վրա (դրա համար էլ շարժման ընթացքում այդ առանցքը մեր տեսագծի հետ հետզհետե մեծ անկյուն կազմելով, մեծացրել է նաև փայլի ամպլիտուդը)։

Ամերիկյան աստղագետ Մ. Հարտը որոշելով Պլուտոնի անդրադարձման ունակությունը տարբեր ալիքներում (ալբեդոն), հանգեց այն եզրակացության, որ նրա մակերևույթին առընթեր շերտերում մթնոլորտային ճնշումը գրեթե նույնն է, ինչ որ երկրայինը։ Մակերևույթի ջերմաստիճանը հավասար է —230°C-ի։ Նույնիսկ մեթանը, որից հիմնականում կազմված են Արեգակնային համակարգության հեռավոր մոլորակների մթնոլորտները, այստեղ պետք է սառած լիներ, իսկ ջրածինը՝ ցնդեր։ Միակ գազը, որը նման պայմաններում կարող է պահպանվել դա նեոնն է։ Ուստի հավանական է, որ Պլուտոնի մթնոլորտը կազմված լինի մաքուր նեոնից։

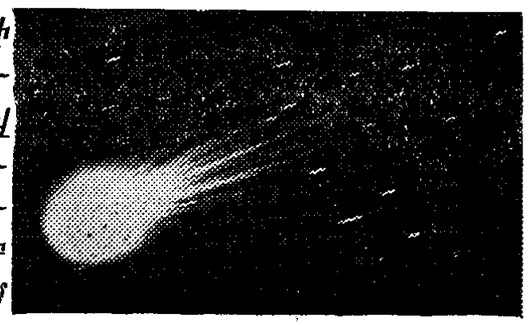
Մի կողմից խիտ մթնոլորտը, մյուս կողմից Արեգակի ճառագայթման չնչին հզորությունը Պլուտոնի վրա, ենթադրել է տալիս, որ նրա ցերեկային ու գիշերային երեսների ջերմաստիճանը գրեթե նույնը պետք է լինի (նրանց տարբերությունը 2°-ից փոքր է)։ Նեոնային «օվկիանոսների» ու «ծովերի» գոյությունը Պլուտոնի վրա անհավանական է, քանի որ այդ դեպքում մթնոլորտային ճնշումը պետք է լիներ եղածից 20 անգամ ավելի։

Պլուտոնը արբանյակ չունի։

§ 65. Գիսավորներ

Գիսավորները Արեգակի շուրջը սովորաբար պտտվում են ձգված էլիպսներով։ Արեգակի մոտակայքում, երբ գիսավորը երևում է, ուղեծրի մասը նման է պարաբոլի աղեղի։ Հաշվումները հեշտացնելու նպատակով գործնականում ընդունվում է, որ գիսավորը շարժվում է պարաբոլով։

Գիսավորները կազմված են մի քանի կիլոմետր տրամագիծ ունեցող պինդ կորիզից՝ հիմնականում բաղկացած հեշտ ցնդվող նյութերից (ջրի, ամոնիակի, մեթանի ու այլ նյութերի սառույցներից), որոնց հետ կան նաև չցնդող պինդ այլ մասեր։ Սեփական լույս չունենալով, հեռու տարածություններում գիսավորը չի երևում։ Այնուհետև Արեգակին մոտենալիս վերջինիս ջերմության ազդեցությամբ նրա ջերմաստիճանը բարձրանում է մինչև մի քանի հազար աստիճան։ Կորիզը շրջապատվում է գազային թաղանթով և երևում է մշուշապատ բծի տեսքով։ Արեգակին ավելի մոտենալով, նրա հակառակ ուղղությամբ կորիզից տարածվում է պոչ կամ գես (մազ, որտեղից էլ գիսավոր անվանումը)։



Նկ. 80. Հալլեյի գիսավորը։

Գեսի առաջացումը հիմնավորվում է հետևյալ կերպ։ Կորիզում գտնվող գազերի վրա ազդում են լույսի, արեգակնային քամու և

մասնիկային հոսքերի ճնշումները, որոնք համեմատական են ճրնշումն իր վրա կրող մարմնի ընդլայնական կտրվածքին։ Միաժամանակ հակառակ ուղղությամբ ազդում է Արեգակի ձգողական ուժը։ Դա էլ համեմատական է մարմնի զանգվածին։ Կազմենք վանող ու ձգող ուժերի հարաբերությունը.

$$\frac{F_{վ.}}{F_{ձ.}} = \frac{k_1 \cdot S}{k_2 \cdot M} = \frac{k_1 2\pi R^2}{k_2 \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \rho} = \frac{k}{R},$$

որտեղ՝ ρ-ն մարմնի միջին խտությունն է, k_1, k_2 և k-ն համեմատականության գործակիցներ են։

Մեծ մարմինների (մոլորակների, արբանյակների, թեկուզ գրասավորի կորիզի պինդ մասի) շառավիղը մեծ է։ Այսինքն՝ $\frac{k}{R}$ հարաբերությունը կլինի ինչքիչ փոքր թիվ. նշանակում է այստեղ վանող ուժը կարելի է արհամարհել, քանի որ հիմնականում կազդի ձգողական ուժը։ Շատ փոքր մասնիկների դեպքում (գազերի ատոմներ, մոլեկուլներ, փոշու հատիկներ) R-ը շատ փոքր է, այսինքն՝ $\frac{k}{R}$ կոտորակը կլինի 1-ից մեծ թիվ։ Այլ կերպ ասած հրող ուժը ավելի մեծ կլինի, քան ձգողական ուժը։ Դրա համար էլ վանվող գազերը սկսած է տարածվել Արեգակի հակառակ ուղղությամբ։ Սակայն գիսավորն ունի նաև ուղեծրային արագություն։ Արդյունքը լինում է այն, որ գիսը որոշ չափով թեքվում է դեպի ուղեծիր։ Այդ թեքությունը կախված է վանող ու ձգող ուժերի հարաբերությունից։

Ֆ. Ա. Բրեդիխինը ցույց է տվել, որ եթե այդ հարաբերությունը 10-ից մեծ է, ապա գիսը լինում է ուրիճ ուղղագիծ և ունենում է Արեգակ-գիսավոր ուղղություն (I տիպի գիս)։ Եթե վանող ուժը քիչ է գերազանցում ձգողական ուժին, գիսը որոշ չափով թեքվում է դեպի ուղեծիր (II տիպի գիս) և վերջապես, այն դեպքում, երբ վանող ուժը ձգողականից որոշ չափով փոքր է, գիսը այնքան է թեքվում, որ ուրիճ տարածվում է ուղեծրի երկայնքով (III տիպի գիս)։ Հազվադեպ պատահում են նաև այնպիսի գիսեր, որոնց մի մասը ուղղված է դեպի Արեգակ։ Պարզ է, որ այս դեպքում գիսում առկա են համեմատաբար մեծ մասնիկներ։

Գիսավորի պայծառությունն ու գիսի երկարությունը աճում է Արեգակին մոտենալիս (մեկ աստղագիտական միավոր հեռավորության վրա գիսը օրական երկարում է շուրջ միլիոն կիլոմետրով). առավելագույնի է հասնում ուղեծրի արևամոտ կետում, որից հետո (տարածվում է գիսավորի առջևում) այն հետզհետե նվազում է, մինչև որ վերանում է, ու գիսավորը նախ երևում է մշուշապատ բծի տեսքով, իսկ այնուհետև՝ տեսադաշտից ամբողջովին անհետանում։

Գիսը կազմող գազերը իոնանում են, գրգռվում, այնուհետև վերաճառագայթում են այլ երկարության ալիքներ, որի շնորհիվ դառնում են տեսանելի։ Դրանց սպեկտրներում հայտնաբերվել են CO^+, CO^+_2 և N_2^+ իոնների գծեր։ Գիսում կան և փոքրիկ փոշեհատիկներ, որոնք, առանց փոփոխելու անդրադարձնում են արեգակնային լույսը։ Կորիզի գազային թաղանթում խտությունը համեմատաբար մեծ է և այստեղ նկատվում են նաև CH, OH, CH_2 և NH_2 չեզոք մոլեկուլների գծեր։

Մեծ մոլորակների, հատկապես Յուպիտերի, ձգողական ուժի ազդեցությամբ փոփոխվում են գիսավորների ուղեծրերը։ Մոտ անցման պահին, կախված գիսավորի և մոլորակի դասավորությունից ու գիսավորի շարժման ուղղությունից, ուղեծիրը, ինչպես և պտտման պարբերությունը կարող են փոքրանալ կամ մեծանալ։ Դրա հետևանքով է, որ գիսավորների մի մասի (թվով 45) ուղեծրերի արևահեռ կետը գտնվում է գրեթե Արեգակ-Յուպիտեր հեռավորության վրա։ Սրանք կազմում են «Յուպիտերյան ընտանիքը»։

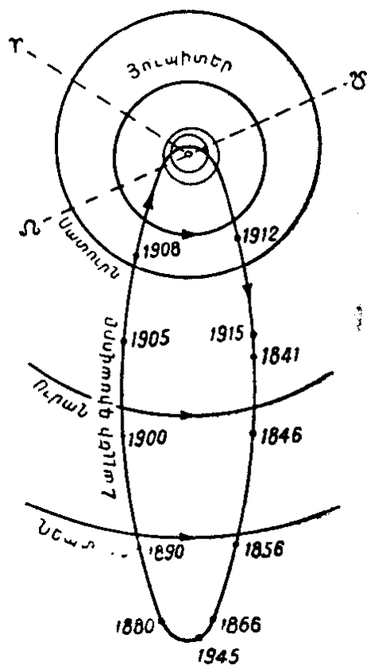
Գիսավորի արագությունը մեծանալիս երբեմն այնպես է լինում, որ այն գերազանցում է այդ հեռավորությանը համապատասխանող պարաբոլական արագությանը։ Այդպիսի գիսավորը մեկընդմիշտ հեռանում է Արեգակնային համակարգությունից՝ անցնելով միջաստղային տարածություն։

Տարեկան միջին հաշվով հայտնաբերվում են տաս գիսավոր, որոնց մոտ կեսը դիտվում է առաջին անգամ։ Այժմ հայտնի է շուրջ 600 գիսավոր։ Սովորաբար դրանք դիտվում են միայն աստղադիտակներով։ Շատ ավելի հազվադեպ են այնպիսի պայծառ գիսավորներ, որոնք դիտվում են անզեն աչքով։

Հալլեն ցույց տվեց, որ 1531, 1607 և 1682 թվականներին դիտված գիսավորների ուղեծրերը համընկնում են, և ըստ էության դրանք նույն գիսավորի տարբեր անցումներն են, ընդ որում գիսավորի պտտման պարբերությունը հավասար է 75—76 տարվա։ Հետագա դիտումները ապացուցեցին Հալլեյի ենթադրության ճշտությունը. գիսավորը (որին հետագայում անվանեցին Հալլեի գիսավոր) երևաց 1759, 1835 և 1910 թվականներին։ Առաջիկայում այն կերևա 1986—87 թվականներին։

Հետագայում հայտնաբերվեցին հարյուրավոր պարբերական

գիսավորներ։ Դրանց պարբերությունները գտնվում են 3-ից 1000 տարվա սահմաններում։ Սովորաբար կարճ պարբերություն ունեցող գիսավորները կամ պոչ չեն ունենում, կամ ունենում են փոքր չափերի։ Պատճառն այն է, որ ամեն անցման ժամանակ գազերի ու գոլորշիների հեռացումը փոքրացնում է դրանց քանակը գիսավորի կորիզում (գիսավորը յուրաքանչյուր անցման ժամանակ կորցնում է իր զանգվածի գրեթե 1/200 մասը)։



Նկ. 81. Հալլեյի գիսավորի ուղեծիրը (նրա դիրքը ուղեծրի վրա՝ տարբեր թվականներին)։

Պարբերական գիսավորների ճնշող մեծամասնությունն ունի ուղիղ շարժում. դրանց ուղեծրերը ունեն փոքր էքսցենտրիսիտետ և շարժվում են խավարածրի հարթությունից ոչ շատ հեռու։ Ավելի մեծ ձգվածության ուղեծրերով (գրեթե պարաբոլական ու հիպերբոլական) շարժվողները, ընդհակառակը, ունենում են ինչպես ուղիղ, այնպես էլ հակառակ շարժում, իսկ ուղեծրերը խավարածրի նկատմամբ ունեն ցանկացած դասավորություն։

Արեգակի մակընթացային ուժերի ազդեցությամբ գիսավորները երբեմն քայքայվում են՝ բաժանվում մասերի։ Այդպես եղավ, օրինակ, Բիելայի գիսավորի հետ, որի չափերը 1852 թ. անցման ժամանակ մեծացան ու այն բաժանվեց երկու մասի։ Հետագայում գիսավորը այլևս չերևաց. նրա փոխարեն նկատվեցին այդ նույն ուղեծրով շարժվող աստղների հոսքեր։

Գիսավորների կորիզը և նրան շրջապատող թաղանթը շատ մեծ չափեր ունեն, որոնք երբեմն գերազանցում են Արեգակին, իսկ գեսերը տարածվում էն հարյուր միլիոնավոր կիլոմետրեր։ Նրանք շարժվում են տարբեր ձգվածության ու դասավորության ուղեծրերով, որոնք հաճախ հատում են մոլորակների ուղեծրերը։ Նշանակում է հնարավոր է դրանց հանդիպումը մոլորակների և մասնավորապես Երկրագնդի հետ։ Սակայն գիսավորների զանգվածը շատ փոքր է։ Կենտրոնական մասի (գլխի) գազային թաղանթի մեկ խորանարդ սանտիմետրը հազիվ պարունակում է 10^5—10^{10} մոլեկուլ։

Գեսի խտությունն էլ հարյուր հազարավոր անգամ փոքր է մեր մթնոլորտի խտությունից։ Իսկ գեսը ավելի մեծ տարածություն է գրավում։ Նշանակում է շատ ավելի հավանական է հանդիպումը գեսի հետ։ Այդ դեպքում գեսը կազմող գազերը կխառնվեն մեր մթնոլորտի վերին շերտերի հետ և առանձնապես ոչինչ չի փոխվի (1910 թ., երբ Հալլեյի գիսավորը գտնվում էր Երկրագունդ—Արեգակ ուղղության վրա և Արեգակը փաստորեն դիտվում էր գեսի ամբողջ երկայնքով, չափողական գործիքները չզրանցեցին Արեգակի լույսի զգալի թուլացում)։

Ավելի քիչ հավանական է գիսավորի գլխի հանդիպումը Երկրագնդի հետ։ Հանդիպման դեպքում գիսավորը, մեծ արագությամբ մտնելով մթնոլորտ, շփման հետևանքով նրա ջերմաստիճանը կբարձրանա (հասնելով մի քանի հազար աստիճանի). շուտ ցրնդվող նյութերը անմիջապես կգոլորշիանան ու կխառնվեն մթնոլորտի վերին շերտերի հետ, իսկ պինդ կտորների մի մասը, արտաքինից այրվելով, կընկնի Երկրագնդի մակերևույթի վրա՝ առաջացնելով միայն տեղական մասշտաբի աղետներ, քանի որ գիսավորների կորիզի զանգվածը ընդամենը $4 \cdot 10^{15}$ գ կարգի է։ Նման մի դեպք, ինչպես այժմ ենթադրվում է, տեղի է ունեցել 1908 թ. Սիբիրում (Տունգուսկա գետի մոտ)։ Անկման ժամանակ տեղի ունեցած պայթմանը զուգակցել է օդային հսկա ալիք, որը արմատախիլ է արել անտառի 30 կմ շառավղով տիրույթի ծառերը, իսկ ձայնն այնքան ուժեղ է եղել, որ երկու անգամ պատվել է Երկրագնդի շուրջը։

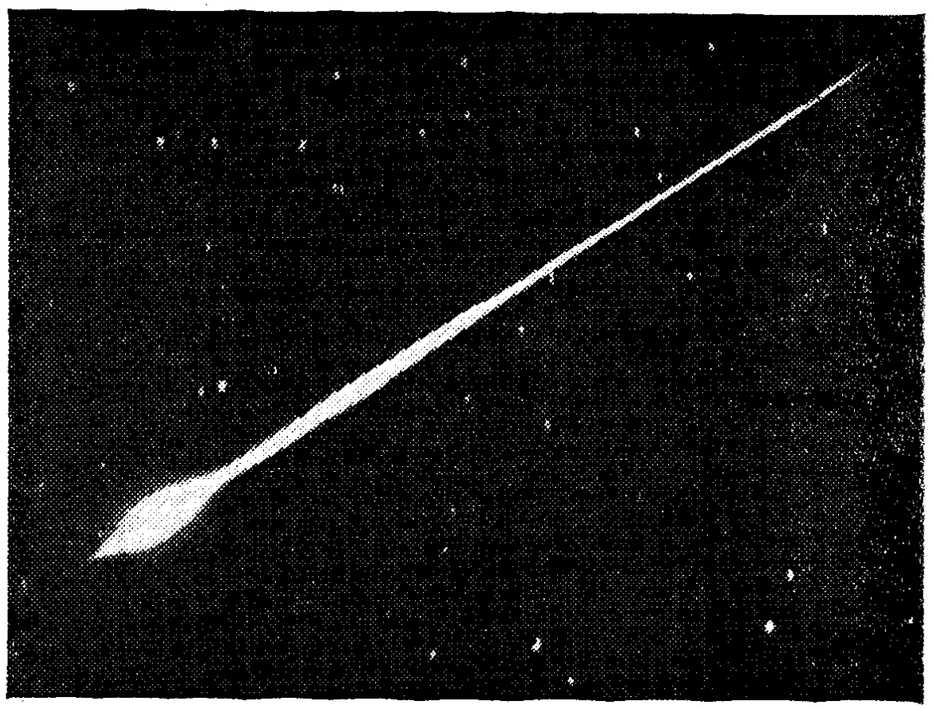
Գիսավորների առաջացումը բացատրելու նպատակով առաջ են քաշվել մի շարք վարկածներ։ Մասնավորապես, ըստ Հոլանդական աստղագետ Օորտի, Արեգակնային համակարգությունը շրջապատված է գիսավորների կորիզների հսկայական ամպով, որի չափերը հասնում են մինչև մեկ պարսեկի։ Ժամանակ առ ժամանակ, մոտ աստղերի ձգողական դաշտերի ազդեցության հետևանքով, դրանց մի մասը շարժվում է դեպի Արեգակնային համակարգություն և հետագայում շարժումը ենթարկվում է Արեգակի ձգողական դաշտին, այսինքն՝ դրանք դառնում են մեր համակարգության անդամներից։ Ըստ Ս. Վսեխսվյատսկու գիսավորները կազմող նյութը ժայթքել է մոլորակներից՝ ներքին պրոցեսների հետևանքով։

§ 66. Աստղեր և բոլիդներ

Միջմոլորակային տարածությունում կան տարբեր չափերի բազմաթիվ երկնաքարեր։ Դրանք սառած մարմիններ են, իրենց

սեփական լույսը չունեն և մեծ հեռավորությունների վրա չեն երևում։ Երկրին մոտ գտնվելիս, մի կողմից սեփական տարածական շարժման, մյուս կողմից Երկրագնդի ձգողական ուժի ազդեցությամբ մտնում են նրա մթնոլորտ։ Մթնոլորտի հետ շփվելով, դրանք շիկանում են և շիկացնում մթնոլորտի այն մասը, որով անցնում են։ Այդ շերտում տեղի է ունենում իոնացում և մոլեկուլների գրգռում, որից հետո մոլեկուլներն իրենց հերթին լուսարձակում են։ Առաջանում է **աստղային կամ «վայր ընկնող աստղերի» երևույթ** (պարզ է որ, դա աստղերի հետ ոչ մի առնչություն չունի)։ Աստղները կոչվում են նաև **մետեորներ** (բառացի՝ մթնոլորտում տեղի ունեցող երևույթ)։

Երկնաքարերի զանգվածը սովորաբար կազմում է գրամի տասնորդական կամ հարյուրերորդական մասեր։ Բարձր ջերմության շնորհիվ (մինչև 3000°C), շուրջ 100 կմ բարձրությունում դրանք ամբողջովին այրվում են, և առաջացած գազերը խառնվում մթնոլորտի հետ։ Համեմատաբար մեծ զանգված ունեցողները, որոնց քանակը շատ ավելի փոքր է, թափանցում են մթնոլորտի ավելի ստորին շերտերը՝ առաջացնելով լուսային ու ձայնային երևույթներ։ Դրանք կոչվում են **բոլիդներ**։ Վերջիններս այնքան պայծառ են, որ երբեմն դիտվում են նաև ցերեկը։ Բացառիկ դեպքերում



Նկ. 82. Բոլիդի անկումը։

առավել խոշոր աստղային մարմինների մի մասն ընկնում է Երկրագնդի մակերույթի վրա՝ պատճառելով տեղական մասշտաբի աղետներ (փոս, բախման ալիքի ազդեցություններ, ավերածություններ)։

Աստղերի թողած լուսավոր հետքի երկարությունը հասնում է մինչև 30 կմ-ի, իսկ լայնությունը՝ 50 մ-ի։ Պայծառ աստղերը երևում են նաև անզեն աչքով, իսկ թույլերը՝ աստղադիտակներով։

Աստղերի բարձրությունն ու շարժման արագությունը որոշելու համար կիրառվում են մի շարք եղանակներ։ Դրանցից է, օրինակ, իրարից հեռու գտնվող երկու վայրերից միաժամանակ նույն աստղի դիտումը։ Որոշվում է նրա բարձրությունը, ուղղությունը և թռիչքի տևողությունը, իսկ աստղային քարտեզի օգնությամբ՝ անցած ճանապարհը։

Ավելի արդյունավետ է լուսանկարչական մեթոդը։ Դիտակի օբյեկտիվի առջև դրվում է որոշակի պարբերությամբ պտտվող անթափանցիկ սեկտոր, որը հաջորդաբար փակում ու բացում է լույսի ճանապարհը։ Լուսանկարչական թիթեղի վրա աստղի հետագիծն ստացվում է կտրտված գծիկների տեսքով։ Դրանց երկարությունը կախված է երկնաքարի արագությունից, որը և չափվում է։

Աստղերի ուսումնասիրման համար այժմ լայնորեն օգտագործվում է նաև ռադիոլոկացիոն մեթոդը։ Արձակում են 3—10 մ ալիքային երկարության իմպուլսներ. արձակված և աստղերից անդրադարձած ռադիո-իմպուլսների ժամանակների տարբերությամբ որոշվում է աստղերի հեռավորությունը, որով, ինչպես նաև հաճախությունների դոպլերյան էֆեկտով, որոշվում է նաև շարժման արագությունը։ Ռադիոլոկացիոն մեթոդը հնարավորություն է տալիս աստղերն ուսումնասիրել նաև ցերեկը՝ անկախ եղանակից։ Պարզվել է, որ աստղերը շարժվում են մի քանի կմ/վրկ արագությամբ։

Դիտումներից որոշելով աստղերի շարժումը Երկրագնդի նկատմամբ և հաշվի առնելով Երկրագնդի առանցքային պտույտն ու նրա շարժումը Արեգակի նկատմամբ, կստանանք աստղերի արևակենտրոն ուղեծրերը։ Վերջիններիս բնույթից է կախված թե ինչ ծագում ունեն երկնաքարերը։ Եթե երկնաքարը շարժվում է էլիպսական ուղեծրով, ապա Արեգակնային համակարգության անդամ է, իսկ եթե շարժվում է պարաբոլական կամ հիպերբոլական ուղեծրով, ապա նա մեզ մոտ է թափանցել միջաստղային տարածությունից։ Ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ երկնաքարերի ճնշող մեծամասնությունը շարժվում է էլիպսական

ուղեծրերով։ Միջաստղային տարածությունից եկած երկնաքարերի քանակը շատ փոքր է (մեկ տոկոսից էլ պակաս)։

Մեր մթնոլորտում օրական տեղի են ունենում ավելի քան 100 միլիոն աստղային երևույթներ. ընդ որում թույլ պայծառության աստղները ավելի շատ են, քան պայծառները։ Վիճակագրական հաշվումները ցույց են տալիս, որ m աստղային մեծության աստղներ շուրջ 2,5 անգամ ավելի շատ են դիտվում, քան m—1 աստղային մեծության։

Աստղների քանակը կախված է ինչպես օրվա տվյալ ժամից, այնպես էլ տարվա եղանակից։ Եթե երկրագունդն անշարժ լիներ, բոլոր ուղղություններից մեր մթնոլորտ կթափանցեին գրեթե միևնույն քանակությամբ երկնաքարեր։ Սակայն երկրագունդը պտտվում է Արեգակի շուրջը՝ տարածության մեջ տեղափոխվելով 29,8 կմ/վրկ արագությամբ։ Նշանակում է մեր շրջապատում գտնվող երկնաքարերից ոչ բոլորը կմտնեն մթնոլորտ։ Առջևի կողմից երկնաքարերը, եթե ուղղված են դեպի Երկրագունդ, անպայման կմբտնեն մթնոլորտ։ Մթնոլորտ կմտնեն նաև այն երկնաքարերը, որոնք շարժվում են Երկրագնդի շարժման ուղղությամբ, բայց նրանց արագությունը փոքր է Երկրագնդի ուղեծրային արագությունից։ Այլ պատկեր կունենանք Երկրագնդի շարժման ուղղությանը հակառակ երեսում։ Այստեղ մթնոլորտ կմտնեն միայն այն երկնաքարերը, որոնք շարժվում են դեպի Երկրագունդ՝ այն դեպքում, եթե նրանց արագությունը գերազանցում է Երկրի արագությանը։ Քանի որ Երկրագնդի շարժման ուղղությամբ գտնվում է իր առավոտյան կողմը, նշանակում է աստղների քանակը առավոտյան կլինի մեծ, իսկ երեկոյան՝ փոքր։ Սովորաբար հյուսիսային միջին լայնություններում աստղներ ավելի շատ են դիտվում աշնանը և քիչ՝ գարնանը։ Պատճառն այն է, որ Երկրի ապեքսը (երկնոլորտի այն կետը, դեպի ուր տվյալ պահին շարժվում է Երկիրը) աշնանը ծագում է կեսգիշերից առաջ, իսկ գարնանը՝ կեսգիշերից հետո։ Այսինքն, աշնանը դիտումների համար նպաստավոր ժամանակամիջոցը ավելի երկարատև է, քան գարնանը։

Օրվա ընթացքում Երկրագնդի մթնոլորտ մտնող երկնաքարերի ընդհանուր զանգվածը կազմում է 10—20 տոննա։

Աստղների հոսք։ «Վայր ընկնող աստղերի անձրև» անվանվում է մեծաթիվ աստղների երևալը կարճ ժամանակամիջոցում (րոպեում դրանց թիվը երբեմն հասնում է հազարի)։ Այդ երևույթը տեղի է ունենում երկնաքարերի հոսքի հետ Երկրագնդի հանդիպման ժամանակ։ Քանի որ հոսքին պատկանող երկնաքարերն ունեն միևնույն տարածական արագությունը, նրանց հետագծերը երկնոլորտի վրա (շարժման հակառակ ուղղությամբ) կհատվեն մի կետում։ Վերջինս կոչվում է հոսքի ռադիանտ։

Հայտնի են հազարից ավելի աստղային հոսքեր։ Առավել հզորները կրում են այն համաստեղությունների անունները, որոնցում գտնվում են նրանց ռադիանտները։ Այսպես, Պերսեոս, Վիշապ և Առյուծ համաստեղություններում ռադիանտ ունեցող աստղների հոսքերը համապատասխանորեն կոչվում են Պերսեիդներ, Դրակոնիդներ և Լեոնիդներ։

Եթե աստղների հոսքը երևում է ամեն տարվա որոշակի ամիս-ամսաթվին, նշանակում է իր տարեպտույտի ընթացքում Երկիրը տվյալ ժամանակ հատում է երկնաքարերի այդ հոսքի ուղեծիրը, ընդ որում այդ երկնաքարերը ժամանակի ընթացքում ուղեծրով գրեթե հավասարաչափ ցրվել են։ Սովորաբար այդպիսին են աստղների հոսքերի մեծ մասը։ Պատահում է նաև այնպես, որ երևույթը կրկնվում է պարբերաբար, բայց ոչ ամեն տարի։ Դա ցույց է տալիս, որ երկնաքարերի այդ խումբը ուղեծրի երկայնքով հավասարաչափ չի բաշխված, այլ որոշ մասում (կամ մասերում) կուտակված է։

Պերսեիդները սովորաբար երևում են օգոստոսին (առավելագույն քանակությամբ աստղներ են լինում օգոստոսի 10—12-ին), իսկ Լեոնիդները՝ նոյեմբերի 12—14-ը, սակայն ոչ ամեն տարի ու ոչ միևնույն հզորությամբ։ Երևույթը առավելագույն ուժով կրկնվում է $33^1/_4$ տարի պարբերությամբ։

Այն փաստը, որ աստղների հոսքերի ուղեծրերը գրեթե համընկնում են որոշ, արդեն անհայտացած, գիսավորների ուղեծրերի հետ, հիմք է տալիս ենթադրել, որ երկնաքարերի այդ խմբերը առաջացել են համապատասխան գիսավորի քայքայումից։ Մասնավորապես Պերսեիդների ուղեծիրը համընկնում է 1862 III, Լեոնիդներինը՝ 1866 I, իսկ Դրակոնիդներինը՝ Ջիակոբինի-Ցինների գիսավորի ուղեծրերի հետ։

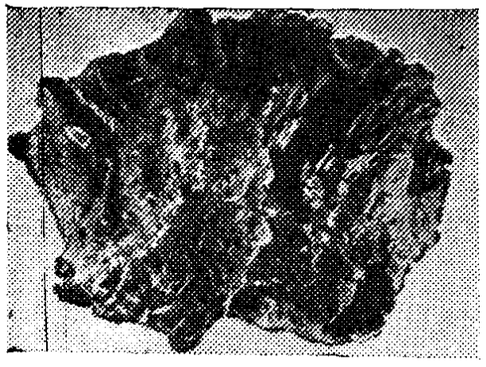
Մետեորիտներ։ Համեմատաբար մեծ երկնաքարերը, չհասցնելով ամբողջովին այրվել, ընկնում են Երկրագնդի մակերևույթի վրա կամ մինչ ընկնելը պայթում են օդում և Երկրագնդի վրա են թափվում նրանց բեկորները։ Դրանք կոչվում են մետեորիտներ (երկնաքարեր)։ Տարեկան Երկրագնդի վրա ընկնում է մոտ 2000 մետեորիտ, միջինում 100 կգ ընդհանուր զանգվածով։

Մետեորիտները հեշտությամբ կարելի է տարբերել շրջապատի քարաբեկորներից։ Նախ, նոր ընկած մետեորիտները լինում են տաք-

բացի այդ, նրանք լինում են հղկված ու մակերևութային փոսիկներով։ Մակերևույթը ծածկված է լինում մոտ 1 մմ հաստության հալված մուգ նյութով։ Այն հեշտ է տարբերվում մետաղական շլակից, քանի որ ներքին մասերում հալման պրոցես տեղի չի ունեցել և բացակայում են ներքին փոսերը. իսկ շլակում դրանք անհրաժեշտորեն գոյություն ունեն։ Մետեորիտներն ըստ իրենց կառուցվածքի ու քիմիական բաղադրության լինում են երկաթային (սիդերիտներ), քարային (աերոլիտներ) և երկաթա-քարային (սիդերոլիտներ)։

Երկաթային մետեորիտները շատ շուտ են ժանգոտվում, բացի այդ, այստեղ երկաթը բավականին փափուկ է և հեշտ է սղոցվում. դրանք լինում են մագնիսացված։ Քարայինները համեմատաբար ավելի դժվար են ջոկվում շրջապատի քարերից։ Սրանք սովորաբար ավելի մեծ խտության են. գրանիտի (խտությունը 3 գ/սմ³) նույն չափի կտորից մոտ երկու անգամ ավելի ծանր են։ Նոր ընկած մետաղային մետեորիտները լինում են սև, փայլող ու անողորկ. երկար մնալուց հետո ծածկվում են շագանակագույն-գորշ շերտով։ Քարայինները, սովորաբար, լինում են սպիտակ գույնի. սակայն պատահում են նաև տարբեր երանգներով (սկսած մոխրագույնից մինչև սև)։ Շատ հազվադեպ են պատահում ածխային մետեորիտները։ Սրանք նման են փայտի ածուխի, բայց ավելի ծանր են։ Մետեորիտի փշրանքը նման է բետոնի կամ ցեմենտի շաղախին, միայն թե նրանցում փայլատակում են մետաղական հատիկները (խոնդրիտներ)։ Վերջիններս երբեմն նկատվում են միայն խոշորացույցով։ Մետեորիտների նյութը երբեք երկրային նման շերտավոր կառուցվածք չի ունենում։

Մետեորիտների քիմիական տարրալուծությունը ցույց է տալիս, որ դրանք կազմված են այն նույն քիմիական տարրերից, որոնք հանդիպում են Երկրագնդի վրա։ Երկաթային մետեորիտների շուրջ 91 %-ը երկաթ է, 8,5%-ը՝ նիկել, 0,5 %-ը՝ կոբալտ։ Քարային մետեորիտների միայն 26 %-ն է երկաթ։ Այստեղ ամենաշատը թթվածինն է (36 %)։ Մյուս տարրերից մեծ տոկոս են կազմում կրեմնիումը (18 %) և մագնեզիումը (14 %)։ Այսպիսով, քա-



Նկ. 83. Մետեորիտ։

րային մետեորիտները նման են մեր բազալտներին, միայն թե դրանց մեջ մեծ է երկաթի պարունակությունը։ Մետեորիտների ռադիոակտիվությունն ընդհանրապես փոքր է։ Վերջիններիս օգնությամբ որոշվել է դրանց տարիքը։ Մետեորիտները տարբեր հասակի են՝ հարյուր միլիոնից մի քանի միլիարդ տարեկան։

Քիմիական միացությունների առկայությունը և բյուրեղային կառուցվածք ունենալը բերում է այն համոզման, որ երկնաքարային նյութը կազմավորվել է բարձր ջերմաստիճանի և մեծ ճնշման պայմաններում։ Ուստի ենթադրվում է, որ դրանք մի ժամանակ մտել են համեմատաբար մեծ զանգված ունեցող մարմնի մեջ։

Հետաքրքրական է նշել, որ պատմականորեն մարդը առաջին անգամ երկաթին ծանոթացել է մետեորիտների միջոցով և հետագայում է միայն կարողացել երկաթ ստանալ հանքային ապարներից։

Մետեորիտները արտաերկրային ծագում ունեն և կարևոր են Արեգակնային համակարգության ճանաչողության տեսակետից։ Դրանք համարվում են պետական սեփականություն, հավաքվում են ու պահվում հատուկ թանգարան-պահեստարաններում։

Սովորաբար մետեորիտը կոչվում է այն բնակատեղի անունով, որի մոտակայքում այն ընկել է։ Մեկ տոննայից ավել կշռով հայտնի են 30 մետեորիտներ։ Դրանցից ամենամեծը Գոբան է, որն ընկել է 1920 թ. Աֆրիկայում։ Այն կշռում է 60 տոննա և ունի 9 խորանարդ մետր ծավալ։ ՍՍՀՄ տարածքում ընկած մեծագույն մետեորիտներից է Սիխոտե-Ալինյան երկաթային մետեորիտը։ 1947 թ. Պրիմորյան երկրամասում, ուժեղ ձայնային ու լուսային էֆեկտների ուղեկցությամբ, մթնոլորտի ստորին շերտերին մոտեցավ մի պայծառ բոլիդ, որը մոտ 7 կմ բարձրության վրա պայթեց։ Նրա մի մասը գոլորշիացավ, իսկ բեկորների մի մասն էլ թափվեց գետնին՝ առաջացնելով տարբեր մեծության ավելի քան հարյուր փոսեր, որոնցից ամենամեծի խորությունը 6 մ է, տրամագիծը՝ 28 մ։ Ընկած բեկորների ընդհանուր կշիռը կազմում է 23 տոննա։ Ենթադրվում է, որ մինչ Երկրագնդի մթնոլորտ մտնելը երկնաքարն ունեցել է 1500 տոննա կշիռ։ Բեկորների սպեկտրալ ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ այդ մետեորիտի 93%-ը երկաթ է, 5%-ը՝ նիկել և 2%-ը՝ այլ նյութեր։

§ 67. Արհեստական երկնային մարմիններ

1. Առաջին, երկրորդ և երրորդ տիեզերական արագություններ։ Որոշենք Երկրագնդի կենտրոնից R հեռավորության վրա գտնվող

մարմնին հորիզոնական ուղղությամբ տրված այն արագությունը, որն անհրաժեշտ է մարմինը շրջանային ուղեծրով երկրագնդի շուրջը պտտվելու համար (մթնոլորտի դիմադրությունը հաշվի չի առնվում)։

Այդպիսի շարժման դեպքում որպես կենտրոնաձիգ ուժ կհանդիսանա երկրագնդի ձգողական ուժը։ Այսինքն՝

$$m \cdot g = \frac{m \cdot V^2}{R},$$

կամ՝

$$V = \sqrt{g \cdot R},$$

որտեղ՝ m-ը մարմնի զանգվածն է, V-ն՝ արագությունը, իսկ g-ն՝ ձգողական ուժի արագացումը R հեռավորության վրա։ Այդ նույն տառերով, բայց 0 ինդեքսով նշանակենք դրանք այն դեպքի համար, երբ մարմինը գտնվում է երկրագնդի մակերևույթի վրա։ Հայտնի է, որ ձգողական ուժը փոխվում է հակադարձ համեմատական հեռավորության քառակուսուն. այսինքն՝

$$\frac{g}{g_0} = \frac{R_0^2}{R^2}:$$

g-ի արժեքը տեղադրելով նախորդ հավասարության մեջ կստանանք՝

$$V = \sqrt{\frac{g_0 R_0^2}{R}}:$$

Այս արտահայտությունից երևում է, որ հեռավորության հետ շրջանային արագությունը փոքրանում է։

Եթե պտույտը կատարվի երկրագնդի մակերևույթին անմիջապես մոտ, կունենանք՝

$$V_0 = \sqrt{\frac{g_0 R_0^2}{R_0}} = \sqrt{g_0 R_0} = \sqrt{9{,}81 \text{ մ/վրկ}^2 \cdot 6371 \text{ կմ}} =$$

$$= 7912 \text{ մ/վրկ} \approx 7{,}9 \text{ կմ/վրկ}:$$

Այս արագությունը կոչվում է առաջին տիեզերական արագություն:

Շրջանային ուղեծրով շարժվող մարմնի՝ երկրի արհեստական արբանյակի, պտտման պարբերությունը հավասար կլինի՝

$$T = \frac{2\pi R}{V}:$$

Բայց, ինչպես տեսանք, R-ի մեծացման հետ փոքրանում է V-ն։ Նշանակում է R-ի մեծացման հետ կմեծանա նաև T-ն։ Երկրի մակերևույթին մոտ

$$T_0 = \frac{2\pi R_0}{V_0}:$$

Տեղադրելով R_0-ի և V_0-ի արժեքները, կստանանք $T_0 = 1$ ժամ 24 րոպե։

35800 կմ հեռավորության վրա գտնվող մարմինը երկրագնդի շուրջը կպտտվի այն նույն ժամանակամիջոցում, որքանում պտտվում է երկրագունդն իր առանցքի շուրջը։ Եթե այդ արբանյակի ուղեծրի և հասարակածի հարթությունները համընկնեն, ապա արբանյակն իր շարժման ընթացքում երկրագնդի տվյալ վայրի նկատմամբ կգրավի միևնույն անփոփոխ դիրքը։ Այդպիսի արբանյակը կոչվում է **ստացիոնար** (կայուն) **արբանյակ**: Իսկ եթե արբանյակի ուղեծիրը հասարակածի նկատմամբ թեքված է, երկրագնդի տվյալ վայրի նկատմամբ արբանյակն իր դիրքը կփոփոխի, սակայն մեկօրյա պարբերությամբ կգրավի նույն դիրքը։ Այդպիսի արբանյակը կոչվում է **պարբերական արբանյակ**:

Այժմ որոշենք այն նվազագույն արագությունը, որով օժտված մարմինը, գտնվելով երկրագնդի կենտրոնից R հեռավորության վրա, կկարողանա հաղթահարել երկրագնդի ձգողական դաշտը և մեկընդմիշտ հեռանալ նրանից։

Մարմնին dx չափով հեռացնելու համար պահանջվող աշխատանքը նշանակենք dA-ով։

$$dA = F \cdot dx = m \cdot a \cdot dx,$$

իսկ

$$\frac{a}{g} = \frac{R^2}{x^2},$$

որտեղ՝ x-ը մարմնի հեռավորությունն է երկրագնդի կենտրոնից։ a-ի արժեքը տեղադրելով և ձախ ու աջ մասերը ինտեգրելով, կստանանք՝

$$A = \int_R^\infty m \cdot \frac{gR^2}{x^2} dx = mgR:$$

Այդ աշխատանքը պետք է հավասար լինի մարմնին հաղորդված կինետիկ էներգիային

$$mgR = \frac{mV^2}{2}.$$

որտեղից՝

$$V = \sqrt{2gR} = \sqrt{gR} \cdot \sqrt{2}:$$

Այդ արագությունը կոչվում է պարաբոլական արագություն երկրագնդի կենտրոնից R հեռավորության համար։ Ինչպես երևում է վերջին արտահայտությունից, այդ արագությունը շրջանային արագությունից մեծ է $\sqrt{2}$-ով։ Եթե արձակումը կատարվում է երկրագնդի մակերևույթից, արագությունն անվանվում է երկրորդ տիեզերական արագություն։ Այն հավասար է՝

$$V_{II} = V_{պարաբ.} = 7{,}9 \text{ կմ/վրկ} \cdot \sqrt{2} = 11{,}2 \text{ կմ/վրկ}:$$

Որոշենք այն նվազագույն արագությունը, որով օժտված մարմինը կհաղթահարի ոչ միայն երկրագնդի, այլև Արեգակի ձգողական դաշտերը և մեկընդմիշտ կհեռանա Արեգակնային համակարգությունից։

Այդ մարմինը արձակվում է երկրագնդից։ Նշանակում է նախապես նա կունենա երկրագնդի շարժման արագությունը։ Ընդունելով երկրագնդի ուղեծիրը շրջանագիծ, կստանանք, որ նրա ուղեծրային արագությունը հավասար է՝

$$V = \frac{2\pi \cdot 149{,}6 \cdot 10^6 \text{ կմ}}{365,\ 25 \text{ օր}} = 29{,}8 \text{ կմ/վրկ}:$$

Որպեսզի երկրագունդը ազատվեր Արեգակի ձգողական դաշտից, նրա արագությունը պետք է լիներ՝

$$V_{երկ. պար.} = \sqrt{2} \cdot 29{,}8 \text{ կմ/վրկ} = 42{,}1 \text{ կմ/վրկ}:$$

Այդպիսին կլինի նաև մարմնի պարաբոլական արագությունը, այսինքն՝ մարմնին լրացուցիչ պետք է տրվի՝

$$42{,}1 \text{ կմ/վրկ} - 29{,}8 \text{ կմ/վրկ} = 12{,}3 \text{ կմ/վրկ}$$

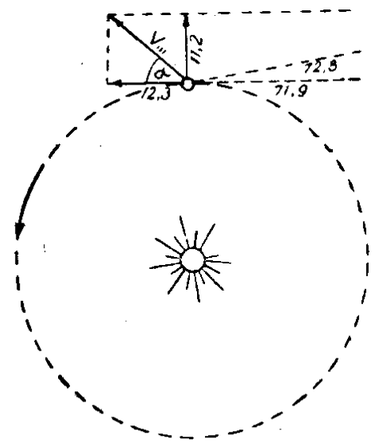
արագություն։ Սակայն մարմինը նորմալի ուղղությամբ պետք է ունենա 11,2 կմ/վրկ արագություն ևս, որպեսզի նա հաղթահարի նաև երկրագնդի ձգողական դաշտը։ Նշանակում է մարմնին պետք է տրվի այնպիսի արագություն, որի պրոյեկցիաներից մեկը երկրագնդի շարժման ուղղությամբ լինի 12,3 կմ/վրկ, իսկ դրան ուղղահայաց ուղղությամբ՝ 11,2 կմ/վրկ։ Այսպիսով Արեգակնային համակարգությունից հեռանալու համար մարմինը պետք է ունենա

$$V_{III} = \sqrt{(12{,}3 \text{ կմ/վրկ})^2 + (11{,}2 \text{ կմ/վրկ})^2} = 16{,}7 \text{ կմ/վրկ}$$

արագություն։ Այն կոչվում է երրորդ տիեզերական արագություն։

Գտնենք այդ արագության և երկրագնդի ուղեծրի շոշափողի կազմած անկյունը (α)։ № 84 գծագրից երևում է, որ

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{11{,}2}{12{,}3}, \text{ որտեղից՝ } \alpha = 42°19'։$$



Նկ. 84. Երրորդ տիեզերական արագության որոշելը։

Երրորդ տիեզերական արագությունը կլինի համեմատաբար փոքր, քանի որ այդ դեպքում օգտագործվում է նաև երկրագնդի ուղեծրային շարժումը[16]։ Ակնհայտ է, որ ամենամեծ արագություն կպահանջվի, եթե արձակումը կատարվի այնպիսի ուղղություն ու մեծություն ունեցող արագությամբ, որի պրոյեկցիաներից մեկը լինի 11,2 կմ/վրկ, իսկ մյուսը՝ $42{,}1 + 29{,}8 = 71{,}9$ կմ/վրկ։ Այդ դեպքում՝

$$V_{առավ.} = \sqrt{(71{,}9 \text{ կմ/վրկ})^2 + (11{,}2 \text{ կմ/վրկ})^2} = 72{,}8 \text{ կմ/վրկ}:$$

Ինչպես տեսանք, առաջին տիեզերական արագությամբ օժտված արհեստական արբանյակը երկրի շուրջը կպտտվի շրջանային ուղեծրով։ Առաջին տիեզերական արագությունից մեծ, բայց երկրորդից փոքր արագություն հաղորդելու դեպքում արբանյակը կպտտվի երկրագնդի շուրջը էլիպսական ուղեծրով, որի երկրամոտ կետը շարժիչի անջատման կետն է, իսկ մոտակա կիզակետում գտնվում է երկրագնդի ծանրության կենտրոնը[17]։ Էլիպսի ձգվածությունը կախված է հաղորդած արագության մեծությունից։ Արագությունը 11 կմ/վրկ լինելու դեպքում էլիպսի երկրահեռ կետը գտնվում է 384400 կմ հեռավորության վրա, այսինքն՝ այն ձգվում է մինչև Լուսնի ուղեծիր։

---

16 Քանի որ երկրագնդի շարժման արագության ուղղությամբ գտնվում է նրա առավոտյան կողմը, արձակումը կարելի է կատարել, օրինակ, առավոտյան ժամը 7-ին (դեկրետային ժամանակով), ընդ որում հրթիռը ուղղաձիգ ուղղությունից թեքված լինի 42°19'-ով դեպի արևմուտք։

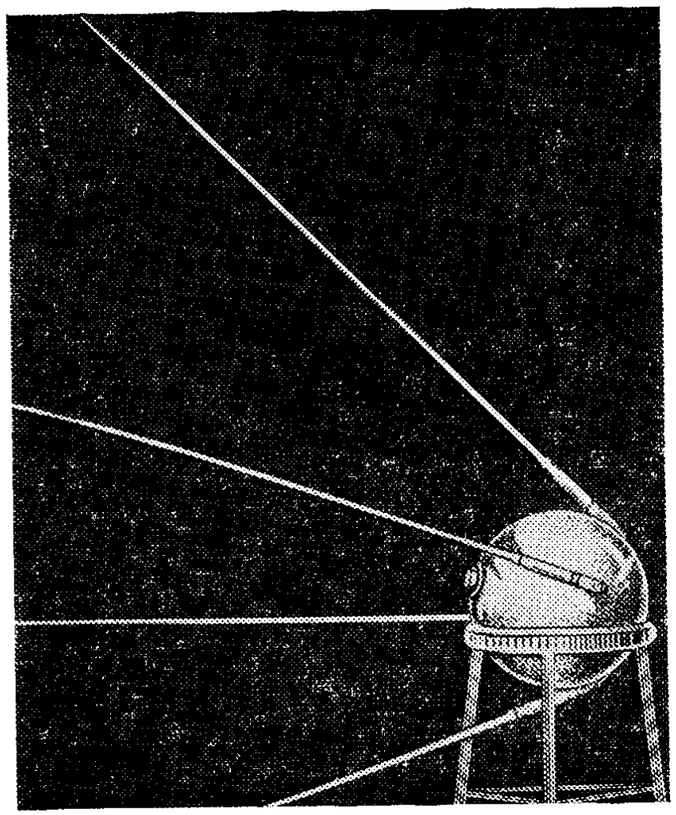
17 Եթե հաղորդվող արագությունը փոքր է շրջանային արագությունից, կարող է լինել երկու դեպք։ Երբ ուղեծիր դուրս գալու կետի բարձրությունը փոքր է, մարմնի ուղեծիրը կհատի երկրի մակերևույթը, այսինքն՝ այն էլիպսական ճյուղով կընկնի երկրի վրա։ Իսկ եթե ուղեծիր դուրս գալու կետի բարձրությունը բավականին մեծ է, մարմինը (արհեստական արբանյակը) երկրի շուրջը կպտտվի նորից էլիպսական ուղեծրով, սակայն այդ կետը կլինի ուղեծրի ոչ թե երկրամոտ, այլ երկրահեռ կետը։

Արագությունը 11,2 կմ/վրկ լինելու դեպքում ուղեծիրը դառնում է պարաբոլի ճյուղ, այսինքն՝ մարմինը երկրագնդի նկատմամբ պարաբոլով հեռանում է։ 11,2 կմ/վրկ-ից մեծ, բայց երրորդ տիեզերական արագությունից փոքր արագություն ունեցող մարմինը երկրագնդից հեռանում է հիպերբոլական ճյուղով և հետագայում էլիպսական ուղեծրով պտտվում Արեգակի շուրջը, այսինքն՝ դառնում արհեստական մոլորակ։ 16,7 կմ/վրկ արագությամբ օժտված մարմինը, եթե այն արձակված է երրորդ տիեզերական արագության ուղղությամբ, կհաղթահարի երկրագնդի և Արեգակի ձգողական դաշտերը և կտեղափոխվի միջաստղային տարածություն։ 16,7 կմ/վրկ-ից 72,8 կմ/վրկ արագությամբ արձակված մարմինները, կախված նրանց արագության ուղղությունից, կամ կհեռանան Արեգակնային համակարգությունից, կամ Արեգակի շուրջը կպտտվեն էլիպսական ուղեծրով։ 72,8 կմ/վրկ-ից մեծ արագություն ունեցող մարմինները (անկախ նրանց արագության ուղղությունից) կանցնեն միջաստղային տարածություն։

2. **Արհեստական արբանյակների արձակման և տիեզերական թռիչքների արդի փուլը:** 1957 թ. հոկտեմբերի 4-ին Սովետական Միությունից արձակվեց երկրի առաջին արհեստական արբանյակը. դրանով բացվեց տիեզերագնացության դարաշրջանը։ Արհեստական արբանյակը չափիչ գործիքների, չափումների արդյունքները հաղորդող ռադիո կամ հեռուստատեսային սարքավորումների և դրանց աշխատեցնելու համար էներգիայի սնուցման աղբյուրների համալիր է։ Այն ուղեծիր է հանվում հրթիռի օգնությամբ։ Ուղեծիր հասնելուց հետո նրան տրվում է համապատասխան արագություն, շարժիչն անջատվում է, որից հետո՝ իներցիայի ու երկրի ձգողական ուժի շնորհիվ արբանյակը շարունակում է իր պտույտը երկրի շուրջը։

Երկրի շուրջն արձակված արհեստական երկնային մարմինների քանակը այժմ հասնում է մի քանի հազարի։ Արհեստական արբանյակներ են արձակել նաև՝ ԱՄՆ-ը, Ֆրանսիան, Չինաստանը, Ճապոնիան, Անգլիան։ Իսկ որոշ երկրներ (Կանադա, Իտալիա, Ավստրալիա, ԳՖՀ) իրենց պատրաստած արբանյակներն ուղեծիր են դուրս բերել ամերիկյան հրթիռներով։ ՍՍՀՄ-ից արձակվել են «Կոսմոս», «Մոլնիա», «Պրոտոն», «Էլեկտրոն» և այլ տիպերի շուրջ հազար արբանյակներ։ Արձակվել են նաև հատուկ արբանյակներ («Ինտերկոսմոս»), որոնցում գտնվում են սոցիալիստական երկրների պատրաստած սարքավորումներ։ Համատեղ ուսումնասիրություններ են կատարում ՍՍՀՄ-ի և Ֆրանսիայի գիտնականները։

Սովետական Միության հրթիռով արձակվել է նաև հնդկական արհեստական արբանյակ։



Նկ. 85. Երկրի առաջին արհեստական արբանյակը։

Արբանյակներն այժմ ծառայում են հետևյալ նպատակների.

ա) Ուսումնասիրում են մեր մոլորակի վերին շերտերի կառուցվածքն ու նրանցում կատարվող երևույթները (քիմիական բաղադրություն, մագնիսական դաշտ, տիեզերական ճառագայթներ, Արեգակի գործունեության ազդեցություններ և այլն)։

բ) Օդերևութաբանական արբանյակները որոշում են ամպերի բաշխվածությունը, նրանց արագությունն ու տեղափոխման ուղղությունը, մոլորտի տվյալ շերտի ջերմաստիճանի ու խտության փոփոխությունները և այլն։ Դրանցով հնարավորություն է ստեղծվում ավելի ճշգրիտ և երկարատև ժամանակամիջոցի համար կանխատեսել եղանակը, գտնել ցիկլոնների, փոթորիկների, թայֆունների առաջացման օջախները։ Այդ արբանյակներով որոշում են սառցասարերի տեղափոխումները օվկիանոսներում, հայտնաբերում են տայգաներում բռնկված հրդեհները և այլն։

գ) Արբանյակներով և երկրային դիտման կայաններով ճըշգըրտվում են երկրի աշխարհագրական քարտեզները (որոշում են տեղի աշխարհագրական կոորդինատները, մայր ցամաքների ու կղզիների փոխադարձ դասավորությունը), որոշում երկրի իրական ձևն ու չափերը։

դ) Արբանյակների շարժման ուղեծրերի փոփոխությունների, ինչպես նաև արբանյակներից կատարված լուսանկարումների օգնությամբ կազմում են երկրաբանական հատուկ քարտեզներ, որոնք մեծ կարևորություն ունեն հանքային հարստությունների հայտնաբերման համար։

ե) Արբանյակները ծառայում են որպես էժան ու հուսալի ռադիո, հեռագրային, հեռուստատեսային ու հեռախոսային կապի միջոց։

զ) Արհեստական արբանյակների վրա տեղադրված աստղադիտակները հնարավորություն են տալիս ավելի լրիվ ու բազմակողմանիորեն ուսումնասիրել երկնային մարմիններն ու համակարգերը, քանի որ երկրային ուսումնասիրությունների ժամանակ մեր մթնոլորտը կլանած է լինում լուսատուներից եկող էլեկտրամագնիսական ալիքների մի զգալի մասը։

է) Արբանյակներն օգտագործվում են նաև հեռավոր նավագնացության և օդագնացության մեջ՝ կողմնորոշվելու նպատակով։

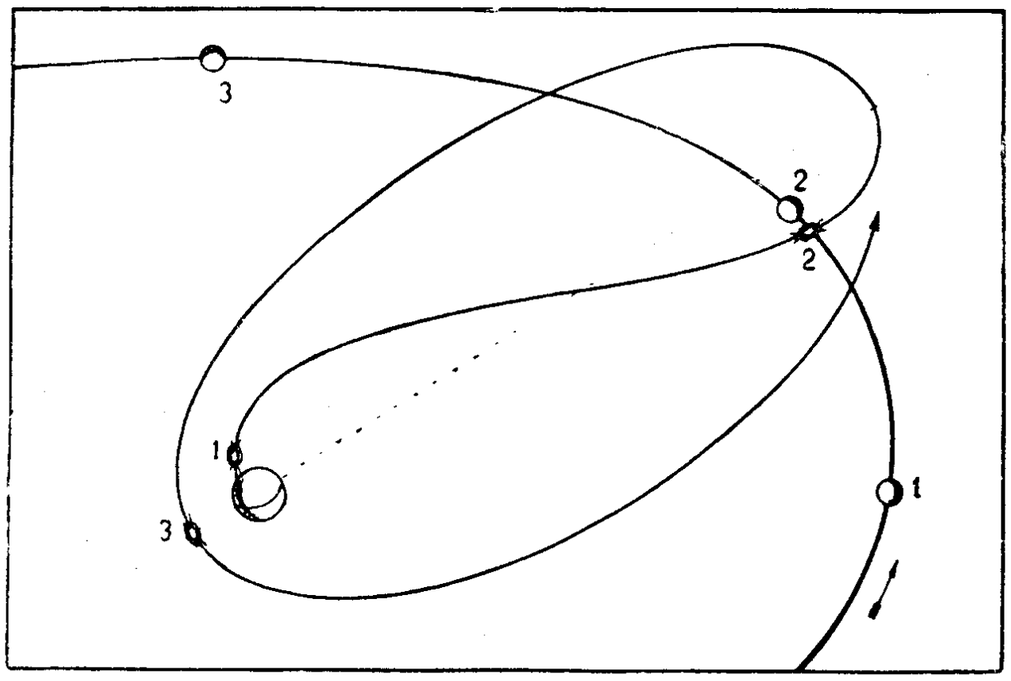
ը) Դժբախտաբար որոշ երկրներ արբանյակներն օգտագործում են նաև ռազմական նպատակներով։

Արձակված արբանյակների կշիռն ու ծավալը այնքան մեծ էին, որ նրանց մեջ կարելի էր նաև մարդկային անձնակազմ տեղավորել։ Սակայն նախքան մարդկային անձնակազմով տիեզերանավեր ուղարկելը անհրաժեշտ էր լուծել նրանց անվնաս վերադարձի հարցը և հաշվի առնել տիեզերագնացության յուրահատկությունները՝ թթվածնի բացակայություն, մթնոլորտային ճնշման անկշռություն, ջերմաստիճանային ուժեղ տատանումներ և այլն։ Այդ պատճառով տիեզերագնացը երկրից դուրս պետք է մշտապես գտնվի հերմետիկորեն փակված խցիկում կամ հատուկ զգեստում (սկաֆանդր), ուր արհեստականորեն ստեղծված լինեն կենսական անհրաժեշտ պայմաններ։

Մինչև մարդկային անձնակազմ Տիեզերք ուղարկելը, ուղեծիր դուրս բերվեցին փորձարկվող կենդանիներ (շներ, կապիկներ, ճագարներ, մկներ, մանրէներ և այլն), ուսումնասիրվեցին նրանց օրգանների աշխատանքը տարբեր պայմաններում, բացահայտվե-

ցին զանազան երևույթների ունեցած հիվանդագին ազդեցությունները, մշակվեցին բուժման մեթոդները, որից հետո օրակարգի հարց դարձավ մարդկային անձնակազմ ուղարկելը։

Առաջին տիեզերական թռիչքը մարդկային անձնակազմով տեղի ունեցավ 1961 թ. ապրիլի 12-ին։ Յու. Գագարինը «Վոստոկ» արբանյականավով մեկ պտույտ կատարեց Երկրագնդի շուրջը և վայրէջք կատարեց նախատեսված վայրում։ Այժմ թռիչք գործած տիեզերագնացների թիվը հասնում է մի քանի տասնյակի. դրանց թվում է նաև կին տիեզերագնաց Վ. Տերեշկովան։



Նկ. 86. Սովետական երրորդ տիեզերական հրթիռի շարժման սխեման։ Սխեմայի վրայի թվերը նշանակում են Լուսնի և հրթիռի դիրքերը. 1—հրթիռի արձակման պահին, 2—նրանց ամենամոտ մոտեցման պահին, 3—հրթիռը երկրի մոտով անցնելու պահին։

1959 թ. հունվարի 2-ին ՍՍՀՄ-ից արձակվեց առաջին տիեզերական հրթիռը դեպի Լուսին։ Հրթիռը զարգացրեց 11,4 կմ/վրկ արագություն։ Լուսինը որոշ չափով շեղեց նրա ճանապարհը, բայց ամբողջովին գերել չկարողացավ և հրթիռը շարունակեց իր ճանապարհը, հետագայում պտտվելով Արեգակի շուրջը՝ դարձավ առաջին արհեստական մոլորակ։ Երկրորդ տիեզերական հրթիռը արձակվեց նույն թվականի սեպտեմբերի 12-ին (ՍՍՀՄ-ից)։ Այն ընկավ Լուսնի մակերևույթի վրա։ Երրորդ տիեզերական հրթիռը արձակվեց (ՍՍՀՄ-ից) 1959 թ. հոկտեմբերի 4-ին։ Այն լուսանկա-

րեց Լուսնի մակերևույթի մեզ չերևացող երեսը և հաղորդեց Երկիր։

Լուսնի ուսումնասիրման նպատակով հետագայում բազմաթիվ արձակումներ կատարվեցին։ Ստեղծվեցին լուսնաշուրջ ուղեծրով պտտվող արբանյակներ, ավտոմատ սարքերը փափուկ վայրէջք կատարեցին Լուսնի մակերևույթի վրա, իսկ 1969 թ. Հուլիսի 19-ին երկրային պատգամավորները առաջին անգամ ոտք դրեցին Լուսնի վրա (ԱՄՆ-ի տիեզերագնացներ Ն. Արմստրոնգը և Ջ. Օլդրինը)։ Լուսնի վրա իջած տիեզերագնացների քանակը այժմ մեկ տասնյակից ավելի է։ Առաջին վեց արշավների ընթացքում տիեզերագնացները Լուսնի մակերևույթի վրա ընդհանուր հաշվով եղել են 80 ժամ։ Մոտ տարածությունից լուսանկարվել է Լուսնի մակերևույթի մեզ երևացող ու չերևացող մասերը, մի քանի հարյուր կիլոգրամ լուսնային ապարներ են բերվել Երկիր։ Լուսնի վրա դրվել են շարժագիրներ (սեյսմոգրաֆ) ու լազերային անդրադարձիչներ։ Այդ բոլորը բավականին հարստացրեցին մեր գիտելիքները Լուսնի մասին։

Նկ. 87. Երկիրը (վերևում) լուսանկարված Լուսնից։

1961 թվականից տիեզերական հրթիռներ ուղարկվեցին դեպի Վեներա։ 1966-ին սովետական ավտոմատ կայանը փափուկ վայրէջք կատարեց Վեներայի մակերևույթի վրա։ Հետագայում ուղարկված սովետական ու ամերիկյան ավտոմատ կայանները բազմաթիվ նոր տվյալներ հաղորդեցին Վեներայի մթնոլորտի բաղադրության և նրանում կատարվող երևույթների, մակերևույթի բնույթի վերաբերյալ։ 1975 թ. հոկտեմբերի 22-ին Վեներայի վրա իջած սովետական ավտոմատ կայանը Երկիր հաղորդեց Վեներայի լանդշաֆտի լուսանկարը։

Սովետական ու ամերիկյան ավտոմատ կայաններ են ուղարկվել նաև դեպի Մարս, որոնք բավականին հետաքրքրական տվյալներ են հաղորդել այդ մոլորակի ու նրա արբանյակների մասին։ Այժմ Մարսի շուրջը պտտվում են սովետական երկու և ամերիկյան՝ մեկ արհեստական արբանյակներ։

1973 թ. դեկտեմբերին ամերիկյան «Պիոներ—10» տիեզերական ավտոմատ կայանն անցավ Յուպիտերի մոտով և նոր ու անսպասելի տվյալներ հաղորդեց նրա մասին։ Ավտոմատ կայանները մոտ տարածությունից լուսանկարեցին նաև Մերկուրու մակերևույթը[18]։

1975 թ. հուլիսին սովետական ու ամերիկյան տիեզերագնացները համատեղ թռիչք գործեցին։ «Սոյուզ» և «Ապոլոն» տիեզերանավերը համակցվեցին ու տիեզերագնացները մի տիեզերանավից անցան մյուսը, և կատարեցին համատեղ գիտական փորձեր։

Առաջիկայում ծրագրվում է շարունակել մեր մթնոլորտի, այդ թվում նաև նրա միջին ու ստորին շերտերի ուսումնասիրությունները սատելիտների օգնությամբ (այնպիսի արբանյակների, որոնք մթնոլորտի դիմադրությունը հաղթահարելու համար ունենան փոքր հզորության, բայց մշտապես աշխատող շարժիչներ)։

Երկրի հասարակածի հարթության մեջ, նրա շուրջը կարձակվեն երեք արբանյակ, որոնց հեռավորությունը Երկրի կենտրոնից հավասար լինի 35800 կմ-ի և իրարից գտնվեն 120° անկյան տակ։ Այդ արբանյակների պտտման պարբերությունը, ինչպես տեսանք, հավասար կլինի Երկրի առանցքային պտտման ժամանակամիջոցին, և նրանցից կերևա Երկրի ամբողջ մակերևույթը (բացառությամբ բևեռամերձ շրջանների)։ Դրանք հնարավորություն կտան հեռուստատեսային կապ ստեղծել Երկրի ցանկացած վայրերի միջև։

Կշարունակվեն Լուսնի, Վեներայի ու Մարսի ուսումնասիրությունները։ Ավտոմատ կայաններ կուղարկվեն նաև դեպի Յուպիտեր ու Սատուրն, կընդարձակվեն արտամթնոլորտային աստղագիտական ուսումնասիրությունները։ Կլուծվեն մարդկային անձնակազմ Մարս ուղարկելու հետ կապված պրոբլեմները։ Դրանք կընդարձակեն մեր գիտելիքները Արեգակնային համակարգության մասին, մեր մթնոլորտի ու նրանում կատարվող երևույթների մասին։ Տիեզերագնացությունն ավելի ու ավելի մեծ չափով կօգտագործվի ժողովրդական տնտեսության տարբեր բնագավառներում՝ մարդկային պահանջները բավարարելու նպատակով։

---

18 Այդ մոլորակների մասին ստացված նոր տեղեկությունները շարադրված են «Արեգակնային համակարգության մարմինների ֆիզիկական բնույթը» բաժնում։

Գլուխ VII

ԱՐԵԳԱԿ

§ 68. Արեգակը որպես ուսումնասիրության օբյեկտ

Արեգակը մոլորակներից տարբերվում է ոչ միայն իր չափերով ու զանգվածով: Նրա կարևորագույն հատկությունը, որը բնութագրում է երկնային մարմինների մի ամբողջ դաս՝ աստղերին, ճառագայթման ունակությունն է: Արեգակը սովորական մի աստղ է, մեզ ամենամոտ աստղը: Աստղերի հեռավորությունների համեմատ իր շատ փոքր հեռավորության շնորհիվ է միայն Արեգակը դիտվում որպես ամենապայծառ լուսատուն երկնքում:

Արեգակի ճառագայթման ազդեցությամբ է պայմանավորված նրա եզակի և անփոխարինելի դերը մեր կյանքում՝ այդ ճառագայթմանն է պարտական կյանքի գոյությունը Երկրագնդի վրա: Նա է էներգիայի գրեթե բոլոր (բացառություն են կազմում հրաբխային, մակընթացային, ատոմային և ջերմամիջուկային երևույթները) տեսակների աղբյուրը, կենսական և ֆիզիկական պրոցեսների հարուցիչը մեր մոլորակի վրա:

Արեգակի ուսումնասիրությունը հսկայական նշանակություն ունի թե՛ գիտական և թե գործնական տեսակետից: Նրա մոտիկության շնորհիվ հնարավոր է այն ուսումնասիրել շատ ավելի մանրամասն ու բազմակողմանիորեն, քան մյուս աստղերը: Շնորհիվ դրա հաջողվել է բացահայտել նրա այնպիսի առանձնահատկությունները (ռադիոճառագայթում, մթնոլորտի կառուցվածք, տարբեր մասերի ֆիզիկական վիճակը, առանցքային պտույտ, սեղմվածություն և այլն), որոնք անմատչելի կամ դժվար մատչելի են մյուս աստղերի դեպքում: Այդ բանը զգալիորեն ընդլայնում է մեր պատկերացումները աստղային աշխարհի և, ընդհանրապես, նյութի տիեզերական վիճակների մասին:

Ոչ պակաս կարևոր է Արեգակի ուսումնասիրությունը Երկրագնդի վրա նրա ունեցած ազդեցությունների տեսակետից: Երկրագնդի մթնոլորտում և նրա մակերևույթի վրա ընթացող բոլոր երևույթները, որոնք կենսական դեր են խաղում մեր կյանքում, պայմանավորված են Արեգակի ձգողական և ճառագայթային ազդեցությամբ: Այդ երևույթների խորն ուսումնասիրությունը, նրանց հետ կապված օրինաչափությունների բացահայտումը մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում Արեգակի ֆիզիկայի, ինչպես նաև այդ երևույթների գործնական կիրառությունների համար:

Հետաքրքիր է պարզել, թե Արեգակի ճառագայթած ընդհանուր էներգիայի որ մասն է հասնում մեր մոլորակին և պայմանավորում Արեգակի էներգետիկ ազդեցությունը նրա վրա: Քանի որ Արեգակը ճառագայթում է բոլոր ուղղություններով հավասարաչափ, ապա Երկրին հասնում է նրա ընդհանուր ճառագայթման միայն այն մասը, որն ընկնում է Երկրի՝ Արեգակից դիտվող սկավառակի վրա:

Հետևաբար, Արեգակի արձակած ընդհանուր էներգիայի Երկրին հասնող մասը կորոշվի Երկրի սկավառակի և Արեգակ-Երկիր հեռավորությանը հավասար շառավիղ ունեցող գնդի մակերեսների հարաբերությամբ.

$$p = \frac{\pi R^2}{4\pi a^2},$$

որտեղ՝ a-ն Երկրի միջին հեռավորությունն է Արեգակից կամ աստղադիտական միավորը ($1{,}496.10^{13}$ սմ), իսկ R-ը՝ Երկրի շառավիղը ($0{,}64.10^9$ սմ):

p-ի արտահայտության մեջ տեղադրելով a-ի և R-ի արժեքները կստանանք՝

$$p = \frac{1}{2{,}2 \times 10^9}:$$

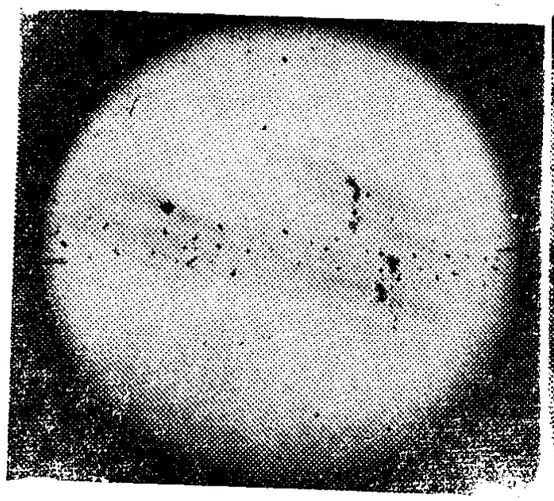
Այդպիսին է Արեգակի ճառագայթման այն մասը, որը հասնում է Երկիր: Երկրի մթնոլորտի կողմից այդ ճառագայթման գերակշռող բաժինը, այնուհետև, ցրվում է միջմոլորակային տարածությունում: Միայն այդ էներգիայի մի քանի տոկոսն է նրա կողմից կլանվում և օգտագործվում: Սակայն, Արեգակի էներգիայի այդ չնչին բաժինն էլ բավարար է մեր մոլորակի վրա կյանքի գոյությունն ապահովելու համար:

§ 69. Արեգակի արտաքին տեսքը

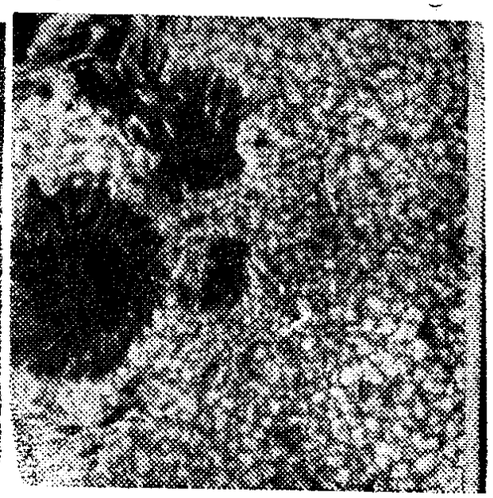
Արեգակը երևում է պայծառ սկավառակի ձևով: Այդ սկավառակի անկյունային չափերը փոխվում են կախված Արեգակի և

երկրի փոխադարձ հեռավորությունից։ Արեգակի շուրջը երկրի տարեկան պտույտի ընթացքում Արեգակի անկյունային տրամագիծը փոփոխվում է 30—32′ սահմաններում։

Արեգակի սկավառակի վրա պայծառությունը բաշխված է անհավասարաչափ։ Երբ մեր մթնոլորտի թափանցիկությունը բարձր է, Արեգակի սկավառակը դիտվում է հատիկավոր տեսքով։ Այդ



Նկ. 88. Արեգակի արտաքին տեսքը։ Լավ երևում են արևաբծերը։ Նկատելի է նաև պայծառության նվազումը դեպի եզրերը, որը պայմանավորված է մթնեցման երևույթով։



Նկ. 89. Արևաբծեր։ Նկարը ստացված է մեծ բարձրությունից, այդ նպատակով բաց թողնված բալոնի վրայից։

երևույթը կոչվում է գրանուլացում, դիտվող առանձին պայծառ հատիկների՝ գրանուլների անունով, որոնք հավասարաչափ տարածվում են Արեգակի սկավառակի վրա։ Գրանուլների պայծառությունը 35—40 %-ով գերազանցում է միջգրանուլային տարածության պայծառությունը։ Գրանուլացման երևույթը հատկապես լավ է երևում Արեգակի մեծ լուծունակությամբ ստացված լուսանկարների վրա։ Առանձին գրանուլների չափերը սովորաբար կազմում են 1—1″,5[19]։ Գրանուլները շատ անկայուն կազմավորումներ են։ Նրանց կյանքի տևողությունը սովորաբար չի անցնում 10 րոպեից։

[19] Արեգակի հեռավորության վրա 1,5 անկյունային վայրկյանը համապատասխանում է շուրջ 1000 կմ։ Այսպիսով, գրանուլների չափերը 1000 կմ կարգի են։

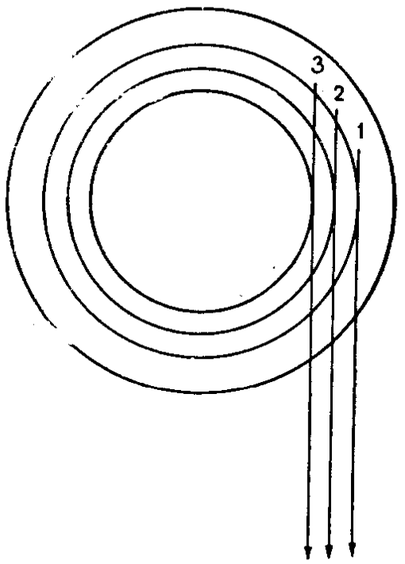
Արեգակի սկավառակի ամենաաչքի ընկնող կազմավորումները արևաբծերն են, որոնք գրեթե միշտ առկա են նրա վրա։

Արևաբծերում լավ զատվում են մութ կենտրոնական միջուկը՝ ստվերը և այն շրջապատող, դեպի դուրս ձգված, բազմաթիվ թելիկներից կազմված, ավելի պայծառ կիսաստվերը։ Արևաբծերն իրենց չափերով զգալիորեն մեծ են գրանուլներից, սակայն, նրանց մեծ մասի չափերը չեն անցնում 1′-ից։ Միայն երբեմն հանդիպում են արևաբծեր և նրանց խմբեր, որոնք ունեն 1—2′ չափեր և շատ լավ երևում են անզեն (բայց ուժեղ լույսից պաշտպանված) աչքով։ Արևաբծերը նույնպես անկայուն կազմավորումներ են։ Նրանց կյանքի տևողությունը չափվում է ժամերով, հաճախ օրերով։ Փոփոխական է ոչ միայն արևաբծերի քանակը, այլև նրանց դասավորությունը Արեգակի սկավառակի վրա։

Արեգակի լավ պատկերների դեպքում նրա սկավառակի վրա երևում են նաև անկանոն տեսքի, երբեմն թելիկաձև, լուսավոր կազմավորումներ, որոնց պայծառությունը ավելի մեծ է սկավառակի ընդհանուր պայծառությունից։ Այդ կազմավորումները՝ ջահերը, որոշ դեպքերում կազմում են մեծ չափերի և բարդ կառուցվածքի տիրույթներ՝ ջահային դաշտեր։

Գրանուլները, արևաբծերը և ջահերը դիտվում են սպեկտրի լայն տիրույթում կամ, ինչպես ընդունված է ասել, ինտեգրալ լույսում։ Նրանք պատկանում են Արեգակի մակերևութային այն շերտերին, որոնք արձակում են նրա ճառագայթային էներգիայի, մասնավորապես լույսի, հիմնական մասը։ Այդ շերտերը կազմում են Արեգակի տեսանելի մակերևույթը և որոշում նրա սկավառակի դիտվող սահմանը. այդ մակերևույթը կոչվում է լուսոլորտ։ Այսպիսով, գրանուլները, արևաբծերը և ջահերը լուսոլորտային կազմավորումներ են։

Հիշյալ կազմավորումները դիտվում են որպես Արեգակի սկավառակի պայծառության տեղական անհամասեռություններ։ Արեգակի սկավառակի պայծառության օրինաչափ անհամասեռություն է նրա որոշակի նվազումը սկավառակի կենտրոնից դեպի եզրերը։ Այդ երևույթը կոչվում է մթնեցում դեպի եզրը։ Նրա ազդեցությունը ուժեղ է ուլտրամանուշակագույն ճառագայթներում և, աստիճանաբար, նվազում է դեպի երկար ալիքները։ Մթնեցում չի դիտվում արդեն 8—10 միկրոն ալիքներում։ Մթնեցման երևույթը վկայում



Նկ. 90. Մթնեցման երևույթի էությունը։ Արեգակի լուսոլորտի ավելի խոր շերտերից անցնում են նրա սկավառակի կենտրոնին ավելի մոտ գտնվող ճառագայթները։ Ուստի «3» ճառագայթին համապատասխանում է ավելի մեծ պայծառություն (չերմաստիճան), քան «2», ավելի ևս «1» ճառագայթներին։

է այն մասին, որ Արեգակի չերմաստիճանը աճում է դեպի նրա կենտրոնը։ Այդ պատճառով սկավառակի կենտրոնական մասից եկող ճառագայթումը համապատասխանում է լուսոլորտի ավելի խոր, հետևաբար ավելի բարձր չերմաստիճան ունեցող շերտերին, քան կենտրոնից հեռու գտնվող շերտերից եկող ճառագայթումը, որը համապատասխանում է ավելի ու ավելի արտաքին շերտերին, որոնց չերմաստիճանն ավելի ցածր է։ Բնականաբար, Արեգակի սկավառակի կենտրոնական մասում, պայծառությունն ամենամեծն է և նվազում է դեպի նրա եզրերը։ Դեպի սկավառակի եզրերը մթնեցման երևույթի այս տրամաբանական մեկնաբանությունը անմիջականորեն հետևում է նկ. 90-ից։

§ 70. Արեգակի առանցքային պտույտը

Արեգակի պտույտն իր առանցքի շուրջը հայտնաբերել է Գալիլեյը 1610 թվականին, արևաբծերի շարժումների հիման վրա, որոնք տեղի են ունենում Արեգակի սկավառակի արևելյան եզրից դեպի արևմտյան եզրը։ Արևաբծերի այդ շարժումները լավ երևում են հատկապես մեծ արևաբծերի դեպքում, որոնք իրենց կյանքի համեմատաբար երկար տևողության շնորհիվ, կարող են դիտվել նաև հաջորդ պտույտի ժամանակ։

Արևաբծերի շարժումների ուսումնասիրության հիման վրա որոշվել են Արեգակի պտտման առանցքի, ինչպես նաև հասարակածի ուղղությունները, ինչպես նաև նրա առանցքային պտտման պարբերությունը։

Արեգակի հասարակածի հարթությունը երկրի շարժման (խավարածրի) հարթության հետ կազմում է 7°,25 անկյուն։ Հետևաբար, Արեգակի առանցքը խավարածրի հարթության հետ կազմում է 82°,75 անկյուն։ Երկիրն իր շարժման ընթացքում Արեգակի հասարակածի հարթությունը հատում է հունիսի և դեկտեմբերի ընկըզքներին։ Տարվա առաջին կեսին մեզ ուղղված է Արեգակի հարավային կիսագունդը, իսկ երկրորդ կեսին՝ հյուսիսային կիսագունդը։

Արեգակի պտտման սիդերիկ (աստղերի նկատմամբ) պարբերությունը (P), տարբերվում է նրա պտտման դիտվող (սինոդիկ) պարբերությունից (S), քանի որ մենք Արեգակը դիտում ենք նրա շուրջը պտտվող Երկրի վրայից։ Սիդերիկ պարբերությունը որոշվում է սինոդիկ պարբերության և Արեգակի շուրջը Երկրի պտտման պարբերության E միջոցով, մեզ արդեն հայտնի

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{S} + \frac{1}{E}$$

կապից։

Արևաբծերի շարժման անկյունային արագությունը (ω) կախված է Արեգակի հասարակածից նրանց ունեցած անկյունային հեռավորությունից՝ տեղի հելիոգրաֆիական լայնությունից (φ), և նվազում է վերջինիս հետ։ Մեծ քանակությամբ արևաբծերի շարժումների հիման վրա որոշված այդ կախումն արտահայտվում է

$$\omega = 14°,4 - 2°,7 \sin^2\varphi$$

օրենքով։ Համապատասխանաբար, հելիոգրաֆիական լայնության հետ աճում է Արեգակի պտտման պարբերությունը։ Օրինակ, Արեգակի հասարակածային գոտում $P \approx 25$ օր, իսկ բարձր լայնություններում անցնում է 30 օրից։ Այդ տվյալներից հետևում է, որ Արեգակն իր առանցքի շուրջը պտտվում է ոչ որպես պինդ մարմին։

Արևաբծերի օգնությամբ Արեգակի պտտման երևույթի ուսումնասիրությանը խանգարում է այն փաստը, որ արևաբծերը շարժվում են Արեգակի սկավառակի նկատմամբ։ Բացի այդ նրանք, սովորաբար, դիտվում են Արեգակի հասարակածից ոչ շատ հեռու. մինչև $\varphi = 40—50°$։

Այդ պատճառով Արեգակի պտույտը շատ ավելի ճշգրիտ որոշվում է սպեկտրոսկոպիկ եղանակով։ Արեգակի պտտման հետևանքով նրա սկավառակի երկու հակադիր եզրերից մեկը դիտողից հեռանում է, իսկ մյուսը՝ նրան մոտենում։ Ուստի, նրանց սպեկտրներում դիտվում են պտտմամբ պայմանավորված դոպլերյան շեղումներ, որոնց հիման վրա հաշվում են Արեգակի պտտման

գծային արագությունը։ Արեգակի հասարակածում այն կազմում է շուրջ 2 կմ/վրկ։

Արեգակի պտտման արագության որոշման սպեկտրոսկոպիկ եղանակը կիրառվում է, մասնավորապես, այն լայնությունների համար, որտեղ արևաբծեր չեն դիտվում։

§ 71. Արեգակի զանգվածը, շառավիղը և խտությունը

Ինչպես արդեն հայտնի է, Արեգակի զանգվածը որոշվում է երկրագնդի զանգվածի միջոցով, Արեգակ-Երկիր և Երկիր-Լուսին համակարգերի նկատմամբ կեպլերի երրորդ ընդհանրացված օրենքի կիրառությամբ։ Այն կազմում է՝

$$M_0 = 2 \cdot 10^{33} \text{ գ}:$$

Արեգակի գծային շառավիղը (R_0) կարելի է հաշվել նրա տեսանելի անկյունային շառավղի (R'_0) և հեռավորության (a) միջոցով,

$$R_0 = a \sin R'_0$$

ամենահայտ բանաձևի օգնությամբ։

Տեղադրելով a-ի և R'_0-ի արժեքները, Արեգակի գծային շառավղի համար ստանում ենք՝

$$R_0 = 6{,}96 \cdot 10^{10} \text{ սմ}:$$

Այժմ, Արեգակի զանգվածի և գծային շառավղի միջոցով հեշտ է հաշվել նրա նյութի միջին խտությունը (ρ_0), ինչպես նաև ծանրության ուժի արագացումը Արեգակի մակերևույթին (g_0)։

Արեգակի նյութի միջին խտությունը հավասար է՝

$$\rho_0 = \frac{M_0}{\frac{4}{3}\pi R_0^3} = 1{,}4 \text{ գ/սմ}^3,$$

այսինքն, չորս անգամ փոքր է երկրագնդի միջին խտությունից, իսկ ծանրության ուժի արագացումը Արեգակի մակերևույթին կազմում է՝

$$g_0 = G\frac{M_0}{R_0^2} = 2{,}7 \cdot 10^4 \text{ սմ/վրկ}^2,$$

որը շուրջ 28 անգամ մեծ է երկրագնդի համեմատ։ Այս բանաձևում G-ն ձգողականության հաստատունն է։

§ 72. Արեգակի լուսատվությունը։ Արեգակնային հաստատուն

Արեգակի ճառագայթման հզորությունը կամ, ինչպես սովորաբար այն անվանում են, լուսատվությունը հավասար է միավոր ժամանակամիջոցում նրա արձակած էներգիայի քանակին, սպեկտրի բոլոր տիրույթներում։

Արեգակի լուսատվությունը հաշվում են երկրագնդի մթնոլորտից դուրս (նրա վերին սահմանում) Արեգակի ճառագայթմանը ուղղահայաց մեկ սմ² մակերեսի մեկ րոպեում ստացած էներգիայի քանակի չափումների հիման վրա։ Էներգիայի այդ քանակն արտահայտված կալորիաներով կոչվում է արեգակնային հաստատուն (E_0)։ Մինչև վերջին ժամանակներն այն չափվում էր երկրագնդի մակերևույթի մոտ՝ նրա մթնոլորտում էներգիայի կլանման հաշվառմամբ։ Ներկայումս, զգալիորեն ավելի մեծ ճշտությամբ արեգակնային հաստատունը չափվում է երկրագնդի մթնոլորտից դուրս՝ արհեստական արբանյակների միջոցով։ Երկու դեպքում էլ չափվում է Արեգակի ճառագայթման էներգիայի ընդհանուր քանակը՝ սպեկտրի բոլոր տիրույթներում։

Այդ չափումների համաձայն արեգակնային հաստատունը կազմում է՝

$$E_0 = 2 \text{ կալորիա/րոպե. սմ}^2;$$

Դրանից հետևում է, որ երկրագնդի հեռավորության վրա Արեգակի ճառագայթներին ուղղահայաց մեկ սմ² մակերեսի վրա մեկ րոպեում ընկնում է 2 կալորիա արեգակնային էներգիա։

Հեշտ է նկատել, որ նույն ժամանակամիջոցում Արեգակի ճառագայթած լրիվ էներգիան (E), որը Արեգակի կողմից արձակվում է հավասարաչափ, բոլոր ուղղություններով, արեգակնային հաստատունից մեծ կլինի այնքան անգամ, որքան սմ² է պարունակում Արեգակ-երկրագունդ հեռավորությանը հավասար շառավիղ ունեցող գնդի մակերեսը՝

$$E = 4\pi a^2 E_0,$$

որտեղ a-ն, առաջվա նման, երկրագնդի միջին հեռավորությունն է Արեգակից (աստղագիտական միավորը)։

Այս արտահայտության մեջ տեղադրելով a-ի և E_0-ի արժեքները, կալորիաները արտահայտելով էրգերով, իսկ րոպեները՝ վայրկյաններով, վերջնականապես կստանանք մեկ վայրկյանում Արեգակի ճառագայթած ընդհանուր էներգիայի քանակը կամ լուսատվությունը՝

$$L_0 = 4 . 10^{33} \text{ էրգ/վրկ:}$$

Հետևաբար, Արեգակի միավոր զանգվածի ճառագայթման հզորությունը հավասար է

$$\frac{L_0}{M_0} = 2 \text{ էրգ/վրկ գ,}$$

այսինքն, Արեգակի զանգվածի յուրաքանչյուր գրամին մեկ վայրկյանում ընկնում է 2 էրգ ճառագայթման էներգիա:

§ 73. Արեգակի լուսոլորտը

Ինչպես արդեն նշվել է, Արեգակը շիկացած գազերի մի գունդ է: Նրա սկավառակի անմիջական դիտումների շնորհիվ հաջողվել է բացահայտել նրա մակերևութային շերտերի կառուցվածքը և որոշել նրանցում փոնվող տարբեր գոյացումների ֆիզիկական հատկությունները:

Արեգակի ընդհանուր ճառագայթումը գալիս է նրա մթնոլորտի ստորին շերտերից, որոնց հաստությունը չնչին է (մի քանի հարյուր կմ) համեմատած Արեգակի չափերի հետ: Այդ է պատճառը, որ Արեգակի սկավառակի եզրերը, որոնք համապատասխանում են այդ շերտերին, խիստ ընդգծված են: Դրանք հենց կազմում են նրա այն մակերևույթը, որից դուրս է գալիս Արեգակի ճառագայթումը, որը և կոչվում է լուսոլորտ:

Արեգակի ընդհանուր ճառագայթումը ջերմային բնույթ ունի. այն արձակվում է լուսոլորտի շերտերը կազմող շիկացած գազերի կողմից: Այդ ճառագայթման ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ այն բավարար մոտավորությամբ ներկայացնում է բացարձակ սև մարմնի ճառագայթում: Հետևաբար, սև մարմնի ճառագայթման օրենքները կարելի է օգտագործել լուսոլորտի ջերմաստիճանի որոշման համար:

Այդ նպատակով օգտվենք, օրինակ, Ստեֆան-Բոլցմանի (2.4) օրենքից, որը բնութագրում է սև մարմնի մակերևույթի սմ² մակերեսի ճառագայթման հզորությունը կախված նրա ջերմաստիճանից՝

$$E = \sigma T^4: \qquad (2.4)$$

Մյուս կողմից, Արեգակի լուսոլորտի միավոր մակերեսի ճառագայթման հզորությունը կարելի է հաշվել արդեն հայտնի մեծությունների միջոցով՝

$$E = \frac{L_0}{4\pi R^2} \qquad (7.1)$$

արտահայտությունից, որտեղ բոլոր մեծությունները ունեն ընդունված նշանակությունը:

Հավասարեցնելով (2.4) և (7.1) արտահայտությունների աջ մասերը, լուսոլորտի ջերմաստիճանի համար կունենանք՝

$$T = \sqrt[4]{\frac{L_0}{\sigma 4\pi R_0^2}}: \qquad (7.2)$$

(7.2) բանաձևի աջ մասում գտնվող բոլոր մեծությունների արժեքները մեզ արդեն հայտնի են: Նրանց տեղադրումից հետո վերջնականապես կստանանք՝

$$T = 5800°:$$

Լուսոլորտի մոտավորապես նույն ջերմաստիճանն է ստացվում Արեգակի սպեկտրում էներգիայի բաշխման նկատմամբ, Վինի (2.3) և Պլանկի օրենքների կիրառությունից:

Դիտումների համաձայն, Արեգակը առավելագույն քանակությամբ էներգիա ճառագայթում է $\lambda_m = 4{,}74 . 10^{-5}$ սմ երկարության ալիքում: Վինի (2.3) բանաձևից հետևում է, որ այդ դեպքում ճառագայթման աղբյուրի (լուսոլորտի) ջերմաստիճանը կազմում է՝ $T = 6100°$: Վերջապես, Պլանկի օրենքը Արեգակի ճառագայթման բաշխումը (ըստ ալիքի երկարության) բավարար ճշտությամբ ներկայացնում է $T = 5900°$ ջերմաստիճանի դեպքում:

Այս բոլոր արդյունքների հիման վրա ընդունվում է, որ Արեգակի լուսոլորտի ջերմաստիճանը շուրջ 6000° է:

Սակայն, ինչպես մենք տեսանք, Արեգակի սկավառակի մթնեցման երևույթը (նկ. 92), նրա կենտրոնից դեպի եզրերը, որոշակիորեն մատնանշում է, որ Արեգակի ընդհանուր ճառագայթումը, իրականում, նրա լուսոլորտի տարբեր ջերմաստիճան ունեցող շերտերում ծնվող ճառագայթումների գումար է:

§ 74. Արեգակի գունոլորտը

Լուսոլորտից վերև գտնվում է Արեգակի մթնոլորտը: Այն սովորաբար մենք չենք տեսնում: Սակայն մթնոլորտը, Կիրխհոֆի օրենքի համաձայն, կլանում է Արեգակի լուսոլորտի արձակած անընդհատ ճառագայթումը որոշակի ալիքներում, որի շնորհիվ Արեգակի սպեկտրում դիտվում են կլանման գծեր: Այդ գծերի ալիքային երկարությունները կախված են Արեգակի մթնոլորտը կազմող այն ատոմների քիմիական բաղադրությունից, որոնք կլանում են համապատասխան գծերը: Կլանման այդ գծերը կոչվում են ֆրաունհոֆերյան, նրանց հայտնագործող գիտնականի անունով:

Արեգակի լրիվ խավարումների ժամանակ մթնոլորտի՝ լուսոլորտի անմիջապես հարող շերտը դիտվում է վարդագույն մի օղակի ձևով։ Մթնոլորտի այդ ստորին շերտը կոչվում է գունոլորտ։ Նրա հաստությունը շատ փոքր է Արեգակի չափերի համեմատ՝ ընդամենը մի քանի տասնյակ հազար կիլոմետր։

Լրիվ խավարման պահին Արեգակի սպեկտրում կլանման (ֆրաունհոֆերյան) գծերը ակնթարթորեն անհետանում են, և ճիշտ նրանց տեղերում հայտնվում են պայծառ գծեր։ Փաստորեն տեղի է ունենում սպեկտրի կլանման գծերի փոխարկում պայծառ գծերի։ Այդ ժամանակ դիտվում է Արեգակի, այսպես կոչված, բռնկման սպեկտրը։ Արեգակի սպեկտրի այդ փոխարկումը հետևանք է այն բանի, որ լրիվ խավարման ժամանակ լուսոլորտի ավելի ջերմ ճառագայթումը ծածկվում է Լուսնի սկավառակով և դիտվում է անհամեմատ նոսր գունոլորտի ճառագայթումը՝ պայծառ գծերով։ Մինչդեռ խավարումից դուրս այդ ճառագայթումը, լուսոլորտի ճառագայթման ֆոնի վրա դիտվում է կլանման գծերի ձևով։ Արեգակի լրիվ խավարման ավարտից անմիջապես հետո նրա սպեկտրում տեղի է ունենում հակառակ փոխարկում՝ անհետանում են գունոլորտի պայծառ գծերը և նրանց տեղերում հայտնվում կլանման գծերը։

Արեգակի գունոլորտի ջերմաստիճանը աճում է լուսոլորտից հեռանալիս և սահմանում հասնում մինչև 40000°-ի։

Շնորհիվ այն բանի, որ գունոլորտի ճառագայթումը որևէ պայծառ սպեկտրալ գծում ավելի ուժեղ է, քան լուսոլորտի անընդհատ ճառագայթումը՝ նույն գծին համապատասխան ալիքային երկարությունում, այդ փաստը կարելի է օգտագործել խավարումից դուրս Արեգակի գունոլորտի պատկերները ստանալու համար, նրա ճառագայթած տարբեր գծերում։ Այդ նպատակով կիրառում են, այսպես կոչված, սպեկտրահելիոգրաֆը, որի միջոցով զտավում է Արեգակի գունոլորտի ճառագայթումը ցանկացած սպեկտրալ գծում։

§ 75. Արևապսակ

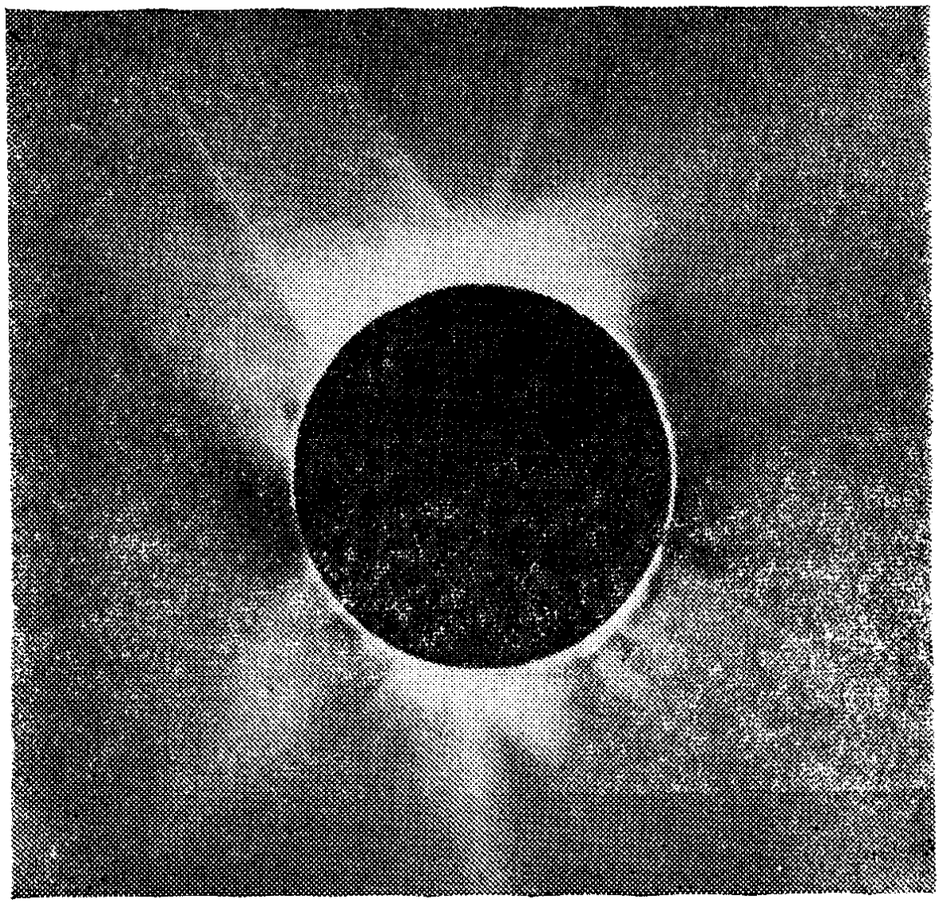
Արեգակի մթնոլորտի շատ ավելի բարձր շերտերը, որոնք թույլ լուսարձակման ձևով դիտվում են գունոլորտի շուրջը, Արեգակի լրիվ խավարումների ժամանակ, կազմում են մի հսկայական գազային թաղանթ, որը կտրուկ եզրեր չունի և դանդաղ անցնում է դեպի միջմոլորակային տարածությունը։ Այդ գազային թաղանթը կոչվում է արևապսակ։ Իր ընդհանուր պայծառությամբ այն շուրջ

100 000 անգամ թույլ է գունոլորտից և տարածվում է Արեգակի մի քանի շառավղի չափով։

Արևապսակի պայծառությունն արագ ընկնում է գունոլորտից հեռանալիս։ Նրանում դիտվում են բազմաթիվ մանրամասնություններ, առանձին խտացումների՝ ճառագայթների, ելուստների, ինչպես նաև նրանց իրար հետ միացնող կամրջակների ձևով։

Արևապսակի առանցքային պտույտը նման է Արեգակի ընդհանուր պտույտին, որը վկայում է այն մասին, որ արևապսակը սերտորեն կապված է լուսոլորտային գոյացումների՝ արևաբծերի և ջահերի հետ։

Իր սպեկտրի տեսքով արևապսակը բաժանվում է երկու մասի։ Արեգակի գունոլորտին հարող, ավելի պայծառ մասը, որը տարածվում է մինչև շուրջ 200 000 կմ, կոչվում է ներքին արևապսակ։ Նրա սպեկտրում դիտվում է թույլ պայծառ գծերով ծածկված անընդհատ սպեկտր։ Շատ ավելի թույլ պայծառություն ունեցող ար-



Նկ. 91. Արևապսակ։

տաքին մասում՝ արտաքին արևապսակի սպեկտրում պայծառ գծերըն արդեն բացակայում են: Արևապսակում ֆիզիկական պայմանները խիստ արտասովոր են: Բացի երկար ժամանակ «առեղծվածային» թվացող անհայտ բնույթի պայծառ գծերից («կորոնիումի» գծեր[20]), նրա սպեկտրում անսպասելի էր անընդհատ բաղադրիչի առկայությունը: Ներկայումս արևապսակի թե՛ պայծառ գծային սպեկտրը և թե՛ անընդհատ սպեկտրը արդեն ստացել են գիտական մեկնաբանություն: Նրանք որոշակիորեն վկայում են արևապսակի շատ բարձր ջերմաստիճանի (մի քանի միլիոն աստիճան) և նրանում նյութի չնչին խտության մասին: Այդ պայմաններում շատ մեծ արագություններով շարժվող էլեկտրոնները ցրում են Արեգակի կլանման սպեկտրն այնպես, որ դոպլերյան շեղումների հետևանքով սպեկտրալ գծերը խիստ լայնանում են և ձուլվում, որի պատճառով ստացվում է անընդհատ սպեկտրի տպավորություն: Մյուս կողմից, շատ բարձր ջերմաստիճանի և նյութի չնչին խտության պայմաններում չափազանց բարձր է ատոմների իոնացման աստիճանը: «Կորոնիումի» պայծառ սպեկտրալ գծերը հենց ճառագայթվում են հայտնի քիմիական տարրերի՝ երկաթի, նիկել, կալցիում և այլն, բազմակի իոնացված ատոմների կողմից, նրանց երկրային պայմաններում «անհնարին» (արգելված) էներգետիկ անցումների ժամանակ: Օրինակ, արևապսակի սպեկտրում ամենապայծառ սպեկտրալ գիծը երկաթի 12 անգամ իոնացված ատոմի կանաչ արգելված գիծն է՝ 5303 A[FeXIII]:

Արեգակի լրիվ խավարումների միջև ընկած ժամանակամիջոցում արևապսակի կանոնավոր դիտումներ իրականացվում են այսպես կոչված արտախավարումային պսակագրի միջոցով: Այն թույլ է տալիս դիտումների ժամանակ չեզոքացնել Արեգակի սկավառակի խանգարիչ ազդեցությունը:

§ 76. Արեգակի ակտիվությունը

Արեգակի ընդհանուր ճառագայթման հզորությունը ժամանակի ընթացքում խիստ հաստատուն է: Երկրագնդի կեղևի ուսումնասիրության արդյունքները վկայում են, որ այդ հզորությունը նկատելիորեն չի փոփոխվել Արեգակի կյանքի վերջին, համեմատաբար, մի քանի տասնյակ միլիոն տարում:

[20] *Երկար ժամանակ ենթադրվում էր, որ Արեգակի մթնոլորտում գոյություն ունի հիպոթետիկ քիմիական մի տարր, որն արձակում է ներքին արևապսակի սպեկտրում դիտվող «առեղծվածային» գծերը և որին տրվեց կորոնիում (լատիներեն պսակ բառից) անվանումը:*

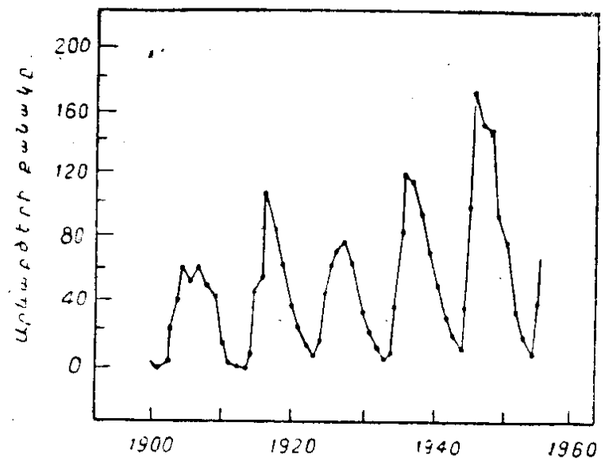
Սակայն Արեգակի մթնոլորտում դիտվող որոշ գոյացումներ, որոնց ճառագայթման մասշտաբները չնչին են Արեգակի ընդհանուր ճառագայթման համեմատ, ունեն փոփոխական բնույթ: Ըստ որում, տեղի ունեցող փոփոխությունները միջին հաշվով ունեն գրեթե պարբերական բնույթ: Այդ փոփոխությունները միասին վերցրած կրում են Արեգակի ակտիվության անունը:

Արեգակի ակտիվության ձևերից են արևաբծերը, ջահերը, հրվիժակներն ու գունոլորտային բռնկումները և այլն:

Արևաբծերը Արեգակի ամենաբնորոշ գոյացումներից են: Նրանք աչքի են ընկնում որպես մութ տիրույթներ լուսոլորտի պայծառ հարևանության մեջ: Իրականում նրանց մակերևութային պայծառությունը համապատասխանում է շուրջ 4000° ջերմաստիճանի:

Արևաբծերի չափերը լինում են մի քանի տասնյակից մինչև հարյուր հազարավոր կիլոմետր: Շատ հաճախ արևաբծերը հանդիպում են զույգերով կամ խմբերով, որոնք պարունակում են մինչև մի քանի տասնյակ արևաբիծ: Շատ դեպքերում այդ խմբերը շրջապատված են լինում մի ընդհանուր կիսաստվերով:

Արևաբծերի միջին քանակը կամ նրանց ընդհանուր մակերեսը Արեգակի սկավառակի վրա ժամանակի ընթացքում պարբերաբար փոփոխվում է: Փոփոխման այդ պարբերությունը կազմում է շուրջ 11 տարի, որի ընթացքում արևաբծերի ընդհանուր մակերեսն աճելով հասնում է առավելագույն արժեքի (մաքսիմում) և այնուհետև, նվազելով կրկին վերադառնում իր նվազագույն արժեքին



Նկ. 92. Արեգակի ակտիվության պարբերականությունը, որն արտահայտվում է արևաբծերի քանակի փոփոխությամբ:

(մինիմում)։ Աճի ժամանակամիջոցը կազմում է շուրջ 4,5 տարի, իսկ նվազմանը՝ 6,5 տարի։ Ակտիվության մաքսիմումում Արեգակը գտնվում է զրգռված վիճակում, իսկ մինիմումում՝ հանգիստ կամ նորմալ վիճակում։

Արևաբծերի քանակի փոփոխությունը Արեգակի սկավառակի վրա ուղեկցվում է հասարակածի նկատմամբ նրանց դասավորության փոփոխությամբ՝ միևնույն պարբերությամբ։ Արեգակի ակտիվության մինիմումից անմիջապես հետո նրա սկավառակի երկու կիսագնդերում առաջացած առաջին արևաբծերը սովորաբար հանդես են գալիս 20—40° աշխարհագրական լայնություններում։ Այնուհետև, մինչև մաքսիմում նրանց քանակը աստիճանաբար աճում է Արեգակի հասարակածին ավելի ու ավելի մոտ ծնվող արեվաբծերի հաշվին, որոնք սակայն չեն հասնում հասարակածին։ Արեգակի ակտիվության մաքսիմումից հետո սկսվում է արևաբծերի քանակի նվազումը մինչև մինիմում։ Արեգակի ակտիվության մինիմումի շրջանում արևաբծերը երբեմն ամբողջովին անհետանում են նրա սկավառակի վրայից։ Արևաբծերը ժամանակի ընթացքում փոխում են նաև իրենց ձևը։ Երբեմն մի քանի արևաբծեր միանալով կազմում են ավելի մեծ բիծ և, այնուհետև, աստիճանաբար մոտենալով հասարակածին մինչև 8—10° անհետանում են։

Արևաբծերն օժտված են մագնիսական դաշտերով։ Փոքր արևաբծերում մագնիսական դաշտերի լարվածությունը շուրջ 100 գաուս է, իսկ մեծ արևաբծերում հասնում է մինչև մի քանի հազար գաուսի։

Արևաբծերի յուրաքանչյուր զույգի բաղադրիչներն ունեն հակառակ նշանի մագնիսական բևեռայնություն։ Ըստ որում, Արեգակի տվյալ կիսագնդում գտնվող արևաբծերի բոլոր արևելյան բաղադրիչների բևեռայնությունը միևնույն նշանի է, իսկ արևմտյան բաղադրիչներինը՝ հակառակ նշանի։ Իսկ տարբեր կիսագնդերում գտնվող արևաբծերի զույգերի նույնանուն բաղադրիչներն ունեն հակառակ նշանը։ Արեգակի ակտիվության 11-ամյա պարբերությունից հետո արևաբծերի բևեռայնությունը շրջվում է, այսինքն՝ արևաբծերի բևեռայնությունը կրկնվում է 22 տարի պարբերությամբ։

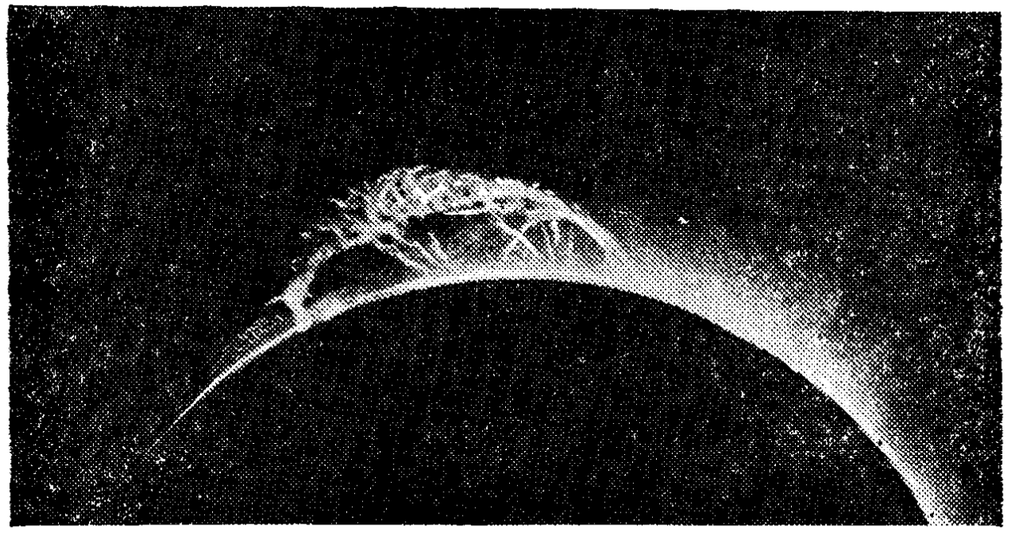
Արևաբծերի և լուսոլորտի սպեկտրների համեմատությունից հետևում է, որ բծերի եղրային մասերից արեգակնային նյութը արտահոսում է դեպի լուսոլորտ, իսկ լուսոլորտի՝ բծի վերևում

գտնվող շերտերից այն հոսում է դեպի բծերը։ Այլ կերպ ասած, արևաբծերի շրջանում տեղի է ունենում արևանյութի որոշակի շրջապտույտ։

Արեգակի ակտիվության որոշակի դրսևորումներից են ջահերը։ Լուսոլորտի այդ գոյացումները սովորաբար գտնվում են արևաբծերի հարևան տիրույթներում և լուսոլորտից ավելի պայծառ են։ Նրանց ջերմաստիճանը մի քանի հարյուր աստիճանով բարձր է լուսոլորտի ջերմաստիճանից։ Արևաբծերի նման ջահերի թիվն ու ընդհանուր մակերեսը ևս փոփոխվում են 11-ամյա պարբերությամբ։ Նրանք ունեն կարճատև կյանք և երբեմն անհետանում են Արեգակի սկավառակի վրայից։

Արեգակի ակտիվության հետ միասին, 11-ամյա պարբերությամբ փոփոխվում է նաև արևապսակը։ Ակտիվության մաքսիմումի տարիներին արևապսակն Արեգակի կենտրոնի նկատմամբ ունի սիմետրիկ տեսք։ Սակայն, ակտիվության մինիմումին մոտենալիս նա աստիճանաբար ձգվում է Արեգակի հասարակածի ուղղությամբ։

Արեգակի ակտիվության հզոր դրսևորումներից են, այսպես կոչված, հրվիժակները և գունոլորտային բռնկումները։ Նրանք կապված են գունոլորտի արագ փոփոխվող տիրույթների հետ, ո-



Նկ. 93. Հսկայական հրվիժակ։

րոնք լավ դիտվում են սպեկտրալ գծերում, սպեկտրահելիոգրաֆով։ Նրանց սպեկտրը հիմնականում բաղկացած է ջրածնի պայ-

ծառ գծերից։ Գունոլորտի հիշյալ տիրույթները հաճախ պայծառանում (մի քանի րոպեում) և, այնուհետև, մարում են (մի քանի ժամում)։ Այդ երևույթը ստացել է գունոլորտային բռնկում անվանումը։ Երբ գունոլորտային բռնկումը տեղի է ունենում Արեգակի սկավառակի եզրի մոտ, այն դիտվում է սկավառակից դուրս ժայթքած պայծառ ելուստի՝ հրվիժակի ձևով։

Այսպիսով, հրվիժակները և գունոլորտային բռնկումները միևնույն ֆիզիկական բնույթի փոփոխական գոյացումներ են և նրանց դիտվող տարբերությունը պայմանավորված է միայն Արեգակի սկավառակի նկատմամբ նրանց տեսանելի դասավորությամբ, այսինքն՝ արտացոլում է դիտման պայմանների տարբերությունը։

Արեգակի լրիվ խավարումների ժամանակ ստացված լուսանկարները ցույց են տալիս, որ հրվիժակի նյութը մեծ արագությամբ (մինչև 200 կմ/վրկ) դուրս է շպրտվում գունոլորտից, հասնում որոշ բարձրության և այնուհետև ետ վերադառնում։ Արտավիժման մեծ արագությունների դեպքում հրվիժակներն Արեգակի սկավառակից հեռանում են նրա մի քանի տրամագծի չափով։ Երբեմն, երբ հրվիժակի նյութի արագությունը շատ մեծ է, այն հաղթահարում է Արեգակի ձգողական դաշտը և ընդմիշտ հեռանում նրանից, ցրվելով միջմոլորակային տարածության մեջ։

Արեգակի ակտիվության 11-ամյա պարբերությունը բնորոշ է նաև նրա որոշ փոփոխական ճառագայթումների (արևաքծերի հետ կապված ռադիոճառագայթում, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում և այլն) համար, որոնց ընդհանուր հզորությունը չնչին է Արեգակի ճառագայթման հզորության համեմատ։

§ 77. Արեգակի սպեկտրը

Արեգակի անընդհատ սպեկտրը, որը ճառագայթվում է լուսոլորտի շիկացած գազերի կողմից, կորացված է բազմաթիվ կլանման (ֆրաունհոֆերյան) գծերով, որոնք ծնվում են նրա մթնոլորտում։ Այն ներկայումս ուսումնասիրված է ալիքի երկարությունների լայն տիրույթում, սկսած հեռավոր ուլտրամանուշակագույնից ($\lambda = 100$ Ա) մինչև հեռավոր ինֆրակարմիրը ($\lambda = 25$ մկ)։ Սպեկտրի այդ տիրույթում գրանցված է ավելի քան 30 000 սպեկտրալ գիծ, որոնք պատկանում են շուրջ 70 հայտնի քիմիական տարրերի (ջրածին, հելիում, թթվածին, ածխածին, զանազան մետաղներ և այլն)։

Մնացած հայտնի քիմիական տարրերի գծեր Արեգակի սպեկտրում չեն հայտնաբերվել։ Այդ փաստը, սակայն, չի կարող դիտվել որպես Արեգակում նրանց բացակայության ապացույց։ Շատ ավելի հավանական է ենթադրել, որ նրանց գծերի բացակայության պատճառը այդ տարրերի աղքատ պարունակությունը կամ նրանց ատոմների գրգռման համար անբարենպաստ պայմաններն են Արեգակի մթնոլորտում։ Այսպես, օրինակ, Արեգակի կլանման սպեկտրում հելիումի գծերը շատ թույլ են և չեն դիտվում։ Նրանց առաջացման համար պահանջվում է շուրջ 180000° ջերմություն։ Հելիում տարրը Արեգակի վրա հայտնաբերվել է գունոլորտի սպեկտրում դիտվող հելիումի 5876Ա ալիքային երկարություն ունեցող պայծառ գծով։

Կլանման գծերի ինտենսիվության միջոցով Արեգակի մթնոլորտի վիճակի, հիմնականում նրա ջերմաստիճանի և իոնացման աստիճանի, հաշվառմամբ որոշվում է մթնոլորտում տարբեր տարրերի քանակական բաղադրությունը։ Ամենատարածված քիմիական տարրը ջրածինն է (շուրջ 70 %, ըստ զանգվածի), այնուհետև գալիս է հելիումը (28 %), իսկ մնացած բոլոր տարրերը կազմում են մթնոլորտի զանգվածի շուրջ 2 %-ը։ Հազվադեպ բացառությամբ մոտավորապես այդպիսին է նաև մնացած բոլոր աստղերի և, ընդհանրապես, ամբողջ Տիեզերքի քիմիական բաղադրությունը։

Արեգակի մթնոլորտի ֆիզիկական վիճակը խիստ փոփոխվում է գունոլորտից հեռանալիս։ Ինչպես արդեն նշվել է, գունոլորտի վերին շերտերում նրա ջերմաստիճանը հասնում է մինչև 40 000°-ի, իսկ արևապսակում՝ մի քանի միլիոն աստիճան։ Անընդհատ և խիստ նվազում է նյութի խտությունը Արեգակի մթնոլորտի վերին շերտերում։ Չնայած մթնոլորտի ֆիզիկական վիճակի այդպիսի փոփոխությանը, նրա քիմիական բաղադրությունը գրեթե չի փոխվում։

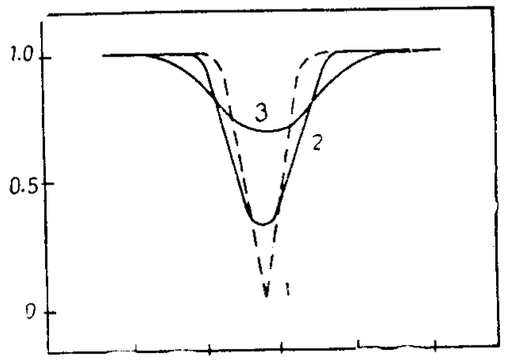
§ 78. Արեգակի ռադիոճառագայթումը

Մեր դարի 40-ական թվականներին պարզվեց, որ Արեգակը ճառագայթման բավական հզոր աղբյուր է նաև ռադիոալիքներում։ Երկրագնդի վրա Արեգակի ռադիոճառագայթումը դիտվում է միլիմետրանոցից մինչև տասնյակ մետրերն ընդգրկող տիրույթում։

Իր բնույթով Արեգակի ռադիոճառագայթումը կարելի է բաժանել երկու բաղադրիչի՝ հաստատուն և փոփոխական։ Արեգակի

ռադիոճառագայթման հաստատուն բաղադրիչը կամ, ինչպես սովորաբար անվանում են, Արեգակի հանգիստ ռադիոճառագայթումը ջերմային բնույթ ունի՝ այն արձակվում է Արեգակի մթնոլորտի տարբեր շերտերից, նրանց բարձր ջերմաստիճանի շնորհիվ։ Այսպես, միլիմետրանոց ալիքներում ռադիոճառագայթումը գալիս է լուսոլորտից և համապատասխան ջերմաստիճանը 6000° է։ Սանտիմետրանոց ալիքներում այն արձակվում է գունոլորտից, նրա ջերմաստիճանը 20—40 հազար է։ Վերջապես, մետրանոց ալիքներում Արեգակի ռադիոճառագայթման աղբյուրն արևապսակն է և այն համապատասխանում է շուրջ մեկ միլիոն աստիճանի։

Այսպիսով, Արեգակի հաստատուն ռադիոճառագայթումը ելնում է գրեթե մի գնդաձև ծավալից, որի չափերը աճում են ալիքի երկարության հետ։ Երկար ալիքներում «ռադիոարեգակի» չափերը գերազանցում են օպտիկական Արեգակի չափերին, իսկ ալիքի երկարության նվազման հետ մոտենում են լուսոլորտի չափերին։ Այդ է պատճառը, որ Արեգակի լրիվ խավարման ժամանակ երկար ալիքներում նրա ռադիոճառագայթումը լրիվ չի մարում՝ այն շարունակում է գալ մթնոլորտի՝ լուսոլորտից վերև ընկած շերտերից։ Մասնավորապես մետրանոց ալիքներում «ռադիոարեգակը» շուրջ 1,5 անգամ մեծ է օպտիկական Արեգակից։



Նկ. 94. Արեգակի խավարման կորերը օպտիկական (1), λ=1,5 մ (2) և λ=4,2 մ (3) ալիքներում։ Մինչև խավարումը ճառագայթման հզորությունն ընդունված է հավասար 1,0-ի։ Պարզ երևում է Արեգակի չափերի աճը երկար ալիքներին անցնելիս։

Արեգակի ռադիոճառագայթման փոփոխական բաղադրիչը ոչ ջերմային բնույթի է։ Ըստ դիտվող փոփոխությունների արագության այն բաժանում են դանդաղ (մի քանի ժամից մինչև մի քանի օր) և արագ (վայրկյաններ և ավելի արագ) փոփոխվող մասերի։

Արեգակի ռադիոճառագայթման դանդաղ փոփոխվող մասը կապված է արևաբծերի հետ։ Այն զգալիորեն աճում է արևաբծերի թվի, այսինքն՝ Արեգակի ակտիվության աճի հետ։ Ռադիոճառագայթման դանդաղ փոփոխվող այդ մասը առանձնապես ուժեղ է մետրանոց ալիքներում։

Ռադիոճառագայթման արագ փոփոխվող մասը ծնվում է գունոլորտային բռնկումների ժամանակ։ Ռադիոճառագայթման այդ արագ փոփոխությունները կոչվում են ռադիոբռնկումներ։ Ռադիոբռնկումների հզորությունը անհամեմատ մեծ է երկար ալիքներում։ Այսպես, եթե միլիմետրանոց ալիքներում արագ փոփոխություններ գործնականորեն չեն դիտվում, ապա մետրանոց ալիքներում Արեգակի ռադիոճառագայթման փոփոխական բաղադրիչը երբեմն մի քանի միլիարդ անգամ գերազանցում է նրա հաստատուն բաղադրիչը կամ Արեգակի հանգիստ ռադիոճառագայթումը։

§ 79. Արեգակի ճառագայթման ազդեցությունը Երկրագնդի վրա

Արեգակի էներգետիկ ազդեցությունները որոշիչ են երկրի մթնոլորտում և մակերևույթի վրա տեղի ունեցող բազմաթիվ երևույթների համար։ Կարելի է ասել, որ Երկրի վրա ընթացող գրեթե ամեն մի բնական երևույթ ուղղակի կամ անուղղակի կապված է Արեգակի հետ։ Բացառություն են կազմում՝ մետեորիտները, երկրաշարժերը և ջերմության հոսքը Երկրի կենտրոնից։

Մասնավորապես Արեգակի ազդեցությամբ է որոշվում երկրի մթնոլորտի ֆիզիկական վիճակը և, այդ իմաստով, վերջինս Արեգակի ազդեցությունների մի յուրատեսակ ցուցիչ է։

Արեգակնային և երկրային երևույթների միջև սերտ կապը հատկապես բացահայտ է արտահայտվում գունոլորտային բռնկումների ժամանակ։

Արեգակի բոլոր ազդեցությունները հետևանք են նրա ալիքային և կորպուսկուլյար ճառագայթման։

Ալիքային ճառագայթումը տարածվում է լույսի արագությամբ և Երկրին է հասնում շուրջ 8,3 րոպեում։ Այն ընդգրկում է Արեգակի սպեկտրի տեսանելի, ուլտրամանուշակագույն, ռենտգենյան և ռադիո (0,2—10 մ ալիքներում) տիրույթները։

Կորպուսկուլյար ճառագայթումն իրենից ներկայացնում է լիցքավորված մասնիկների (էլեկտրոնների, պրոտոնների, իոնների) հոսքեր։ Կորպուսկուլյար ճառագայթումը ծնվում է Արեգակի վրա տեղի ունեցող անկայուն երևույթների ժամանակ։ Մագնիսական փոթորիկների հետևանքով ծնվող մասնիկները շարժվում են 300—1000 կմ/վրկ արագությամբ և Երկրին են հասնում 1—3 օրում։ Ավելի արագ (շուրջ 100000 կմ/վրկ) են շարժվում Արեգակնային ծագում ունեցող տիեզերական ճառագայթները, որոնք Երկրին են

հասնում մեկ ժամից էլ շուտ։ Կորպուսկուլյար ճառագայթում է նաև, այսպես կոչված, արեգակնային քամին, որը հետևանք է Արեգակի մակերևույթից լիցքավորված մասնիկների, հիմնականում պրոտոնների և էլեկտրոնների, անընդհատ արտահոսքի (250—500 կմ/վրկ արագությամբ) և պայմանավորված է արևապսակի ջերմային անկայունությամբ։

Արեգակի, մասնավորապես նրա գունոլորտի ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման ազդեցությամբ է պայմանավորված երկրի մթնոլորտում 60—300 կմ բարձրության վրա մասնակի իոնացված մի շերտի՝ իոնոլորտի առաջացումը։ Կարճ ռադիոալիքների անդրադարձումը իոնոլորտից ապահովում է ռադիոկապը երկրի վրա՝ կարճ ալիքներում։ Արեգակի ալիքային ճառագայթման ազդեցությամբ տեղի են ունենում իոնոլորտի խտության և բարձրության փոփոխություններ, որոնք կարճ ալիքներում առաջ են բերում ռադիոլսելիության նվազում, աղմուկներ և խանգարումներ՝ ռադիոալիքներում։ Իոնոլորտը խիստ թուլանում է մասնավորապես գիշերային ժամերին, որի հետևանքով թուլանում է նաև ռադիոկապը կարճ ալիքներում։

Արեգակի կորպուսկուլային ճառագայթման ազդեցությամբ երկրագնդի շուրջը ձևավորվում են այն գոտևորող ճառագայթային գոտիները։ Նրանք առաջանում են, երբ լիցքավորված մասնիկները մոտենալով երկրին, նրա մագնիսական դաշտի նկատմամբ կողմնորոշվում են և հավաքվում բևեռները շրջապատող մի քանի հարյուր կմ-ից մինչև 6—10 երկրային շառավիղ ունեցող գոտիներում։

Կորպուսկուլյար ճառագայթման հզորության փոփոխությունները, կապված Արեգակի ակտիվության փոփոխության հետ, առաջ են բերում երկրագնդի մագնիսական դաշտի արագ փոփոխություններ, որոնք հայտնի են մագնիսական փոթորիկներ անունով և հարուցում են նորմալ ռադիոկապի խանգարումներ։

Արեգակի կորպուսկուլյար ճառագայթման ազդեցությամբ են բացատրվում նաև երկրագնդի բևեռային շրջաններում դիտվող բևեռափայլերը, որոնք առաջանում են Արեգակից արտավիժված լիցքավորված մասնիկների և երկրագնդի մթնոլորտի վերին շերտերում գտնվող մասնիկների բախման ժամանակ ծնվող լուսարձակման հետևանքով։ Բևեռափայլերի ճառագայթները դասավորվում են երկրի մագնիսական դաշտի ուժագծերի ուղղությամբ։ Բևեռափայլերի քանակը և պայծառությունը փոփոխվում են Արեգակի ակտիվության հետ, 11 տարի պարբերությամբ։

Արեգակի ակտիվության փոփոխությունների ազդեցությունը զգալի է երկրագնդի վրա տեղի ունեցող կենսաբանական պրոցեսների, մասնավորապես նրանց ընթացքի արագության վրա։ Այդ ազդեցությունն, օրինակ, լավ երևում է ծառերի բների հատուկներում, որտեղ ակտիվության 11-ամյա պարբերությունը բացահայտ է։

Գլուխ VIII

ԱՍՏՂԵՐ

Ճառագայթման ունակությամբ աստղերը նման են Արեգակին՝ մեզ ամենամոտ աստղին: Աստղերը տիեզերական նյութի հիմնական գոյաձևն են. Տիեզերքի մեր դիտումների համար մատչելի մասում նյութը գերազանցապես խտացված է աստղերում: Իրենց հրակայական հեռավորությունների պատճառով է միայն, որ նույնիսկ խոշորագույն աստղադիտակներով աստղերը երևում են որպես պայծառ կետեր:

§ 80. Աստղերի տեսանելի մեծությունները

Աստղի ճառագայթումը Երկրի վրա առաջ է բերում որոշակի լուսավորվածություն, որն ընկալվում է որպես նրա պայծառություն:

Դեռևս մեր թվականությունից առաջ 2-րդ դարում, հույն աստղագետ Հիպարքոսը մշակեց աստղերի պայծառությունների գնահատման մի շատ պարզ համակարգ: Անզեն աչքով երևացող բոլոր աստղերը Հիպարքոսը բաժանեց վեց խմբի և նրանցից յուրաքանչյուրին վերագրեց ամբողջ թվեր, որոնց նա անվանեց աստղային մեծություններ[21]: Երկնքի ամենապայծառ աստղերն առաջին աստղային մեծության էին, իսկ անզեն աչքով դիտվող ամենաթույլերը՝ 6-րդ աստղային մեծության: Միջանկյալ պայծառության աստղերի աստղային մեծությունները ընտրված էին այնպես, որ մեկ աստղային մեծության տարբերությունը համապատասխանում էր պայծառության փոփոխությանը շուրջ 2,5 անգամ:

Հետագայում աստղային մեծությունների այդ սանդղակը մի փոքր փոփոխությամբ տարածվեց ինչպես առաջին մեծությունից ավելի պայծառ, այնպես էլ անզեն աչքին անմատչելի աստղերի ու լուսատուների վրա:

Աստղային մեծությունների սանդղակը ներկայումս սահմանվում է հետևյալ ձևով: Երկու լուսատուների պայծառությունների հարաբերությունը $I_1:I_2$ նրանց աստղային մեծությունների (m_1, m_2) միջոցով արտահայտվում է՝

$$\frac{I_1}{I_2} = 2{,}512^{m_2-m_1} = 10^{0{,}4\,(m_2-m_1)} \qquad (8.1)$$

բանաձևով, որը հայտնի է Պոգսոնի օրենք անունով:

Այն երբեմն գրվում է լոգարիթմական տեսքով՝

$$m_2 - m_1 = -2{,}5 \lg \frac{I_2}{I_1}: \qquad (8.2)$$

Եթե ընդունենք, որ զրո մեծության ($m=0$) լուսատուի պայծառությունը հավասար է 1-ի ($I_0=1$), ապա աստղային մեծության և պայծառության կապը այդ միավորներով կարտահայտվի՝

$$m = -2{,}5 \lg I \qquad (8.3)$$

բանաձևով, որը, այդ ենթադրության դեպքում, հեշտությամբ ստացվում է (8.2) արտահայտությունից:

Պոգսոնի (8.1) օրենքից հետևում է, եթե երկու լուսատուների աստղային մեծությունների տարբերությունը 1 է, $m_2-m_1=1$, ապա նրանց պայծառությունների հարաբերությունը հավասար է 2,512:

Նույն (8.1) բանաձևի համաձայն, երբ երկու լուսատուների աստղային մեծությունների տարբերությունը 5 է՝ $m_2-m_1=5$, ապա նրանց պայծառությունների հարաբերությունը հավասար է 100-ի՝

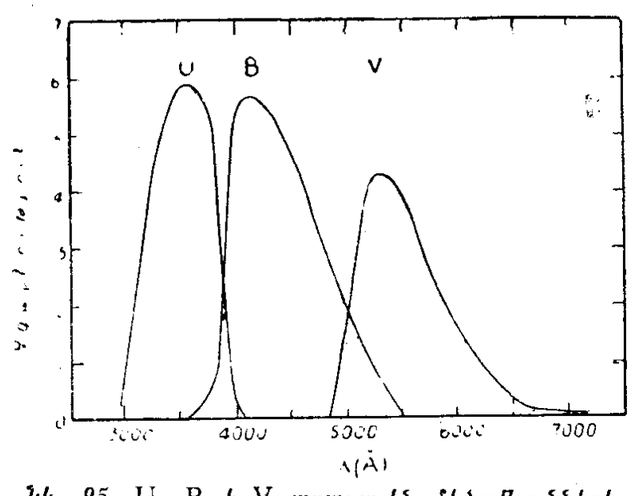
$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{0{,}4\cdot 5} = 10^2 = 100:$$

Օրինակ, երկնակամարի ամենապայծառ, առաջին աստղային մեծության աստղերը 100 անգամ պայծառ են աչքով երևացող, ամենաթույլ, վեցերորդ մեծության աստղերից: Աստղային մեծությունը նշանակվում է m տառով: Օրինակ, 10^m կարդացվում է 10-րդ աստղային մեծություն: Պլանկի օրենքի համաձայն լուսատուի ճառագայթման հզորությունը որոշակի ձևով կախված է ալիքի երկարությունից կամ սպեկտրի ալիքային տիրույթից: Այլ կերպ ասած, ամեն մի աստղ սպեկտրի տարբեր տիրույթներում ճառա-

[21] *Աստղային մեծությունը ոչ մի կապ չունի աստղի չափերի հետ և բնութագրում է նրա ճառագայթման հզորությունը: Սակայն, Հիպարքոսի ժամանակ ենթադրվում էր, որ աստղերի պայծառությունները կախված են նրանց չափերից:*

գայթում է տարբեր քանակներով էներգիա։ Այդ տարբերություններն արտահայտելու համար օգտագործվում են աստղային մեծությունների տարբեր համակարգեր՝ կախված ճառագայթման սպեկտրալ տիրույթից, որը որոշվում է լույսի ընդունիչի զգայնությամբ.

Ներկայումս լայնորեն կիրառվում է աստղային մեծությունների U (ուլտրամանուշակագույն), B (կապույտ) և V (լուսատեսողական կամ վիզուալ) եռագույն համակարգը։ Այդ մեծությունների որոշման տիրույթների միջին ալիքային երկարությունները համապատասխանաբար հավասար են՝ 0,36, 0,44 և 0,55 միկրոնի (նկ. 95)։



Նկ. 95. U, B և V աստղային մեծությունների զգայնության կորերը։

Սպեկտրի բոլոր մասերում աստղի լրիվ ճառագայթման ընդհանուր պայծառությունն արտահայտելու համար օգտագործվում է, այսպես կոչված, բոլոմետրիկ աստղային մեծությունը (m_b)։ Այն հեշտ է որոշել, եթե հայտնի է աստղի բոլոմետրիկ աստղային մեծության և վիզուալ աստղային մեծության տարբերությունը կամ բոլոմետրիկ շտկումը՝

$$BC = m_b - m_v:$$

Բոլոմետրիկ շտկման մեծությունը կախված է ճառագայթման աղբյուրի ջերմաստիճանից։ Այն սովորաբար հաշվում են տեսականորեն, աղբյուրի սպեկտրում էներգիայի բաշխման հիման վրա։ Բոլոմետրիկ շտկումը ներկայումս կարելի է որոշել նաև աստղերի արտամթնոլորտային դիտումներից։

Արեգակի նման սառն աստղերի համար բոլոմետրիկ շտկումը

շատ փոքր է՝ նրանք հիմնականում ճառագայթում են սպեկտրի տեսանելի մասում, որտեղ ճառագայթման հզորությունը ամբողջովին արտահայտվում է վիզուալ աստղային մեծությամբ։ Դրան հակառակ, ջերմ աստղերի մոտ, որոնք գերազանցապես ճառագայթում են սպեկտրի կապույտ և ուլտրամանուշակագույն մասերում, բոլոմետրիկ շտկումը մեծ է։

Աստղի տեսանելի աստղային մեծությունը կախված է ինչպես աստղի ճառագայթման իրական հզորությունից, այնպես էլ նրա հեռավորությունից։ Օրինակ, Արեգակը երկնակամարում ամենապայծառ լուսատուն է իր մոտիկության շնորհիվ միայն։ Իրականում նա իր ճառագայթման հզորությամբ մի համեստ աստղ է։

§ 81. Աստղերի բացարձակ մեծություններ և լուսատվություններ

Աստղի ճառագայթման իրական հզորությունը կամ լուսատվությունը՝ միավոր ժամանակամիջոցում նրա ճառագայթած էներգիայի քանակը, կարելի է բնութագրել նրա բացարձակ աստղային մեծությամբ։

Բացարձակ աստղային մեծություն անվանում են այն աստղային մեծությունը, որ լուսատուն կունենար, եթե գտնվեր 10 պարսեկ հեռավորության վրա։

Աստղի բացարձակ աստղային մեծության (M), տեսանելի աստղային մեծության (m) և հեռավորության (r) միջև կապը կարելի է ստանալ հետևյալ ակնհայտ արտահայտություններից.՝

$$\frac{I_M}{I_m} = 10^{0,4\,(m-M)}, \tag{8.4}$$

$$\frac{I_M}{I_m} = \frac{r^2}{10^2}, \tag{8.5}$$

որտեղ r-ը արտահայտված է պարսեկներով։

Նրանցից առաջինը Պոգսոնի օրենքն է բացարձակ և տեսանելի աստղային մեծությունների և համապատասխան պայծառությունների (I_M, I_m) համար, իսկ երկրորդն արտահայտում է պայծառության և հեռավորության քառակուսու հակադարձ համեմատականությունը։

Քանի որ (8.4) և (8.5) արտահայտությունների ձախ մասերն իրար հավասար են, ապա հավասար կլինեն նաև նրանց աջ մասերը՝

$$10^{0,4\,(m-M)} = \frac{r^2}{10^2}: \tag{8.6}$$

(8.6) հավասարությունը լոգարիթմելուց ու որոշ պարզեցումից հետո ստացվում է լուսատուի բացարձակ և տեսանելի աստղային մեծությունների և հեռավորության միջև կապը՝

$$M = m - 5 \lg r + 5 \qquad (8.7)$$

(r-ը արտահայտված է պարսեկներով)։

Եթե հեռավորության (r) փոխարեն օգտագործվում է տարեկան պարալաքսը (π), այդ բանաձևը գրվում է՝

$$M = m + 5 \lg \pi + 5$$

տեսքով, որտեղ՝ π-ն արտահայտված է անկյունային վայրկյաններով։

Աղյուսակ 1-ում բերված են երկնքի ամենապայծառ 10 աստղերի բացարձակ աստղային մեծությունները, որոնք որոշվել են նրանց տեսանելի աստղային մեծությունների ու հեռավորությունների միջոցով, (8.7) բանաձևով։

Աղյուսակ 1

Երկնքի ամենապայծառ 10 աստղերը

Աստղ	m	r (պս)	M
Արեգակ	—26,7	1/206265	4,8
Սիրիուս (α Մեծ Շան)	—1,37	2,7	2,5
Կանոպուս (α Ողնուցի)	—0,86	110	—6,0
α Կենտավրոսի	0,06	1,3	4,1
Վեգա (α Քնարի)	0,14	8,1	—0,5
Կապելլա (α Կառավարի)	0,21	13,7	—0,6
Արկտուր (α Եղնարածի)	0,24	10,6	—0,1
Ռիգել (β Օրիոնի)	0,34	400	—8,2
Պրոցիոն (α Փոքր Շան)	0,48	3,5	2,7
α Էրիդանի	0,60	23,8	—1,3

Ծանոթություն—*Պայծառ աստղերը նշանակվում են հունական այբուբենի տառերով՝ α, β, γ,..., ըստ տեսանելի պայծառության, իսկ ավելի թույլերը՝ թվանշաններով, նշելով համաստեղության անունը։ Օրինակ, α Քնարի, β Օրիոնի, 10 Մողեսի, 61 Կարապի և այլն։ Ամենապայծառ աստղերից շատերն ունեն նաև հատուկ անուններ (Սիրիուս, Վեգա, Արկտուր և այլն)։*

Աղյուսակ 1-ի տվյալները պարզ պատկերացում են տալիս այն մասին, թե ինչպես է աստղի տեսանելի մեծությունը կախված նրա բացարձակ մեծությունից և հեռավորությունից։ Այսպես, այդ աղյուսակի աստղերի մի մասը (Արեգակ, Սիրիուս, α Կենտավրոսի և Պրոցիոն) ցածր լուսատվության աստղեր են։ Եթե Արեգակը, օրինակ, գտնվեր 10 պարսեկ (պս) հեռավորության վրա նա կունենար անզեն աչքի համար գրեթե սահմանային պայծառություն։ Սակայն, այն բանի շնորհիվ, որ նրանք մեզ ամենամոտ աստղերից են, նրանք ունեն տեսանելի մեծ պայծառություն։ Կանոպուսը և Ռիգելը, ընդհակառակը, գտնվում են անհամեմատ ավելի մեծ հեռավորությունների վրա, սակայն օժտված են բարձր լուսատվությամբ, որի շնորհիվ նրանց տեսանելի պայծառությունը նույնպես մեծ է։

Գործնականում, շատ հաճախ ավելի հարմար է աստղի լուսատվությունն արտահայտել Արեգակի լուսատվության միավորներով։

Այդ դեպքում, օգտագործելով Պոգսոնի օրենքը (8.1), աստղի լուսատվությունը (L) կարելի է արտահայտել նրա (M) և Արեգակի (M_0) բացարձակ աստղային մեծությունների տարբերության միջոցով՝

$$L = 10^{0,4\,(M_0 - M)}. \qquad (8.8)$$

(8.8) բանաձևից հետևում է, որ BD+4°4048[22] թզուկի լուսատվությունը (M = +19.2) կազմում է Արեգակի լուսատվության ($M_0 = +4.8$) շուրջ 1/575000 մասը, իսկ գերհսկա ζ_1 Կարինի աստղի լուսատվությունը գերազանցում է Արեգակի լուսատվությանը մոտավորապես 480 000 անգամ։

Այսպիսով, աստղերի լուսատվություններն իրարից կարող են տարբերվել ավելի քան 10^{11} անգամ։

§ 82. Աստղերի ջերմաստիճանները և գույները։ Գույնի ցուցիչները

Աստղի մթնոլորտի այն շերտը, որից գալիս է նրա դիտվող ճառագայթումը, կոչվում է լուսոլորտ։ Պլանկի օրենքի համաձայն որքան ցածր է աստղի լուսոլորտի ջերմաստիճանը, այնքան ավելի շատ է նա լուսարձակում կարմիր ճառագայթներում և այնքան ավելի քիչ՝ կապույտ և ուլտրամանուշակագույն ճառագայթներում, հետևաբար՝ այնքան ավելի մոտ է նրա գույնը կարմրին։ Ավելի բարձր ջերմաստիճաններին անցնելիս նվազում է աստղի ճառագայթման քանակը կարմիր ճառագայթներում և աճում՝ կապույտ և ուլտրամանուշակագույն ճառագայթներում։ Աստղի լուսոլորտի ջերմաստիճանի աճմանը համապատասխան փոխվում է նրա գույնը հետևյալ հաջորդականությամբ՝ կարմիր, դեղին, սպիտակ և կապույտ։

[22] BD+4° 4048-ն Բոննի աստղացուցակի (Bonner Durchmusterung) 4°-ից մինչև 5° հակում ունեցող աստղերի մեջ 4048-րդ աստղն է։

Լուսոլորտի ամենաբարձր ջերմաստիճանն ունեն կապույտ աստղերը՝ շուրջ 30 000°, իսկ ամենացածրը՝ կարմիր աստղերը՝ 2000—3000°։ Արեգակը պատկանում է դեղին աստղերի դասին, որոնց լուսոլորտի ջերմաստիճանը շուրջ 6000° է։

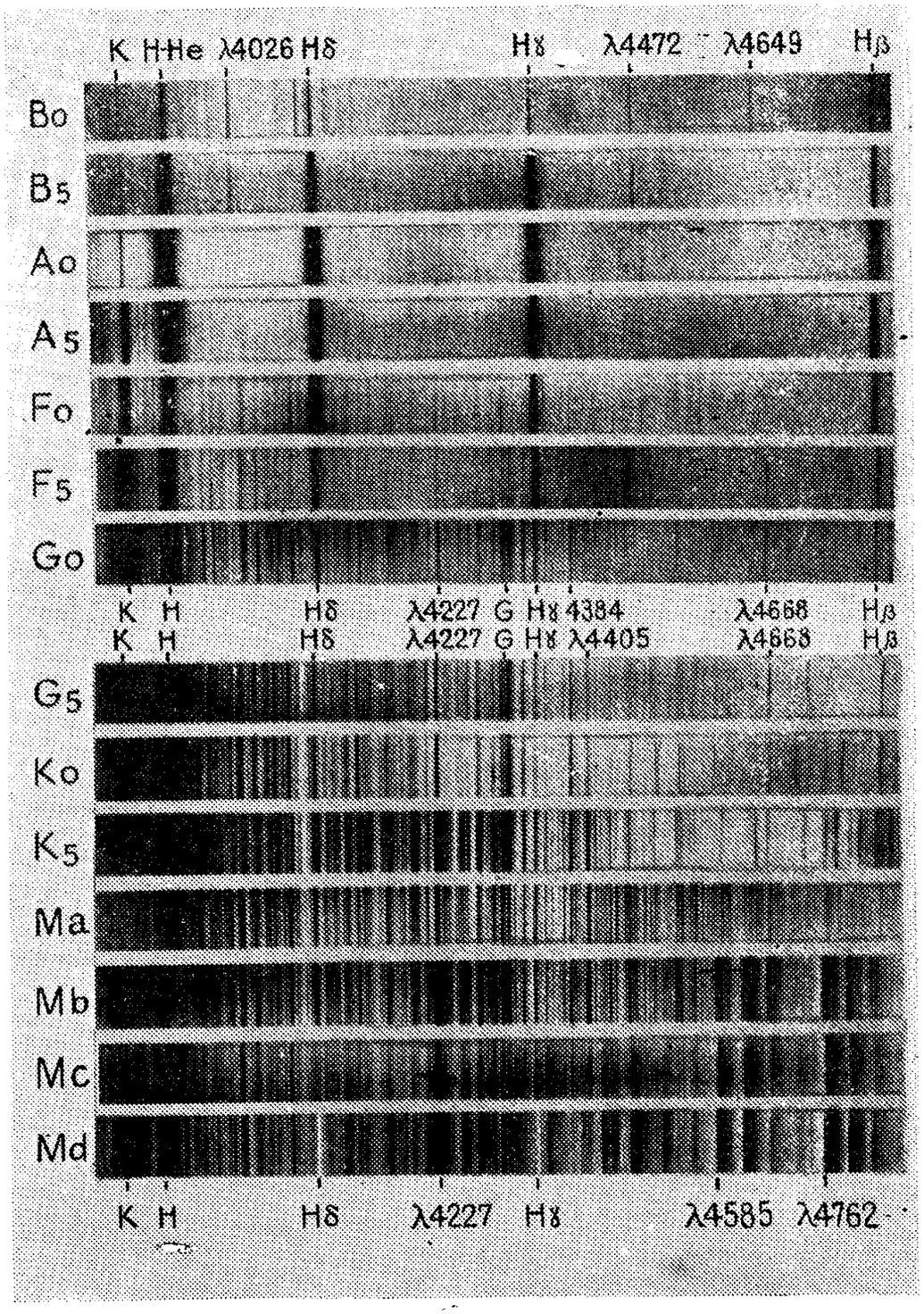
Աստղերի գույների քանակական գնահատության համար օգտագործվում է նրանց սպեկտրի երկու տարբեր տիրույթներում որոշված աստղային մեծությունների տարբերությունը, որը կոչվում է գույնի ցուցիչ։ Աստղային մեծությունների UBV եռագույն համակարգում կիրառվում են U—B և B—V գույնի ցուցիչները։ Սովորաբար ընդունվում է, որ սպիտակ աստղերի գույնի ցուցիչները հավասար են զրոյի (U=B=V)։ Այդ դեպքում ավելի ջերմ, կապույտ կամ երկնագույն աստղերի գույնի ցուցիչները կունենան բացասական արժեքներ, իսկ ավելի սառն, դեղին ու կարմիր աստղերի ցուցիչները՝ դրական արժեքներ։

§ 83. Աստղերի սպեկտրները

Աստղերի մեծ մասը, այդ թվում Արեգակը, ինչպես արդեն նշվել է, ունի անընդհատ սպեկտր, որի վրա երևում են կլանման գծեր։ Դրանք առաջանում են աստղի մթնոլորտի լուսոլորտից վեր գտնվող մասում, երբ այն կազմող ատոմները կլանում են լուսոլորտի անընդհատ ճառագայթումը։ Աստղի սպեկտրը, փաստորեն, նրա մթնոլորտում գտնվող տարբեր քիմիական տարրերի գծային սպեկտրների և աստղի լուսոլորտի պայծառ անընդհատ սպեկտրի մի պարզ գումար է։

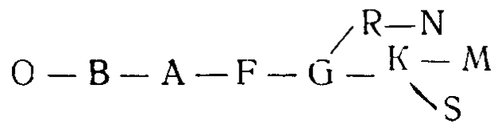
Այսպիսով, աստղերի մեծամասնության սպեկտրներն իրենց բնույթով նման են՝ անընդհատ սպեկտրի, որը կտրտված է կլանման գծերով։ Սակայն աստղերի սպեկտրները իրարից զգալիորեն տարբերվում են ինչպես կլանման գծերի դասավորությամբ և նրանց ինտենսիվությամբ, այնպես էլ էներգիայի բաշխմամբ, ըստ ալիքի երկարության։ Աստղերի ճնշող մեծամասնության սպեկտրները կազմում են անընդհատ գծային հաջորդականություն այն իմաստով, որ երկու ցանկացած աստղային սպեկտրների միջև միշտ գոյություն ունի երրորդը, որն օժտված է միջանկյալ հատկություններով։ Աստղային սպեկտրների այդ կարևոր առանձնահատկության վրա է հիմնվում նրանց դասակարգումը (նկ. 96)։

Աստղերի սպեկտրալ դասակարգումն ընդգրկում է յոթ հիմնական դաս՝ հազվադեպ հանդիպող սպեկտրներին համապատասխանող երկու ճյուղավորումներով։ Աստղերի սպեկտրալ դասերը նշանակվում են լատինական այբուբենի տառերով, իսկ աստղերի



Նկ. 96. Աստղային սպեկտրների հաջորդականությունը։

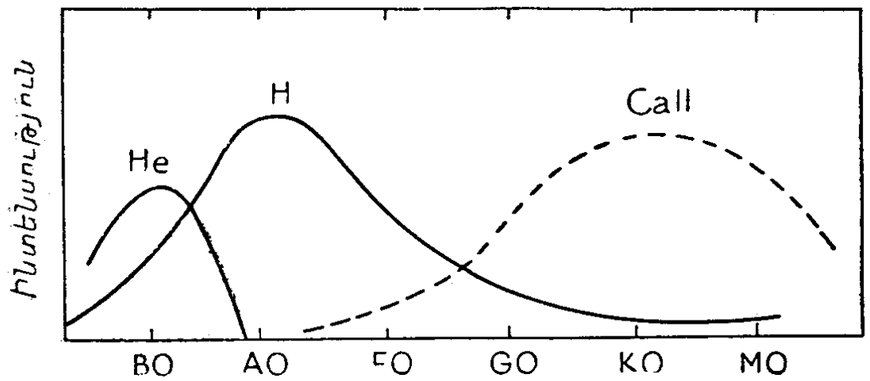
ապեկտրալ դասակարգումն այդ դեպքում ներկայացվում է հետևյալ սխեմատիկ տեսքով[23].



Ավելի մանրամասն դասակարգման համար հիմնական ապեկտրալ դասերի միջև, որոնք նշանակվում են 0 թվանշանով (B0, A0,..., M0), օգտագործվում են տասնորդական ենթադասեր, օրինակ, B0-ի և A0-ի միջև՝ B 1, B 2, ..., B 9։

Այսպես, B0-ին ամենամոտ ենթադասը B 1-ն է, ապա B 2-ը և այլն, իսկ B 6—B 9-ը ենթադասերը ավելի մոտ են հաջորդ ապեկտրալ դասին՝ A0-ին։

Աստղային ապեկտրների հաջորդականության մեջ O դասից դեպի M դասը շարժվելիս ջրածնի գծերի ինտենսությունը ըստկըզբում աճում է, իսկ այնուհետև՝ նվազում։ Նույնպիսի երևույթ է դիտվում նաև այլ քիմիական տարրերի գծերում, այն տարբերությամբ միայն, որ տարբեր քիմիական տարրերի գծերն իրենց



Նկ. 97. Ջրածնի (H), հելիումի (He) և իոնացված կալցիումի (CaII) կլանման գծերի ինտենսությունները տարբեր սպեկտրալ դասերի աստղերի սպեկտրներում։

առավելագույն ինտենսությանն են հասնում տարբեր սպեկտրալ դասերում (նկ. 97), որի շնորհիվ սպեկտրալ հաջորդականության երկարությամբ յուրաքանչյուր դաս բնութագրվում է իր համար ամենաբնորոշ գծերով։

[23] Սպեկտրալ դասերի այս հերթականությունը հաստատվել է աստղային սպեկտրների տարբերությունների մեկնաբանությունից հետո միայն։ Սկզբնական շրջանում օգտագործվում էր սպեկտրալ դասերը բնութագրող տառերի այբբենական հերթականությունը։ Սակայն, հետագայում պարզվեց, որ շատ տառեր փաստորեն ավելորդ են վերցվել, իսկ մնացածների հերթականությունը պետք է փոխել սպեկտրների ֆիզիկական նշանակությանը համապատասխան։

Սպեկտրալ հաջորդականության առաջին դասերը, սովորաբար, կոչվում են վաղ սպեկտրալ դասեր, իսկ վերջինները՝ ուշ սպեկտրալ դասեր։

Սպեկտրի լուսանկարչական մասում տարբեր սպեկտրալ դասերին պատկանող սպեկտրները կարելի է բնութագրել հետևյալ տվյալներով։

O դաս: *Ուժեղ են իոնացված հելիումի, թթվածնի, ածխածնի և ազոտի գծերը, դիտվում են չեզոք հելիումի և ջրածնի թույլ գծեր։ Այս դասի հայտնի ներկայացուցիչներից է S Միեզջյուրի աստղը։*

B դաս: *Չեզոք հելիումի գծերն ունեն առավելագույն ինտենսություն B 2 ենթադասում, որից հետո աստիճանաբար թուլանալով անհետանում են B 9 ենթադասում։ Ջրածնի գծերի ինտենսությունն անընդհատ աճում է դեպի B 9 ենթադասը։ B դասի ապեկտր ունի Ռիգելը (β Օրիոնի)։*

A դաս: *Խիստ աչքի են ընկնում ջրածնի գծերը, որոնք ամենամեծ ինտենսություն ունեն A0 ենթադասում։ Դիտվում են իոնացված կալցիումի և այլ մետաղների գծեր։ Այս դասին են պատկանում երկնքի ամենապայծառ աստղերի՝ Սիրիուսի (α Մեծ Շան) և Վեգայի (α Քնարի) սպեկտրները։*

F դաս: *Ջրածնի գծերի ինտենսությունը աստիճանաբար նվազում է, իսկ իոնացված մետաղների, հատկապես իոնացված կալցիումի H և K գծերինը, աճում։ Թույլ է 4310 Ա-ի մոտ գտնվող G շերտը, որը կազմված է երկաթի, կալցիումի և տիտանի գծերից։ Այս դասի սպեկտրներ ունեն Կանոպուսը (α Օղնուցի) և Պրոցիոնը (α Փոքր Շան)։*

G դաս: *Իրենց ինտենսությամբ և բազմաքանակությամբ գերակշռում են մետաղների գծերը։ G շերտը բավական ուժեղ է։ Այս դասին են պատկանում Արեգակի և Կապելլայի (α Կառավարի) սպեկտրները։*

K դաս: *Մետաղների գծերն իրենց ինտենսությամբ շատ են գերազանցում ջրածնի գծերին։ Իոնացված կալցիումի H և K գծերը հասնում են առավելագույն ինտենսության։ G շերտը ուժեղ է։ Ուշ ենթադասերում դիտվում են որոշ մոլեկուլների, մասնավորապես տիտանօքսիդի (TiO) կլանման շերտեր։ Այս դասի ներկայացուցիչներից է Արկտուրը (α Եղնարածի)։*

M դաս: *Այս դասի սպեկտրների ամենաբնորոշ առանձնահատկությունը տիտանօքսիդի (TiO) և այլ մոլեկուլյար*

միացությունների կլանման շերտերի առկայությունն է: Մեստղների գծերը թույլ են: Սպեկտրի մանուշակագույն մասը շատ թույլ է: M դասի սպեկտր ունի Բետելգեյզեն (α Օրիոնի):

Պարզվել է, որ աստղերի ճնշող մեծամասնության քիմիական բաղադրությունը միջինում գրեթե նույնն է[24], իսկ լուսոլորտի ջերմաստիճանը՝ խիստ տարբեր: Այդ նշանակում է, որ աստղերի սպեկտրների դիտվող տարբերությունները հիմնականում պայմանավորված են ոչ թե նրանց մթնոլորտների քիմիական բազադրության տարբերություններով, այլ նրանց լուսոլորտների ջերմաստիճանների տարբերություններով:

Այսպիսով, աստղերի սպեկտրների դիտվող անընդհատ հաջորդականությունը՝ O-ից մինչև M ջերմաստիճանային հաջորդականությունն է, որտեղ լուսոլորտի ջերմաստիճանը աստիճանաբար նվազում է ավելի ուշ դասերի աստղերին անցնելիս: Ամենաբարձր ջերմաստիճանն ունեն O դասի աստղերը, իսկ ամենացածրը՝ M դասի աստղերը: Դա լավ երևում է աղյուսակ 2-ի տվյալներից: Այդ է պատճառը, որ O և B տիպերի աստղերը կոչվում են ջերմ աստղեր, իսկ K և M տիպերի աստղերը՝ սառն աստղեր: Հարկ է նշել, որ աստղերի լուսոլորտների ջերմաստիճանների որոշման համար սովորաբար կիրառվում է սև մարմնի ճառագայթման օրենքները:

Աղյուսակ 2

Գլխավոր հաջորդականության աստղերի ջերմաստիճաններ և գույնի ցուցիչներ

Սպեկտրալ դաս	T°	U — B	B—V
O	50 000	—1,44	—0,31
B0	26 500	—1,38	—0,30
B5	13 800	—0,72	—0,16
A0	9 900	0,00	0,00
A5	8 300	0,25	0,14
F0	7 000	0,37	0,31
F5	6 400	0,43	0,43
G0	5 900	0,70	0,59
G5	5 700	0,86	0,65
K0	5 200	1,29	0,82
K5	4 400	2,18	1,15
M0	3 800	2,70	1,48
M5	3 100	2,80	1,61

[24] Հազվադեպ հանդիպող R, N և S սպեկտրալ դասերն իրենց քիմիական բաղադրությամբ, զգալիորեն տարբերվում են G, K և M դասերից՝ S դասի աստղերը հարուստ են ցիրկոնիում օքսիդի (ZrO), իսկ R և N դասերը ածխածնի միացությունների (CN, CH, CO_2) պարունակությամբ: Այդ է պատճառը, որ նրանք դուրս են մնացել հիմնական դասակարգումից:

Լուսոլորտի ջերմաստիճանից բացի, աստղի սպեկտրի տեսքի վրա զգալի ազդեցություն ունի մթնոլորտային ճնշումը կամ ծանրության ուժի արագացումը: Այդ պատճառով, լուսոլորտի միևնույն ջերմաստիճան, սակայն տարբեր զանգված և նրա հետ սերտորեն կապված տարբեր լուսատվություն ունեցող աստղերի, հիմնականում գծային, սպեկտրներն իրարից նկատելիորեն տարբերվում են: Բանն այն է, որ աստղերի սպեկտրներում որոշ գծերի ինտենսությունը որոշակիորեն կախված է նրանց լուսատվություններից: Այդ սպեկտրալ գծերի ինտենսությունները օգտագործվում են աստղերի լուսատվությունների որոշման նպատակով, նրանց բսպեկտրների միջոցով:

Օգտվելով աստղային սպեկտրների այդ առանձնահատկությունից երկար աստղադիտարանում (ԱՄՆ) մշակվել է սպեկտրների դասակարգման երկչափ (սպեկտրալ դաս և լուսատվության դաս) դասակարգում (MK)[25], որը ներկայումս լայնորեն կիրառվում է աստղագիտության մեջ:

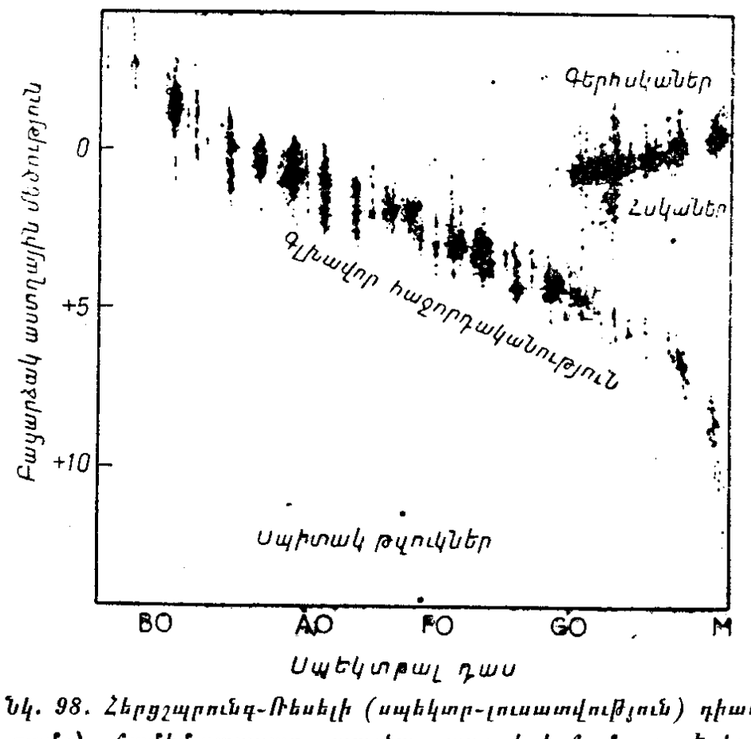
Աղյուսակ 2-ի տվյալներից երևում է, որ աստղի սպեկտրալ դասը և նրա գույնի ցուցիչները սերտորեն կապված են: Դա այն բանի բնական հետևանքն է, որ նրանք աստղի լուսոլորտի ջերմաստիճանի տարբեր չափանիշներ են:

§ 84. Սպեկտր-լուսատվություն դիագրամը

Աստղերի սպեկտրները և լուսատվությունները իրարից բոլորովին անկախ չեն: Սպեկտր-լուսատվություն դիագրամում, որն ընդունված է անվանել այն առաջին անգամ կազմողների՝ Հերցշպրունգի և Ռեսելի անուններով, բոլոր հայտնի աստղերը զբաղեցնում են որոշակի շերտեր կամ հաջորդականություններ (նկ. 98): Աստղերի ճնշող մեծամասնությունը գտնվում է մի շերտում, որը ձգվում է դիագրամի վերին ձախ անկյունից դեպի ներքևի աջ անկյունը: Այդ շերտը կոչվում է գլխավոր հաջորդականություն: Համեմատաբար փոքր թվով աստղեր գտնվում են դիագրամի մյուս շերտերում: Ցածր լուսատվության երկնագույն աստղերը (սպիտակ թզուկներ) շատ քիչ են, իսկ կարմիր աստղերն ըստ լուսատվության բաժանվում են երկու խմբի՝ նրանց մեծ մասը դասավորված է գլխավոր հաջորդականության երկայնությամբ և միայն

[25] Երկչափ դասակարգումը ստացել է MK դասակարգում անվանումը, նրա հեղինակներ Մորգանի և Կինանի անունների սկզբնատառերից:

մեծ լուսատվության աննշան թվով կարմիր աստղեր կազմում են հսկաների առանձին մի խումբ (ճյուղ)։ Բացի այդ, շատ փոքրաթիվ, առանձնապես պայծառ կարմիր աստղերը կազմում են կարմիր գերհսկաների ճյուղը։

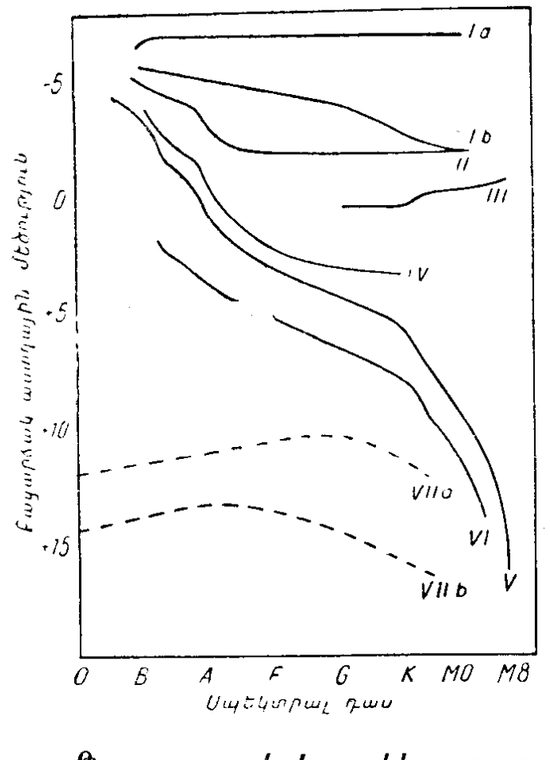


Նկ. 98. Հերցշպրունգ-Ռեսելի (սպեկտր-լուսատվություն) դիագրամը՝ համեմատաբար պայծառ աստղերի համար։ Երևում են գլխավոր հաջորդականությունը, կարմիր հսկաները և գերհսկաները, ինչպես նաև 3 սպիտակ թզուկ։ Սպիտակ թզուկների սակավությունը պայմանավորված է նրանց ցածր լուսատվությամբ, որի պատճառով դիտվում են ամենամոտ թզուկները։ Իրականում նրանց թիվը շատ ավելի մեծ է քան հսկա և գերհսկա աստղերինը։

Աստղերի բաշխումը Հերցշպրունգ-Ռեսելի դիագրամում ֆիզիկական տեսակետից արտացոլում է այն իրողությունը, որ աստղերի կայուն, հետևաբար՝ տևական, վիճակներին համապատասխանում են դիագրամի միայն որոշ տիրույթներում (շերտերում) գտնվող սպեկտրի և լուսատվության զուգակցությունները։ Այդ մեծությունների արժեքների մնացած զուգակցությունները կամ բնության մեջ բոլորովին չեն հանդիպում, կամ էլ համապատասխանում են աստղերի անկայուն, հետևաբար՝ կարճատև, վիճակներին։

Աստղերի սպեկտրների երկչափ MK դասակարգումը հնարավորություն տվեց ճշտել Հերցշպրունգ-Ռեսելի դիագրամը և կատարել աստղերի ավելի մանրամասն դասակարգում՝ ըստ լուսատվությունների։

Նկ. 99-ը ներկայացնում է Հերցշպրունգ-Ռեսելի դիագրամի սխեմատիկ պատկերը ժամանակակից տվյալների հիման վրա։



Նկ. 99. Սպեկտր-լուսատվություն դիագրամի սխեմատիկ տեսքը, ըստ MK երկչափ սպեկտրալ դասակարգման. Ia, Ib—պայծառ և թույլ գերհսկաներ, II, III—պայծառ և թույլ հսկաներ, IV—ենթահսկաներ, V—գլխավոր հաջորդականություն, VI—ենթաթզուկներ, VIIa, VIIb—պայծառ և թույլ սպիտակ թզուկներ։

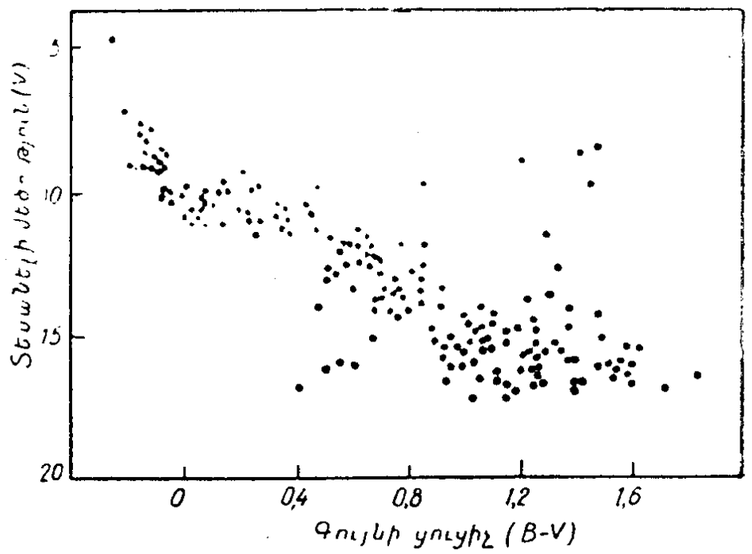
Թույլ աստղերի սպեկտրալ դասակարգման բացակայության պատճառով աստղերի սպեկտր-լուսատվություն դիագրամի փոխարեն շատ հաճախ օգտագործվում է նրան համարժեք գույնի ցուցիչ-լուսատվություն դիագրամը։

Աստղերի ֆիզիկական խմբերի դեպքում, երբ կարելի է ընդունել, որ բոլոր աստղերը գտնվում են դիտողից գրեթե միևնույն հեռավորության վրա, սպեկտր-լուսատվություն դիագրամի տեսքը, բնականաբար, կախված չէ խմբի հեռավորությունից։ Նրանց համար սպեկտր-լուսատվություն դիագրամին համարժեք են սպեկտր-տեսանելի աստղային մեծություն կամ գույնի ցուցիչ-տեսանելի աստղային մեծություն դիագրամները (նկ. 100)։

§ 85. Աստղերի քիմիական բաղադրությունը

Աստղերի սպեկտրներում դիտվող գծերի ուսումնասիրությունը հնարավորություն է տալիս որոշել նրանց մթնոլորտների քիմիական բաղադրությունը։ Այդ ուսումնասիրության արդյունքները վկայում են, որ աստղերի ճնշող մեծամասնության մթնոլորտնե-

րը կազմված են միևնույն քիմիական տարրերից, որոնց հարաբերական քանակը գործնականորեն նույնն է ինչ որ Արեգակում՝ կշռի շուրջ 70 %-ը ջրածին, 28 %-ը հելիում և 2 %-ը մնացած բոլոր քիմիական տարրերը։



Նկ. 100. NGC 2264 բաց աստղակույտի տեսանելի աստղային մեծություն-գույնի ցուցիչ դիագրամը, որ լիովին փոխաբինում է նրա Հերցշպրունգ-Ռեսելի դիագրամին, աստղակույտի բոլոր աստղերը գործնականորեն նույն հեռավորության վրա գտնվելու շնորհիվ։

Ջրածնից և հելիումից հետո ամենատարածվածը թեթև քիմիական տարրերն են՝ ածխածինը, ազոտը և ջրածինը։ Աղյուսակ 3-ը պատկերացում է տալիս Արեգակի և τ Կարինի (B0 սպեկտրալ դաս) աստղի մթնոլորտներում հիշյալ քիմիական տարրերի ատոմների հարաբերական քանակների մասին։

Աղյուսակ 3

Աստղային մթնոլորտների քիմիական բաղադրությունը (ջրածնի ատոմների թիվը ընդունված է հավասար 1000-ի)

Տարր	*Արեգակ*	*τ Կարինի*
Ջրածին	1000	1000
Հելիում	222	175
Ածխածին	0,04	0,17
Ազոտ	0,12	0,3
Թթվածին	0,37	1,0

Գրեթե նույնպիսին է նաև ամենատարածված քիմիական տարրերի միջին բաղադրությունը մյուս աստղերում և, ընդհանրապես, Տիեզերքում։ Քիմիական բաղադրության այդ միասնությունն ունի հսկայական նշանակություն գիտական և աշխարհայացքային տեսակետներից։

Միայն, առանձին փոքրաթիվ աստղերում դիտվում են քիմիական բաղադրության զգալի շեղումներ այդ միջին բաղադրությունից։ Օրինակ, Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերն ըստ քիմիական բաղադրության բաժանվում են երկու խմբի[26]։ Նրանցից առաջինին պատկանող աստղերը հարուստ են ազոտով, իսկ երկրորդ խմբինը՝ ածխածնով։ Ուշ սպեկտրալ դասերի աստղերի մթնոլորտներում մեծ մասամբ առատ է տիտանօքսիդը (TiO)։ Սակայն, ինչպես արդեն նշվել է, շատ հազվադեպ հանդիպող R և N դասերի աստղերը հարուստ են ածխածնի միացություններով (CN, CH, CO_2), իսկ S դասի աստղերի սպեկտրներում ուժեղ են ցիրկոնիումի օքսիդի (ZrO) շերտերը։

§ 86. Կրկնակի աստղեր

Աստղերի չափերի և, հատկապես, զանգվածների որոշման համար շատ կարևոր են կրկնակի աստղերը։ Այսպես են կոչվում երկու բաղադրիչ-աստղերից կազմված համակարգերը, որոնք կատարում են կեպլերյան շարժումներ համակարգի ծանրության կենտրոնի շուրջը։ Կրկնակի աստղերը մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում նաև բաղադրիչ-աստղերի ֆիզիկական ուսումնասիրության տեսակետից։

Կրկնակի աստղերը շատ բազմաքանակ են։ Ժամանակակից դիտողական տվյալների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ բոլոր աստղերի առնվազն կեսից ավելին գտնվում են կրկնակի համակարգերի կազմում։

Բոլոր կրկնակի աստղերը սովորաբար բաժանում են երեք խմբի՝ ըստ նրանց հայտնաբերման եղանակի։

Եթե կրկնակի աստղի բաղադրիչները երկնակամարում իրարից բավականաչափ հեռու են և աստղադիտակի (որոշ դեպքերում նույնիսկ աչքի) լուծունակությունը թույլ է տալիս նրանց զատել, կրկնակի աստղը կոչվում է **վիզուալ-կրկնակի**։ *Այս աստղերի սիստեմատիկ դիտումների միջոցով կարելի է որոշել ավելի թույլ բաղադրիչի (արբանյակ) հարաբերական ուղեծիրը պայծառ բաղադրիչի (գլխավոր աստղ) շուրջը, իսկ ավելի հազվադեպ նաև՝*

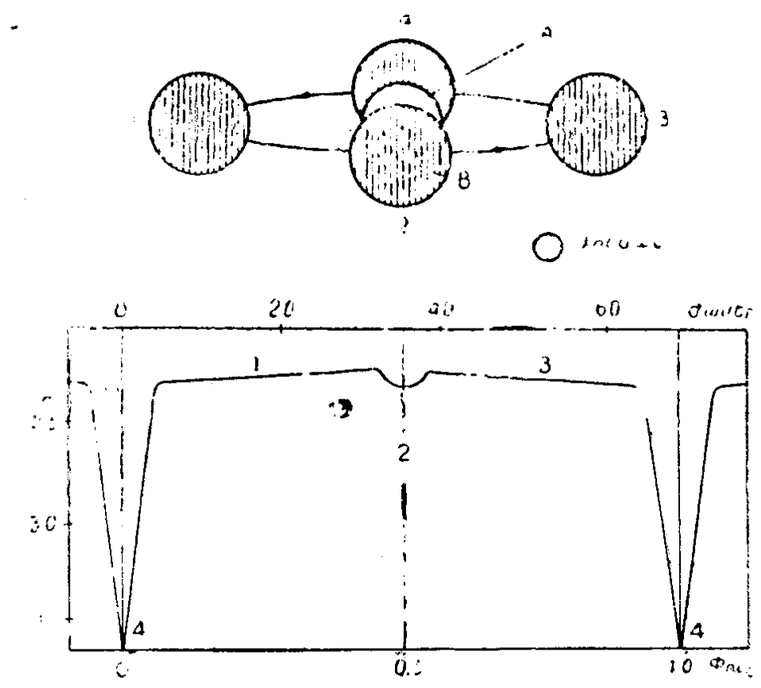
[26] *Այդպես են կոչվում իրենց առաջին հետազոտողների՝ ֆրանսիացի աստղագետներ Վոլֆի և Ռայեյի անունով։*

երկու աստղերի ուղեծրերը համակարգի ծանրության կենտրոնի շուրջը։

Սակայն այն դեպքերում, երբ կրկնակի աստղը կազմում է սեղմ զույգ և նրա բաղադրիչները զատ-զատ չեն դիտվում, աստղի կրկնակիությունը կարող է հայտնաբերվել նրա պայծառության լուսաչափական կամ սպեկտրի դիտումներից։

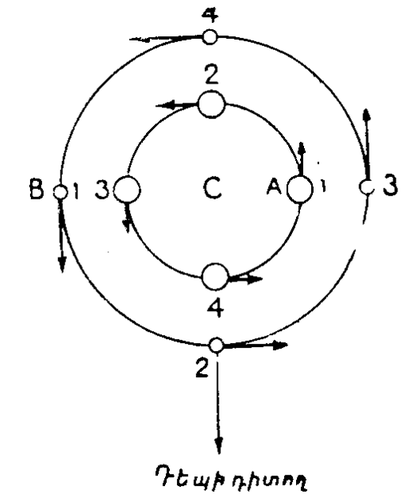
Եթե կրկնակի աստղի ուղեծրային շարժումները կատարվում են դիտողի տեսագծով անցնող կամ թե նրա հետ փոքր անկյուն կազմող հարթության մեջ, ապա աստղի բաղադրիչների ուղեծրային շարժումների այդպիսի կողմնորոշման հետևանքով նրանք պարբերաբար մեկը մյուսին ծածկում են՝ տեղի է ունենում կրկնակի աստղի մերթ մեկ, մերթ մյուս բաղադրիչի խավարում։ Դրա հետևանքով դիտվում են կրկնակի աստղի պայծառության պարբերական փոփոխություններ։ Այդպիսի կրկնակի աստղերը կոչվում են **խավարուն կրկնակի** կամ խավարուն փոփոխական աստղեր։

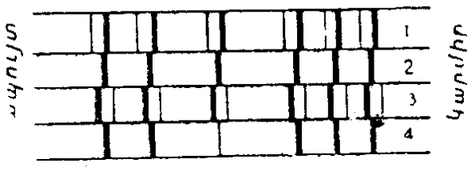
Նկ. 101-ում ներկայացված է հայտնի խավարուն կրկնակի աստղերից մեկի՝ Ալգոլի (β Պերսեոսի) պայծառության կորը և նրա թուլ, սակայն ավելի մեծ չափերի, բաղադրիչի շարժման ուղեծրի սխեման՝ ավելի մեծ զանգված ունեցող պայծառ բաղադրիչի շուրջը։



Նկ. 101. Խավարուն փոփոխական Ալգոլի (β Պերսեոսի) պայծառության փոփոխության կորը և գլխավոր աստղի (A) շուրջը արբանյակի (B) ուղեծրի սխեման։

Սեղմ կրկնակի աստղերի կրկնակիությունը հնարավոր է հայտնաբերել նաև սպեկտրոսկոպիկ եղանակով այն դեպքում, երբ բաղադրիչ-աստղերի ուղեծրային շարժումները կատարվում են տեսագծի հետ 90°-ից տարբեր անկյուն կազմող հարթություններում։ Այս աստղերի սպեկտրներում դիտվում են սպեկտրալ գծերի պարբերական շեղումներ նրանց նորմալ դիրքի նկատմամբ, կապված այն բանի հետ, որ ուղեծրային շարժումների հետևանքով բաղադրիչներից մեկը միշտ մեզ մոտենում է, իսկ մյուսը՝ հեռանում։ Միայն այն պահին, երբ աստղի բաղադրիչները գտնվում են տեսագծի ուղղությամբ, ուղեծրային շարժումների արագությունները կազմում են ուղիղ անկյուն տեսագծի հետ, տեսագծային արագությունները հավասար են զրոյի և սպեկտրալ գծերը գտնվում են նորմալ դիրքում։ Դրանից հետո բաղադրիչների ուղեծրային շարժումները փոխում են իրենց ուղղությունները՝ նախկինում մեզնից հեռացող բաղադրիչը մոտենում է, իսկ մոտեցողը՝ հեռանում։ Այսպիսով, կրկնակի աստղի բաղադրիչների միացյալ (վերադրված) սպեկտրում գծերը պարբերաբար երկվում, ապա ձուլվում են։ Այդ բանը լավ երևում է նկ. 102-ից։ Եթե սպեկտրալ կրկնակի աստղի արբանյակը այնքան թույլ է, որ չի երևում, ապա գլխավոր աստղի սպեկտրում սպեկտրալ գծերը պարբերաբար տատանվում են նորմալ դիրքի շուրջը՝ մեկ աջ, մեկ ձախ, համակարգի ծանրության կենտրոնի շուրջը գլխավոր աստղի ուղեծրային շարժմանը համա-





102. Սպեկտրալ կրկնակի աստղի սպեկտրում սպեկտրալ գծերի պարբերական շեղումների բնույթը՝ բաղադրիչների տեսագծային արագությունների փոփոխության հետևանքով, նրանց ուղեծրային շարժումների ժամանակ։ Այդ շեղումներն ավելի փոքր են գլխավոր աստղի (A) սպեկտրում, որովհետև նրա զանգվածն ավելի մեծ է, իսկ ուղեծրի չափերը՝ ավելի փոքր։

պատասխան։ Սպեկտրոսկոպիկ եղանակով հայտնաբերված կրկնակի աստղերը կոչվում են սպեկտրալ կրկնակի։

Երբ սպեկտրալ կրկնակի աստղի ուղեծրային հարթությունը տեսադծի հետ կազմում է փոքր անկյուն նա միաժամանակ դիտվում է որպես խավարուն կրկնակի։ Այդ դեպքում պարբերաբար փոփոխվում են աստղի և՛ սպեկտրը, և՛ պայծառությունը։ Ըստ որում սպեկտրալ գծերի տատանման և պայծառության փոփոխության պարբերությունները համընկնում են։

Միաժամանակ, խավարուն և սպեկտրալ կրկնակի աստղերի ուսումնասիրությունից ստացվում են բազմազան տվյալներ բաղադրիչների շարժման ուղեծրերի և նրանց հատկանիշների վերաբերյալ։

§ 87. Աստղերի չափերը

Մինչև հիմա հաջողվել է միայն մոտակա մի քանի տասնյակ գերհսկա աստղերի տրամագծերի ուղղակի որոշումը չափազանց նուրբ ինտերֆերենցիոն եղանակի կիրառմամբ՝ աշխարհի խոշորագույն աստղադիտակներով։ Հաջողվել է չափել նաև խավարուն կրկնակի աստղերի բաղադրիչների տրամագծերը։

Բաղադրիչ աստղերի խավարումների ժամանակ կրկնակի աստղի պայծառության նվազման չափը, նրա խավարման տևողությունը կախված են այդ աստղերի պայծառություններից և չափերից։ Ուստի, խավարուն փոփոխական աստղերի պայծառության փոփոխությունների ուսումնասիրության միջոցով կարելի է որոշել բաղադրիչ աստղերի պայծառությունները և չափերը, եթե հայտնի են նրանց հեռավորությունները։

Մնացած բոլոր դեպքերում աստղերի չափերը կարելի է գնահատել նրանց լուսատվության, մակերևույթի մեծության և միավոր մակերևույթի ճառագայթած էներգիայի քանակի միջև եղած կապի հիման վրա։ Եթե աստղը ճառագայթում է սև մարմնի նման, ապա այդ կապը, համաձայն Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքի, կգրվի հետևյալ տեսքով՝

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4, \qquad (8.9)$$

որտեղ՝ L-ը աստղի լուսատվությունն է, իսկ R-ը նրա շառավիղը։ (8.9) արտահայտությունը ներկայացնում է աստղի մակերևույթի և միավոր մակերեսի ճառագայթած էներգիայի արտադրյալը։ Այն պարզեցնելու նպատակով գրենք նույն բանը Արեգակի համար՝

$$L_\odot = 4\pi R_\odot^2 \sigma T_\odot^4$$

և վերցնենք նրանց հարաբերությունը՝

$$\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^2 \left(\frac{T}{T_\odot}\right)^4. \qquad (8.10)$$

(8.10) կապից արդեն հեշտ է հաշվել աստղի շառավիղը, արտահայտած Արեգակի շառավղի, L-ն էլ Արեգակի լուսատվության միավորներով՝

$$R = \sqrt{L}\left(\frac{T_\odot}{T}\right)^2$$

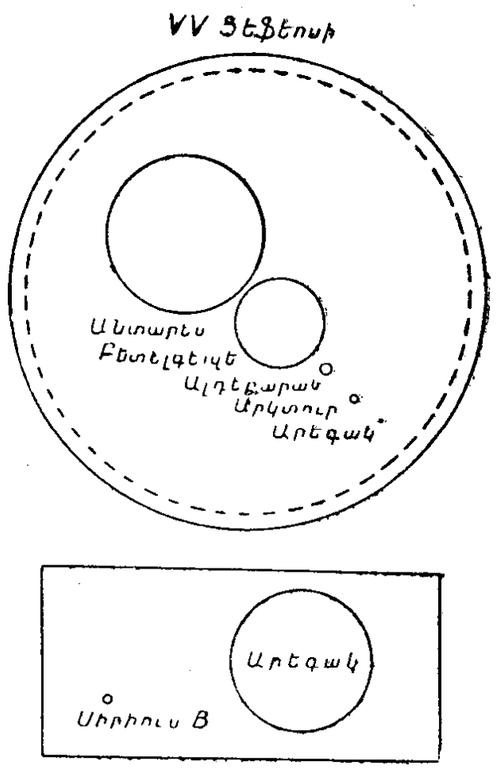
կամ՝

$$\lg R = \frac{1}{2}\lg L + 2\lg\frac{T_\odot}{T}, \qquad (8.11)$$

եթե հայտնի է նրա լուսատվությունը (նույնպես Արեգակի միավորներով) և ջերմաստիճանը։

Սովորաբար, այդ նպատակով օգտագործվում է (8.11) լոգարիթմական բանաձևը։

Աստղերի չափերը շատ բազմազան են (նկ. 103)։ Կան աստղեր, որոնք իրենց շառավղով հայտնի արագավոր, երբեմն հազարավոր անգամ գերազանցում են Արեգակին։ Մյուս կողմից, թզուկ աստղերի մեջ կան այնպիսի աստղեր, որոնք փոքր են Երկրից։ Այսպես, ε Կառավարի կրկնակի աստղի infrակարմիր բաղադրիչի շառավիղը շուրջ 3000 անգամ մեծ է Արեգակի շառավղից, մինչդեռ Վոլֆի աստղացուցակի № 457 աստղի շառավիղը 1000 անգամ փոքր է վերջինից, այսինքն շուրջ 10 անգամ փոքր Երկրի շառավղից։



Նկ. 103. Արեգակի և մի քանի աստղերի համեմատական չափերը, գծիկներով նշված շրջանագիծը հավասար է Սատուրնի ուղեծրին՝ Արեգակի շուրջը։

§ 88. Աստղերի զանգվածները

Աստղերի զանգվածների որոշման միակ անմիջական մեթոդը հիմնված է կրկնակի աստղերի նկատմամբ Կեպլերի երրորդ ընդհանրացված օրենքի՝

$$\frac{T^2}{a^3}\left(M_1+M_2\right)=\text{const}, \qquad (8.10)$$

կիրառության վրա։ Այդ օրենքում T-ն և a-ն գլխավոր աստղի շուրջը արբանյակ-աստղի հարաբերական շարժման պարբերությունը և նրա ուղեծրի մեծ կիսառանցքն են, իսկ M_1 և M_2 մեծությունները՝ բաղադրիչ աստղերի զանգվածները։ (8.10) բանաձևի աջ մասը հաստատուն մեծություն է։

Եթե M_1 և M_2 զանգվածներն արտահայտենք Արեգակի զանգվածի, a-ն երկրի ուղեծրի մեծ կիսառանցքի միավորներով, իսկ T-ն տարիներով, ապա (8.10) արտահայտության աջ մասում գտնվող հաստատունը հավասար կլինի միավորի և կեպլերի օրենքը կստանա՝

$$M_1+M_2=\frac{a^3}{T^2} \qquad (8.11)$$

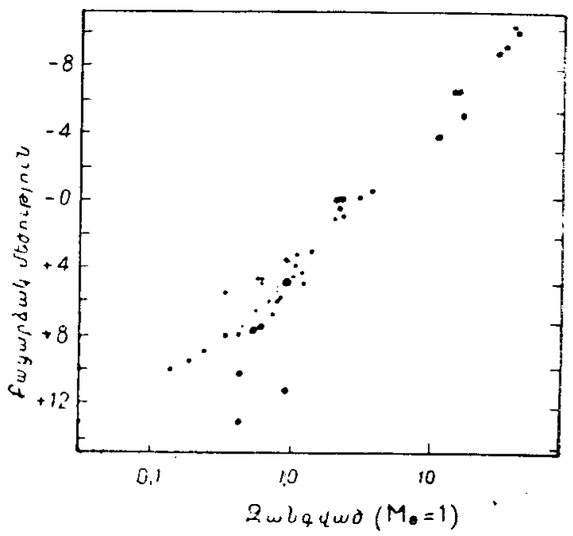
տեսքը։

Կրկնակի աստղի դիտումներից որոշելով a և T մեծությունները, (8.11) բանաձևով հաշվում են բաղադրիչ աստղերի զանգվածների գումարը՝ M_1+M_2։ Այնուհետև, նրանցից յուրաքանչյուրի զանգվածը որոշելու համար անհրաժեշտ է գիտենալ նաև նրանց հարաբերությունը՝ M_1/M_2։ Այն կարելի է որոշել, օրինակ, այն դեպքում, երբ դիտումներից հայտնի են համակարգի ծանրության կենտրոնի շուրջը զույգ բաղադրիչների շարժման ուղեծրերի մեծ կիսառանցքները՝ a_1 և a_2։ Նրանց հարաբերությունը հակադարձ համեմատական է բաղադրիչների զանգվածների հարաբերությանը՝

$$\frac{M_1}{M_2}=\frac{a_2}{a_1}:$$

Հայտնի աստղերից ամենամեծ զանգվածն ունի Հենրի Դրեպերի աստղացուցակի № 47129 կրկնակի աստղը։ Նրա բաղադրիչներից յուրաքանչյուրի զանգվածը առնվազն 50 անգամ մեծ է Արեգակի զանգվածից, որը, ինչպես հայտնի է, հավասար է $2\cdot10^{33}$ գ։ Ամենափոքր զանգվածներ ունեն կարմիր թզուկ աստղերը, որոնց մեջ հանդիպում են Արեգակի զանգվածից շուրջ 20 անգամ փոքր զանգվածներ։

Աստղերի զանգվածները հաճախ որոշվում են նրանց լուսատվությունների միջոցով, այդ երկու մեծությունների միջև գոյություն ունեցող «զանգված-լուսատվություն» առնչության հիման վրա (նկ. 104)։ «Զանգված-լուսատվություն» առնչությունը ճիշտ է աստղերի մեծամասնության համար։



Նկ. 104. Զանգված-լուսատվություն էմպիրիկ առնչությունը։ Զանգվածներն արտահայտված են Արեգակի զանգվածի միավորներով։

Զանգվածների փոքր և չափերի մեծ տարբերություններից պատճառով աստղերը խիստ տարբերվում են իրենց նյութի միջին խտությամբ։ Նյութի ամենափոքր միջին խտություն ունեն կարմիր գերհսկա աստղերը։ Որոշ դեպքերում այն միլիոնավոր անգամ փոքր է ջրի խտությունից։ Մինչդեռ, այսպես կոչված, սպիտակ թզուկ աստղերի նյութի միջին խտությունը տասնյակ միլիոնավոր անգամ գերազանցում է ջրի խտությանը։

Աղյուսակ 4

Մի քանի աստղերի զանգվածները, շառավիղները և միջին խտությունները

Աստղ	*Զանգված* ($M_\odot=1$)	*Շառավիղ* ($R_\odot=1$)	*Խտություն* (գ/սմ$^{-3}$)
Անտարես	50	330	$1{,}4\cdot10^{-6}$
Ռիգել	40	33	$1{,}4\cdot10^{-3}$
Արկտուր	11	26	$1{,}0\cdot10^{-3}$
Կապելլա A	4,2	12	$3{,}3\cdot10^{-3}$
Վեգա	2,8	2,2	0,28
Արեգակ	1,0	1,0	1,41
Կրյուգեր 60	0,3	0,41	6,3
Սիրիուս B	0,89	0,029	$5{,}2\cdot10^{4}$
Վան Մաանեն	0,12	0,007	$4{,}2\cdot10^{5}$

Ծանոթություն—Երբեմն աստղերը նշանակվում են համապատասխան աստղացուցակի անունով և նրանում աստղի հերթական համարով (Կրյուգեր 60) կամ աստղը հետազոտողի անունով (Վան Մաանեն)։ Աստղի անվան կից A կամ B տառերը ցույց են տալիս, որ այն կրկնակի աստղի պայծառ կամ թույլ բաղադրիչն է։

Աղյուսակ 4-ում բերված տվյալները պատկերացում են տալիս աստղերի զանգվածների, չափերի և միջին խտությունների բազմազանության վերաբերյալ (Արեգակի զանգվածը և խտությունը ընդունված են հավասար միավորի)։

§ 89. Սպիտակ թզուկներ

Այս թզուկ աստղերը պատկանում են վաղ սպեկտրալ դասերին և, հետևաբար, ունեն լուսոլորտի բարձր ջերմաստիճան (այստեղից էլ նրանց անվանումը), որը զուգակցվում է շատ ցածր լուսատվության հետ։ Ուստի պետք է ենթադրել, որ նրանց չափերը շատ փոքր են։ Առաջին սպիտակ թզուկ աստղը հայտնաբերվել է 1919 թ., այն երկնակամարի ամենապայծառ աստղի՝ Սիրիուսի արբանյակն է։ Սիրիուսը ու նրա արբանյակը նշանակվում են համապատասխանաբար՝ Սիրիուս A և Սիրիուս B։ Նրանց տեսանելի աստղային մեծությունների տարբերությունը հավասար է —8,7։ Հաշվի առնելով, որ այդ աստղերը կազմում են ֆիզիկական զույգ, այսինքն՝ գործնականում գտնվում են մեզանից նույն հեռավորության վրա, (2.7) բանաձևից կստանանք նույն տարբերությունը նրանց բացարձակ աստղային մեծությունների միջև՝

$$M_A - M_B = -8{,}7:$$

Օգտվելով (8.8) բանաձևից այդ աստղերի լուսատվությունների հարաբերության համար կարող ենք գրել՝

$$\frac{L_A}{L_B} = 10^{-0{,}4\,(M_A - M_B)} = 10^{3{,}48} \simeq 3200:$$

Այնուհետև հայտնի է, որ Սիրիուս A և Սիրիուս B աստղերի սպեկտրալ դասերը (A0 և A5), հետևաբար, նրանց լուսոլորտների ջերմաստիճանները քիչ են տարբերվում։ Այստեղից հետևում է, որ այդ աստղերի լուսատվությունների տարբերությունը գրեթե ամբողջովին պայմանավորված է նրանց չափերի տարբերություններով։

Մյուս կողմից, (8.9) բանաձևից հետևում է, որ լուսոլորտի միևնույն ջերմաստիճան ունեցող երկու աստղերի շառավիղների

հարաբերությունը միարժեք որոշվում է նրանց լուսատվությունների հարաբերությամբ՝

$$\frac{R_A}{R_B} = \left(\frac{L_A}{L_B}\right)^{1/2} = \sqrt{3200}:$$

Սակայն, զանգվածների անմիջական որոշման համաձայն Սիրիուս B աստղի զանգվածը միայն 2 անգամ է փոքր Սիրիուս A աստղի զանգվածից։ Այստեղից անվերապահորեն բխում է, որ այդ աստղերի նյութի միջին խտությունների հարաբերությունը մոտավորապես հավասար է նրանց ծավալների հարաբերության կեսին՝

$$\frac{\rho_B}{\rho_A} = \frac{1}{2}\left(\frac{R_A}{R_B}\right)^3 = \frac{1}{2}\left(\frac{L_A}{L_B}\right)^{3/2} \simeq 90000:$$

Այսպիսով, Սիրիուս B աստղում նյութի միջին խտությունը շուրջ 5 կարգով (10^5 անգամ) ավելի մեծ է, քան Սիրիուս A աստղում։ Բացարձակ արժեքով Սիրիուս B սպիտակ թզուկի նյութի միջին խտությունը կազմում է շուրջ 50 կիլոգրամ մեկ խորանարդ սանտիմետրում։ Կան սպիտակ թզուկներ, որոնց նյութի միջին խտությունը տասնյակ, հարյուրավոր անգամ ավելի մեծ է։

Սիրիուս B աստղի նյութի չափազանց մեծ խտությունը հաստատվում է հետևյալ փաստով։ Հարաբերականության տեսության համաձայն, նման մեծ խտություն ունեցող մարմինների ձգողական դաշտում պետք է դիտվի էլեկտրամագնիսական ալիքների տատանումների հաճախականության նվազում, այսինքն՝ սպեկտրալ գծերի շեղում դեպի երկար ալիքները (ձգողական կարմիր շեղում)։ Սիրիուս B-ի դեպքում, այդ շեղումը պետք է լինի շուրջ 19 կմ/վրկ։ Քանի որ Սիրիուս B-ն կապված է Սիրիուս A-ի հետ, ապա նրանց սպեկտրների համեմատությունից հեշտ է հայտնաբերել այդ լրացուցիչ շեղումը և չափել այն։ Դիտումները լիովին հաստատել են այդ կարմիր շեղման առկայությունը, հետևաբար՝ Սիրիուս B-ի նյութի մեծ խտությունը։ Մյուս կողմից, ելնելով այդ աստղի նյութի շատ մեծ խտությունից, հիշյալ դիտումները կարելի է համարել որպես աստղագիտական վկայություն հարաբերականության տեսության օգտին։

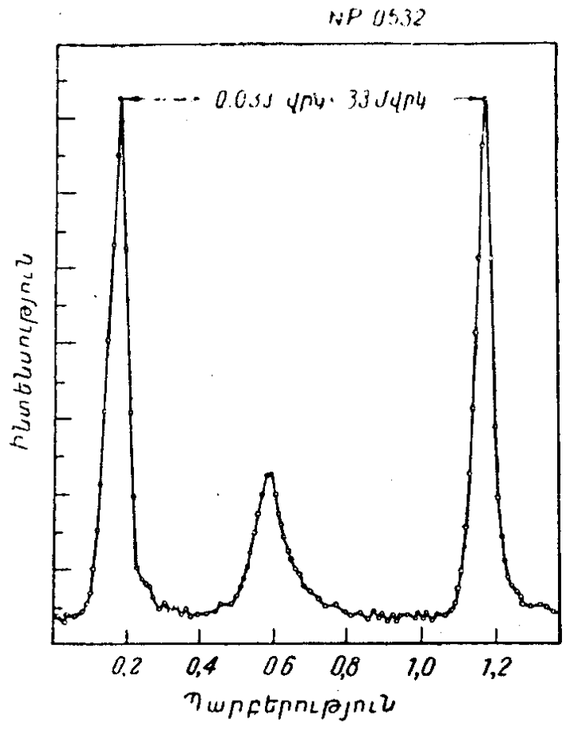
Սպիտակ թզուկներում նյութի սովորական պայմաններում անհասանելի բարձր խտությունը բացատրվում է այդ աստղերի ընդերքում նյութի առանձնահատուկ վիճակով, երբ բոլոր ատոմները լրիվ իոնացված են։ Նյութն այնտեղ ամբողջովին կազմված է

ատոմների մերկ միջուկներից և ազատ էլեկտրոններից։ Այս դեպքում միջուկների և էլեկտրոնների փոխադարձ հեռավորությունները կարող են շատ ավելի փոքր լինել, իսկ նյութի խտությունը համապատասխանաբար՝ ավելի մեծ, քան սովորական ատոմներում։ Շատ մեծ խտության և համեմատաբար ցածր ջերմաստիճանի պայմաններում սպիտակ թզուկ աստղերում նյութը (գազը) գտնվում է, այսպես կոչված, այլասերված վիճակում և նրա հատկությունները խիստ տարբերվում են իդեալական գազի հատկություններից։

Անհրաժեշտ է ավելացնել, որ Գալակտիկայում սպիտակ թզուկները կազմում են աստղերի ամենաբազմաքանակ խմբերից մեկը։ Այդ աստղերի ցածր լուսատվությունն է պատճառը, որ մենք դիտում ենք նրանց մի չնչին մասը միայն։

§ 90. Բաբախիչներ

Ենթադրվում է, որ բաբախիչները (պուլսարներ), շատ ավելի մեծ խտություն ունեն։ Բաբախիչները ռադիոճառագայթման աղբյուրներ են և հայտնաբերվել են 1967 թ.։ Նրանց ռադիոճառագայթումը չափազանց արագ (վայրկյանի տասնորդական, ներ-



Նկ. 105. Խեցգետնաձև միգամածության մեջ գտնվող NP 0532 բաբախիչի (պուլսարի) պայծառության փոփոխության կորը սպեկտրի օպտիկական տիրույթում՝ մի փուլի ընթացքում։

բեմն հարյուրերորդական մասերի ընթացքում) փոփոխվում է։ Այն ի հայտ է գալիս պարբերաբար, շատ կարճաև ազդանշանների ձևով, և արագ անհետանում է (նկ. 105)։

Որոշ դեպքերում ճառագայթման նույնպիսի փոփոխություններ տեղի են ունենում նաև բաբախիչների սպեկտրի օպտիկական և ռենտգենյան տիրույթներում։ Օրինակ, այդպիսին է Յուլի համաստեղությունում դիտվող և խեցգետնաձև միգամածության մեջ գտնվող NP0532 բաբախիչը։

Բաբախիչների ճառագայթման դիտվող զարմանալի փոփոխությունները կարելի է բացատրել այդ մարմինների շատ արագ պտույտով։ Սակայն դրա համար պետք է ենթադրել, որ բաբախիչներն իրենց ֆիզիկական հատկություններով էապես տարբերվում են հայտնի աստղերից։ Առանձնապես պետք է նրանց նյութի միջին խտությունը չափազանց մեծ լինի, այդպիսի արագ պտույտն ապահովելու համար։

Ուստի ենթադրվում է, որ բաբախիչները նեյտրոնային աստղեր են, որոնց կենտրոնական միջուկներն ամբողջովին կազմված են նեյտրոններից։ Նեյտրոնային աստղերի նյութի միջին խտությունն անսովոր մեծ է՝ այն միլիոնավոր անգամ գերազանցում է սպիտակ թզուկների նյութի միջին խտությանը։

§ 91. Աստղերի մթնոլորտները

Աստղի մեզ հասնող ճառագայթումը հիմնականում գալիս է նրա լուսոլորտի տարբեր շերտերից։ Լուսոլորտից ցած գտնվող շերտերի ճառագայթումը կլանվում է վեր գտնվող շերտերում և այն մեզ չի հասնում։

Անմիջականորեն չեն դիտվում նաև աստղի լուսոլորտից վեր գտնվող մթնոլորտային շերտերը։ Նրանց ունակությունը հնարավոր է կատարել միայն տեսականորեն։

Արեգակի ուսումնասիրությունից հայտնի է, որ լուսոլորտի ֆիզիկական հատկությունները կախված են աստղի զանգվածից M, շառավղից R և ջերմաստիճանից T։

Մասնավորապես, լուսոլորտի բարձրությունը (H) կարելի է գնահատել $H = \text{const}\ \frac{R^2T}{M}$ պարզ արտահայտությունից։ Այդ արտահայտության աջ մասում գտնվող համեմատականության գործակիցը (const) որոշվում է հաստատուն մեծությունների՝ գա-

զային ունիվերսալ հաստատունի, ձգողականության հաստատունի և միջին մոլեկուլյար կշռի միջոցով։ Այն հաստատուն է աստղերի մեծամասնության համար շնորհիվ այն բանի, որ նրանց քիմիական բաղադրությունը, այսինքն՝ մոլեկուլյար կշիռը, միջինում նույնն է։

Նկատի ունենալով, որ աստղերի զանգվածներն իրարից համեմատաբար քիչ են տարբերվում, այստեղից հետևում է, որ միևնույն քիմիական բաղադրության դեպքում աստղի լուսոլորտի բարձրությունն աճում է նրա շառավղի քառակուսուն համեմատական։

Դրան համապատասխան, սպեկտր-լուսատվություն դիագրամի վերին մասն զբաղեցնող աստղերն ունեն ամենատարածված մթնոլորտները։ Հսկա աստղերի մթնոլորտները հարյուրավոր, իսկ գերհսկա աստղերի մթնոլորտները հազարավոր և տասնյակ հազարավոր անգամ ավելի ձգված են համեմատած Արեգակի մթնոլորտի հետ։

Ընդհակառակը, սպիտակ թզուկ աստղերը, որոնք զանգվածով քիչ են տարբերվում Արեգակից, սակայն չափերով հարյուրավոր անգամ նրանից փոքր են, ունեն շատ բարակ (մի քանի հարյուր մետր) մթնոլորտներ, իսկ բաբախիչները (պուլսարները), գործնականում պետք է զուրկ լինեն մթնոլորտներից։

Գազի խտությունը աստղի լուսոլորտում հակադարձ համեմատական է նրա մթնոլորտի բարձրությանը և իրեն՝ գազի կլանման չափին (անթափանցիկությանը)։ Իսկ վերջինս կախված է միջավայրի ջերմաստիճանից և գազի ճնշումից, որն ուղիղ համեմատական է ծանրության ուժին։ Քանի որ մթնոլորտի բարձրությունը հակադարձ, իսկ նրա անթափանցիկությունը ուղիղ համեմատական են ծանրության ուժին, ապա նրանց արտադրյալը, հետևաբար՝ գազի խտությունը աստղերի մթնոլորտներում քիչ է փոփոխվում։

Այսպես, օրինակ, հսկա և գերհսկա աստղերի մթնոլորտներն իրենց խտությամբ ընդամենը 10 անգամ են նոսր արեգակնային մթնոլորտից, իսկ սպիտակ թզուկների մթնոլորտների արտաքին մասերը միայն 10 անգամ են խիտ նրանից։ Ամենանոսր մթնոլորտներ ունեն ջերմ գերհսկա աստղերը, նրանք հարյուրավոր անգամ նոսր են Արեգակի մթնոլորտից։

§ 92. Փոփոխական աստղեր

Գալակտիկայի աստղերի մեծամասնությունը, Արեգակի նման, օժտված են ճառագայթման, գործնականում՝ հաստատուն հզորությամբ։ Սակայն կան աստղեր, որոնց պայծառությունը և սպեկտրը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում են։ Այդ աստղերը կոչվում են փոփոխական աստղեր։

Ըստ պայծառության փոփոխությունների բոլոր հայտնի փոփոխական աստղերը բաժանվում են երկու հիմնական դասի՝ պարբերական (բաբախող) փոփոխականներ[27] և պայթունային (էրուպտիվ) փոփոխականներ։

Պարբերական փոփոխականներից են ցեֆեիդները, RR Քնարի[28] տիպի աստղերը և այլն, իսկ պայթունային փոփոխականներից են Նոր ու Գերնոր աստղերը, P Կարապի և Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերը, T Ցուլի տիպի և նրանց հարող անկանոն փոփոխական աստղերը և այլն։ Ստորև համառոտակի ծանոթանանք նրանց մի մասի հետ։

§ 93. Ցեֆեիդներ և RR Քնարի տիպի փոփոխական աստղեր

Պարբերական փոփոխական աստղերի պայծառության փոփոխությունների պատճառն այդ աստղերի սեփական ճառագայթման հզորության իրական փոփոխություններն են։ Այդպիսի ֆիզիկական պարբերական փոփոխականներից են ցեֆեիդները, որ այդպես են կոչվում իրենց նախատիպի՝ δ Ցեֆեոսի աստղի անունով։ Ցեֆեիդներն աչքի են ընկնում պայծառության կանոնավոր և ըստ մեծության հաստատուն փոփոխություններով։ Այդ փոփոխությունների ամպլիտուդը՝ աստղային մեծությունների տարբերությունը նվազագույն պայծառության (m_{min}) և առավելագույն պայծառության (m_{max}) փուլերում՝ հասնում է մինչև մեկ աստղային մեծության (1^m), իսկ փոփոխությունների պարբերությունը 1 օրից մինչև 70 օր է։

$$\Delta m = m_{min} - m_{max}$$

Պարբերական փոփոխական աստղերից են նաև RR Քնարի

[27] Երբեմն պարբերական փոփոխականների դասին են վերագրում խավարուն փոփոխականներին, որոնք, ինչպես մենք տեսանք, սեղմ կրկնակի աստղեր են և իրենց պայծառությունը փոփոխում են բաղադրիչ-աստղերի պարբերական խավարումների հետևանքով։

[28] Առաջին փոփոխական աստղերը նշանակվում էին լատինական այբուբենի տառերով կամ նրանց զուգակցություններով այն համաստեղության անվան հետ, որտեղ դիտվում են նրանք (T Ցուլի, R Ջրհոսի կամ SS Կարապի, AG Վիշապի և այլն)։ Սակայն, հետագայում, երբ այդ տառերի բոլոր զուգակցությունները վերջացան, որոշվեց նոր փոփոխականները նշանակել «փոփոխական» բառի լատիներեն անվանման առաջին տառով (V) և տվյալ համաստեղության մեջ փոփոխական աստղի հերթական համարով (V 484 Օրիոնի, V 1057 Կարապի և այլն)։

տիպի աստղերը, որոնց պայծառության փոփոխությունների պարբերությունը մեկ օրից պակաս է։

Հիշյալ աստղերի պայծառության փոփոխություններն ուղեկցվում են նրանց սպեկտրների պարբերական փոփոխություններով։ Այսպես, առավելագույն պայծառություն ունենալիս ցեֆեիդն ունի ավելի վաղ տիպի սպեկտր (լուսոլորտի ջերմաստիճանն ավելի բարձր է), քան նվազագույն պայծառություն ունենալու դեպքում։ Օրինակ, δ Ցեֆեոսի սպեկտրը, երբ նրա պայծառությունը առավելագույն է, F 5 դասի է, իսկ նվազագույնի դեպքում՝ G 2։ Նույնպիսի պարբերությամբ փոփոխություններ դիտվում են ցեֆեիդների տեսագծային արագությունների և չափերի միջև։

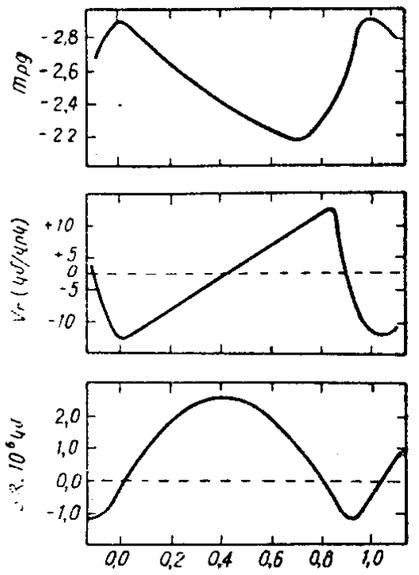
Այդ բոլոր փոփոխությունները բացատրվում են աստղի պարբերական բաբախումներով, այսինքն՝ նրա արտաքին շերտերի հաջորդական լայնացմամբ և կծկումով։ Դրա անմիջական ապացույցը աստղի տեսագծային արագությունների դիտվող փոփոխություններն են, որոնք վկայում են, որ նրա մակերևույթի դիտողին ուղղված կեսը դիտողին պարբերաբար մոտենում և նրանից հեռանում է։

Նկ. 106-ում բերված են δ Ցեֆեոսի աստղի պայծառության, տեսագծային արագության և շառավղի փոփոխությունների կորերը, որոնք ապացուցում են այդ աստղի բաբախումները։

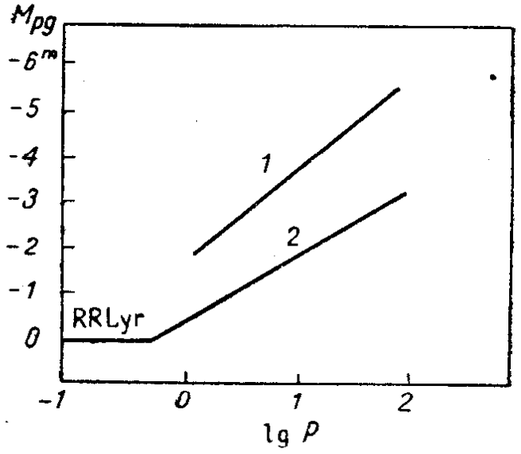
Բոլոր ցեֆեիդները գերհսկա, այսինքն՝ շատ բարձր լուսատվության աստղեր են։ Նրանց լուսատվությունների և պայծառության փոփոխությունների պարբերությունների միջև գոյություն ունի որոշակի կապ (նկ. 107)։ Եթե RR Քնարի տիպի աստղերի լուսատվությունը հաստատուն է ($M_{pg}=0$) անկախ պարբերությունից, ապա ցեֆեիդների լուսատվությունն աճում է պարբերության հետ։

Ցեֆեիդների «պարբերություն-լուսատվություն» առնչությունը հնարավորություն է տալիս պայծառության փոփոխության պարբերության միջոցով որոշել նրանց լուսատվությունները, իսկ (8.7) բանաձևի օգնությամբ նաև հեռավորությունները։ Այդ առնչությունը հաճախ օգտագործվում է այն աստղային համակարգերի հեռավորությունների որոշման համար, որոնց կազմում դիտվում են ցեֆեիդները։

Անհրաժեշտ է ընդգծել, որ մեր Գալակտիկայից դուրս գտնվող աստղային համակարգերի այդ եղանակով որոշված հեռավորությունները հիմք են ծառայում, ընդհանրապես, հեռավոր գալակտիկաների այլ եղանակներով որոշվող հեռավորությունների սանդղակի սահմանման համար։



Նկ. 106. δ Ցեֆեոսի պայծառության (m_{pg}), տեսագծային արագության (V_r) և շառավղի (R) փոփոխությունների կորերը՝ կախված պարբերության փուլից։



Նկ. 107. δ Ցեֆեոսի և RR Քնարի տիպի փոփոխականների պարբերություն-լուսատվություն առնչությունը։ Հորիզոնական առանցքի վրա տրված է պարբերությունը (P), իսկ ուղղահայաց առանցքի վրա՝ բացարձակ լուսանկարչական աստղային մեծությունը (M_{pg})։

Այդ պատճառով ցեֆեիդների «պարբերություն-լուսատվություն» առնչության սկզբնական ճշգրիտ որոշումը հսկայական նշանակություն ունի տիեզերական հեռավորությունների պրոբլեմի համար։

§ 94. Այլ տիպերի բաբախող փոփոխական աստղեր

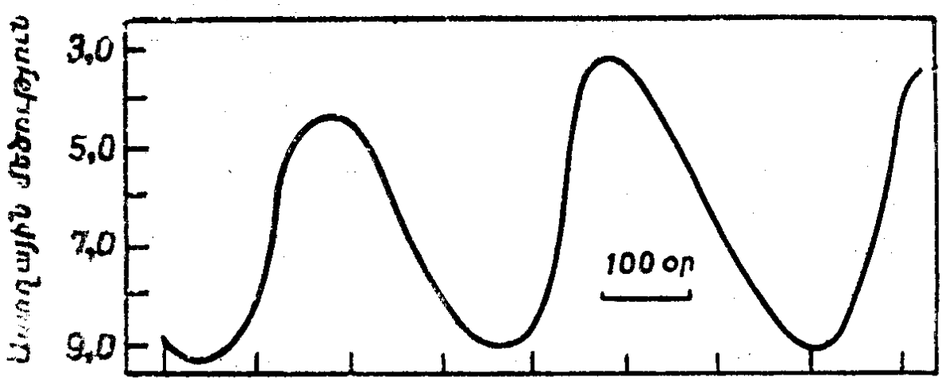
β Ցեֆեոսի կամ β Մեծ Շան տիպի բաբախող փոփոխականները ջերմ հսկա աստղեր են։ Այս աստղերը պայծառության փոփոխություններով հիշեցնում են RR Քնարի տիպի աստղերին։ Սակայն, նրանց փոփոխականության ամպլիտուդը շատ ավելի փոքր է՝ շուրջ $0,^m2$, իսկ պարբերությունը զգալիորեն ավելի երկար՝ մի քանի օր։

Փոփոխականության կորի տեսքը զգալիորեն փոփոխվում է RV Ցուլի տիպի աստղերի մոտ։ Նրանց ամպլիտուդը հաճախ 1^m-ից մեծ է, իսկ պայծառության փոփոխություններում առկա են իրարից տարբեր՝ մեծ և փոքր մինիմումներ։ Փոփոխականության

պարբերությունն այս աստղերի մոտ մի քանի տասնյակ օրվա կարգի է (30—150 օր)։ RV Ցուլի տիպի փոփոխական աստղերն ունեն F-K դասերի սպեկտրներ, որոնցում առավելագույն պայծառության փուլի մոտ ի հայտ են գալիս պայծառ սպեկտրալ գծեր, իսկ նվազագույն պայծառության փուլի մոտ՝ տիտանի կլանման գծեր։

Այս փոփոխական աստղերից զգալիորեն տարբերվում են կիսականոնավոր փոփոխականները, որոնց մոտ երբեմն դիտվում են լուսատվության ուժեղ և անկանոն փոփոխություններ (տասնյակից մինչև հարյուրավոր օրերի ընթացքում)։ Այդ տիպի փոփոխական աստղերից է μ Ցեֆեոսի կամ նոան աստղը, որն այդպես է կոչվում իր մուգ կարմիր գույնի պատճառով (սպեկտրը M դասի է)։

Մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում ուշ սպեկտրալ դասերի (M, R, N և S) այն փոփոխականները, որոնց լուսատվությունը փոփոխվում է նույնպես անկանոն, սակայն սահուն ձևով, երկար ժամանակամիջոցներում (70—1300 օր) և մեծ սահմաններում (մինչև $\sim 7^{m}$)։ Բոլոր այդ աստղերի սպեկտրներում դիտվում են պայծառ գծեր։ Փոփոխականների այդ դասի ներկայացուցիչ է ο Կետի աստղը (նկ. 108), որը պայծառության փոփոխությունների բնույթի շնորհիվ ստացել է Կետի Ջարմանալի աստղ անունը (Mira Ceti)։ Նրա փոփոխականության պարբերությունը փոփոխվում է 320—370 օրվա սահմաններում։ Այդ աստղի անունով է կոչվում **կիսապարբերական փոփոխականների** *ամբողջ դասը*։ Բոլոր կիսապարբերական փոփոխական աստղերի փոփոխականության պարբերությունը նույնպես փոփոխական է. այն տատանվում է 10 %-ի չափով՝ նրա միջին արժեքի շուրջը։



Նկ. 108. Երկարպարբերական փոփոխական Կետի Ջարմանալի աստղի (ο Կետի) պայծառության փոփոխության կորը՝ 1946—48 թվականներին։

Տարբեր դասերի բաբախող փոփոխական աստղերի համեմատությունից հետևում է, որ նրանց բոլորին հատուկ փոփոխականության պարբերությունն աստիճանաբար աճում է ուշ սպեկտրալ դասերին, այսինքն՝ լուսոլորտի ցածր ջերմաստիճան ունեցող աստղերին, անցնելիս։ Միաժամանակ այդ պարբերության հաստատունությունը միջին հաշվով նվազում է պարբերության աճի հետ, այսինքն՝ դեպի ուշ սպեկտրալ դասերի փոփոխական աստղերը։

Աստղերի էվոլյուցիայի պրոբլեմի, ինչպես նաև ֆիզիկայի համար առանձնահատուկ հետաքրքրություն են ներկայացնում այն փոփոխական աստղերը, որոնց պայծառության փոփոխությունները հարուցվում են նրանց մեջ տեղի ունեցող ֆիզիկական, շատ հաճախ անդարձելի, պրոցեսներով։

§ 95. Նոր աստղեր

Նոր աստղերի երևույթը[29] հսկայական մասշտաբների մի պայթյուն է, որի հետևանքով աստղի պայծառությունը մի քանի օրում աճում է մի քանի հարյուր հազարից մինչև միլիոն անգամ, և մինչ այդ իր պայծառությամբ բոլորովին աննշան աստղը հանկարծ աչքի է զարնում հարևան աստղերի մեջ։

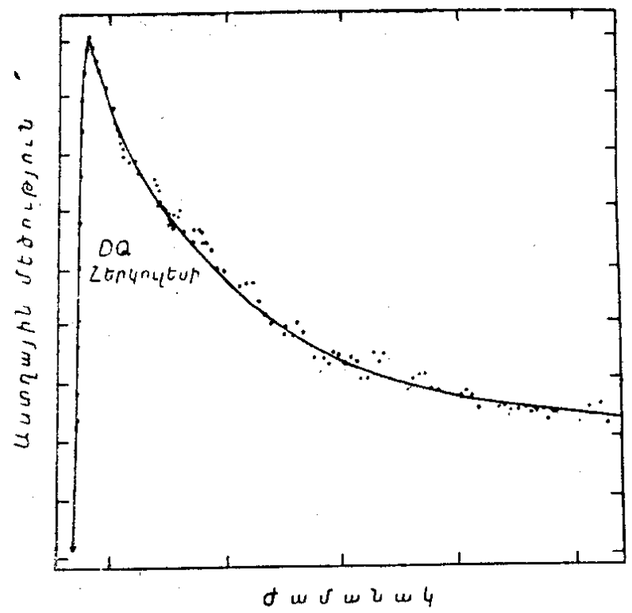
Աստղի *պայծառությունը առավելագույնի հասնելուց հետո, անհամեմատ ավելի դանդաղ նվազելով, աստիճանաբար, որոշ տատանումներով մոտենում է իր սկզբնական արժեքին։ Նոր աստղի պայծառության անկման փուլը մինչև նվազագույն արժեքին հասնելը տևում է տարիներ (նկ. 109)։*

Պայծառության այդ փոփոխություններին զուգընթաց փոփոխվում է Նոր աստղի սպեկտրը։ Առավելագույն պայծառությունից քիչ առաջ Նոր աստղն ունի A կամ F դասի նորմալ գերհսկա աստղի սպեկտր, որտեղ կլանման գծերը խիստ շեղված են դեպի սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն մասը։ Այդ փաստը վկայում է, որ Նոր աստղի մթնոլորտի այն շերտերը, որտեղ առաջանում են հիշյալ գծերը, մոտենում են դիտողին (շուրջ 1000 կմ/վրկ արագությամբ)։

Աստղը առավելագույն պայծառության հասնելուց անմիջապես հետո նրա սպեկտրը շատ արագ ձևափոխվում է. առաջանում են նորմալ դիրքում գտնվող պայծառ (առաքման) շերտեր, որոնք

[29] «Նոր» անվանումը չի համապատասխանում երևույթի էությանը և պահպանվել է ավանդաբար։ Իրականում, տեղի է ունենում ոչ թե մի նոր աստղի ծննդյան, այլ նախկինում գոյություն ունեցող աստղի «պայթյուն»՝ պայծառության ուժեղ և արագ աճ, որն ունի ժամանակավոր բնույթ։

կարճալիքային կողմից վերջանում են իրենց նորմալ դիրքից խիստ շեղված կլանման գծերով։



Նկ. 109. Հերկուլեսի համաստեղության մեջ 1934 թ. դիտված Նորի (DQ Հերկուլեսի) պայծառության կորը։

Աստղի պայծառության նվազման հետ, նրա սպեկտրում աստիճանաբար անհետանում են կլանման գծերը և մնում են միայն լայն պայծառ շերտերը։ Այդ ժամանակ աստղի սպեկտրը շատ նման է գազային միգամածությունների սպեկտրներին, միայն պայծառ գծերը անհամեմատ լայն են։ Սովորաբար, աստղի սպեկտրն այս փուլում մնում է անփոփոխ մինչև որ նա վերադառնում է իր սկզբնական պայծառությանը։

Վերջապես, պայծառ շերտերն էլ թուլանալով անհետանում են և մնում է աստղի անընդհատ սպեկտրը միայն, որի ուժեղ ուլտրամանուշակագույն մասը մատնանշում է, որ նրա լուսոլորտի ջերմաստիճանը շատ բարձր է։

Վերջին ժամանակներս պարզվել է, որ որոշ նախկին նորեր սեղմ կրկնակի աստղեր են։ Օրինակ, Հերկուլեսի համաստեղությունում 1934 թ. բռնկված Նորը կրկնակի աստղ է, 4 ժամ 39 րոպե պարբերությամբ։ Որպես խավարուն փոփոխական այն ստացել է DQ Հերկուլեսի անվանումը։

Նոր աստղերի բռնկումները մեր Գալակտիկայում բավական հաճախ են տեղի ունենում՝ տարեկան մի քանի տասնյակ անգամ։ Սակայն, դիտումների համար մատչելի է լինում նրանց փոքր, մեզ բավականաչափ մոտ մասը միայն։

Մեր Գալակտիկայում դիտված նոր աստղերի թիվը ներկայումս անցնում է 150-ից։ Նրանցից մի քանիսը առավելագույն պայծառությունում տեսանելի են եղել նույնիսկ անզեն աչքով։

§ 96. Գերնոր աստղեր

Գերնոր աստղերի բռնկումները հարյուրավոր անգամ ավելի վիթխարի, սակայն շատ ավելի հազվադեպ, երևույթներ են։ Որոշ Գերնոր աստղեր, առավելագույն պայծառությունում իրենց լուսատվությամբ, գերազանցել են հարյուր միլիարդավոր աստղերից կազմված այն գալակտիկաներին, որտեղ նրանք բռնկվել են։

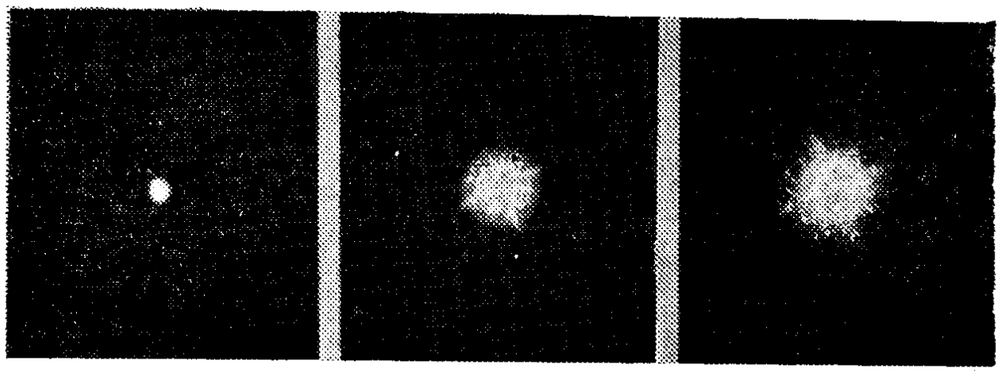
Յուրաքանչյուր գալակտիկայում միջին հաշվով Գերնոր աստղեր բռնկվում են մի քանի հարյուր տարին մեկ անգամ։ Սակայն հայտնի են գալակտիկաներ, որտեղ Գերնոր աստղերի բռնկումները շատ ավելի հաճախակի են տեղի ունենում։ Օրինակ, NGC 2276 գալակտիկայի լուսանկարների վրա վերջին տասնամյակում Բյուրականի աստղադիտարանում հայտնաբերվել է 3 Գերնոր աստղի բռնկում[30]։

Գերնորերի սպեկտրները, առավելագույն պայծառությունում կազմված են շատ լայն պայծառ շերտերից, որոնց մի մասը մինչև օրս չի նույնացվել քիմիական տարրերի հայտնի գծերի հետ։ Նրանց լայնությանը համապատասխան արագությունները մեկ վայրկյանում հասնում են մի քանի հազար կիլոմետրի։

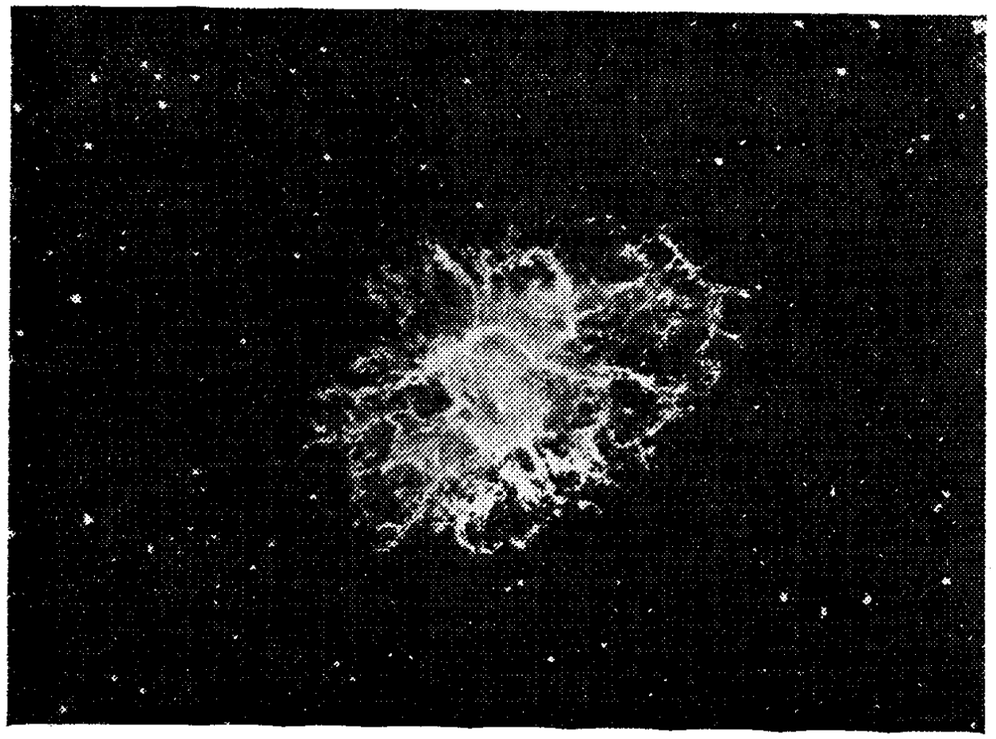
Նոր և Գերնոր աստղերի բռնկումների ժամանակ նրանց պայծառության և սպեկտրի փոփոխությունները բացատրելու համար ենթադրվում է, որ հիշյալ աստղերն իրենց զարգացման որոշակի փուլում սկսում են մեծ արագությամբ ուռչել, որի հետևանքով շատ արագ աճում է նրանց ճառագայթող մակերևույթը, հետևաբար՝ նրանց պայծառությունը։ Այնուհետև, աստղի կենտրոնից հեռացող շերտերը հետզհետե նոսրանում են և դառնում թափանցիկ ավելի խոր շերտերից եկող ճառագայթման համար։ Այդ պատճառով աստղի պայծառությունը աստիճանաբար նվազում և դանդաղ կերպով հասնում է մինչև բռնկումն ունեցած նրա արժեքին։ Այդ փուլում աստղից մեծ արագությամբ հեռանում են նրա արտաքին շերտերը, որոնց գազային նյութից աստղի շուրջը ձևավորվում է նոսր գազային մի թաղանթ։ Այդ ենթադրությունը հիմնվում է այն հայտնի դիտողական փաստի վրա, որ Նոր և Գերնոր աստղերի

[30] NGC—Ամերիկյան աստղագետ Դրեյերի «Նոր գլխավոր կատալոգի» (New General Catalogue) կրճատ նշանակումը։ Կից թիվը ցույց է տալիս օբյեկտի համարը այդ կատալոգում։

բռնկումներից հետո նրանց շուրջը դիտվում են մեծ արագությամբ լայնացող գազային թաղանթներ՝ պայծառ միգամածությունների ձևով։



Նկ. 110. Արծվի 1901 թ. Նորի արտավիժած գազային թաղանթի զարգացման ընթացքը։ 1922, 1926 և 1931 թթ. (ձախից աջ) ստացված լուսանկարների համեմատությունը վկայում է գազային թաղանթի լայնացումը, ժամանակի ընթացքում։



Նկ. 111. Մեր Գալակտիկայում 1054 թ. դիտված Գերնոր աստղի «պայթման» հետևանքով առաջացած խեցգետնաձև միգամածությունը, որը գտնվում է Ցուլի համաստեղության մեջ։

Արծվի 1901 թ. Նորի լուսանկարների ներկայացված շարքը (նկ. 110) պարզ պատկերացում է տալիս աստղից արտավիժված գազանյութից թաղանթի առաջացման և լայնացման մասին։

Նշանավոր խեցգետնաձև միգամածությունը (նկ. 111) ձևավորվել է Ցուլի համաստեղության մեջ 1054 թ. դիտված Գերնոր աստղի պայթման հետևանքով արտավիժված գազային նյութից։

«Պայթման» ժամանակ արտավիժված գազանյութի զանգվածը շատ փոքր է (շուրջ 10^{-6} արեգակնային զանգված) նոր աստղերի դեպքում և աստղի ֆիզիկական վիճակը «պայթման» հետևանքով նկատելիորեն չի փոխվում։ Գերնոր աստղերի դեպքում, ընդհակառակը, «պայթման» ժամանակ դուրս շպրտված զանգվածը կազմում է աստղի ամբողջ զանգվածի զգալի մասը (շուրջ 0,1 արեգակնային զանգված) և աստղի ֆիզիկական վիճակը «պայթյունից» հետո էապես փոխվում է։ Ենթադրվում է, որ նա փոխարկվում է գերխիտ նեյտրոնային աստղի։

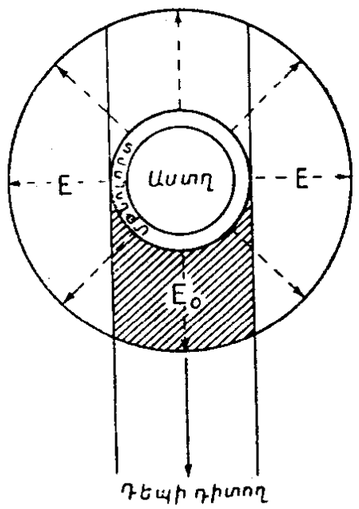
§ 97. Աստղային սպեկտրներում պայծառ գծերի և շերտերի առաջացման հնարավոր բացատրությունը

Աստղի սպեկտրում պայծառ գծերի առաջացումը կարելի է բացատրել նրա շուրջը նոսր գազային թաղանթի առկայությամբ։ Թաղանթի տարբեր մասերում առաջացող նույն ալիքի երկարության պայծառ գծերի գումարը աստղի սպեկտրում դիտվում է որպես մեկ ուժեղ գիծ, որովհետև նրանցում ճառագայթվող էներգիան գերազանցում է նույն ալիքում աստղի անընդհատ ճառագայթման էներգիային։ Բանն այն է, որ աստղի սպեկտրում պայծառ գծերի ինտենսիվությունը կախված է գազային թաղանթում գտնվող համապատասխան ատոմների թվից կամ թաղանթի հաստությունից։

Եթե գազային թաղանթը լայնացող է, ապա թաղանթի տարբեր մասերում առաջացող պայծառ գծերը, Դոպլերի սկզբունքի համաձայն, տարբեր չափով են շեղված իրենց նորմալ դիրքից և ձուլվելով կազմում են լայն պայծառ գիծ կամ շերտ։ Ըստ որում, թաղանթի լայնացման արագությունը միարժեք կերպով որոշում է այդ ձևով ծնված պայծառ գծերի կամ շերտերի լայնությունը՝ այն հավասար է թաղանթի լայնացման կրկնակի արագությանը։

Որոշ դեպքերում, ինչպես, օրինակ, Նոր աստղերի սպեկտրներում նրանց պայծառության մաքսիմումից հետո, պայծառ շերտերը կարճալիքային կողմից ունեն նորմալ դիրքից խիստ շեղված բավական նեղ կլանման գծեր։

Այդ փաստը կարելի է բացատրել աստղի գազային թաղանթի լայնացման միջոցով։ Այս դեպքում գազային թաղանթի (նկ. 112)



Նկ. 112. Լայնացող գազային թաղանթ ունեցող աստղի սխեման։ Աստղի համեմատաբար խիտ մթնոլորտում առաջանում են կլանման սպեկտրալ գծեր (Doppler օրենքի համաձայն), իսկ նոսր թաղանթում E՝ պայծառ գծեր։ Թաղանթի այն մասում (E_0), որը գտնվում է դեպի դիտողն ուղղված, աստղին շոշափող գլանի ներսում ծնվում են կլանման գծեր, որոնք թաղանթի լայնացման հետևանքով առավելագույն չափով տեղված են դեպի սպեկտրի կարճալիք մասը և դիտվում են որպես պայծառ գծերի կլանման բաղադրիչներ։

այն մասը (E_0), որտեղ ծնվում են պայծառ շերտերի կլանման բաղադրիչները, մեզ մոտենում է առավելագույն արագությամբ, որի հետևանքով կլանման այդ բաղադրիչները՝ Դոպլերի սկզբունքի համաձայն, առավելագույն չափով են շեղված դեպի սպեկտրի կարճալիքային մասը։

Գազային թաղանթների լայնացման ավելի փոքր մասշտաբների երևույթներ դիտվում են P Կարապի և Վոլֆ-Ռայե տիպերի փոփոխական աստղերի շուրջը։

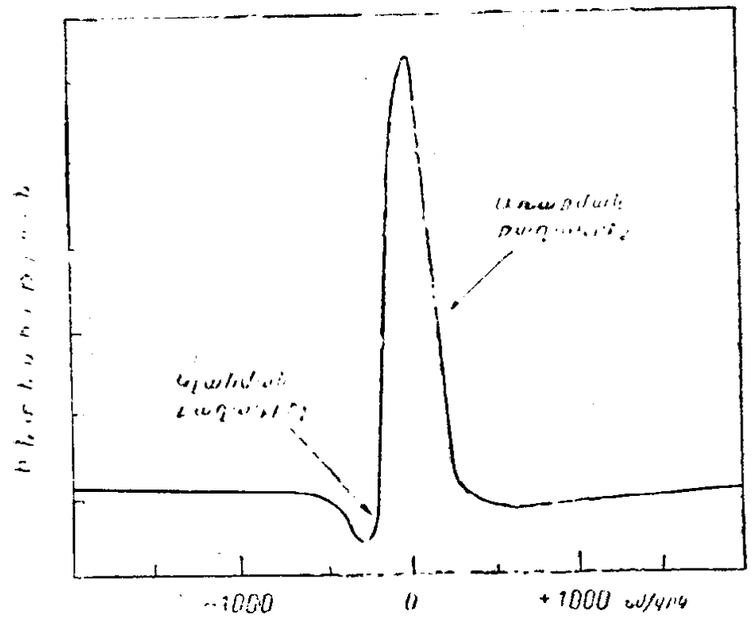
§ 98. P Կարապի և Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղեր

O և B սպեկտրալ դասերի որոշ ջերմ աստղերի սպեկտրներում կլանման գծերից բացի դիտվում են նաև պայծառ գծեր կամ շերտեր։ Այդ բանը, ինչպես մենք տեսանք, պայմանավորված է աստղերի շուրջը գազային թաղանթների գոյությամբ։

P Կարապի տիպի աստղերի սպեկտրների ամենաբնորոշ առանձնահատկությունը մեծ թվով պայծառ, բավական նեղ գծերի առկայությունն է, որոնք կարճալիքային կողմից ունեն նորմալ դիրքից շեղված կլանման բաղադրիչներ (նկ. 113)։

P Կարապի տիպի աստղերի գազային թաղանթների, այդ գծերի Դոպլերյան շեղումների հիման վրա որոշված լայնացման արագությունները 100 կմ/վրկ կարգի են։

Շատ ավելի մեծ արագությամբ են լայնանում Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերի գազային թաղանթները։ Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերի սպեկտրները նման են P Կարապի տիպի աստղերի սպեկտրներին, սակայն այդ սպեկտրներում, գազային թաղանթի լայնացման շատ մեծ արագության հետևանքով պայծառ գծերի փոխարեն ծնվում են լայն պայծառ շերտեր, հաճախ առանց կլանման ուլտրամանուշակագույն բաղադրիչի։ Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերի գազային թաղանթների լայնացման արագությունը հասնում է շուրջ 1500 կմ/վրկ։ Այս դեպքում աստղի անընդհատ սպեկտրը շատ թույլ է և մեզ հասնող ճառագայթման զգալի մասը գալիս է նրա թաղանթից։



Նկ. 113. Ջրածնի H_α գծի պրոֆիլը P Կարապի տիպի աստղի սպեկտրում։ Գծի լայնությունը և կլանման բաղադրիչի շեղումը նորմալ դիրքից համապատասխանում են աստղի գազային թաղանթի լայնացմանը՝ 250—300 կմ/վրկ արագությամբ։

Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերի շուրջը մեծ արագությամբ լայնացող թաղանթների գազանյութը մի կողմից անընդհատ ցրվում է, իսկ մյուս կողմից անընդհատ լրացվում աստղի մակերևույթից տեղի ունեցող նյութի արտահոսքի շնորհիվ։ Դրա հետևանքով Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղը տարեկան կորցնում է 10^{-5}—10^{-6} արեգակնային զանգված։ Գազանյութի արտահոսքի և շատ հզոր ճառագայթման հետևանքով նույնպիսի զանգված կորցնում են նաև P Կարապի տիպի աստղերը։ Զանգվածի այդպիսի շոայլ ծախսումը հիշյալ աստղերի մոտ չի կարող երկար շարունակվել և վկայում է, որ աստղերի զարգացման այդ փուլերի տևողությունը շատ կարճ է՝ մի քանի տասնյակ միլիոն տարուց պակաս։

Անհրաժեշտ է նշել, որ P Կարապի և Վոլֆ-Ռայե տիպերի ֆիզիկական փոփոխական աստղերը շատ բարձր լուսատվության (հսկա և գերհսկա) աստղեր են, որոնց տեսանելի պայծառությունը քիչ է փոփոխվում։

Մասնավորապես, P Կարապի տիպի աստղերի բացարձակ աստղային մեծությունը սպեկտրի տեսանելի մասում գնահատվում է -7^m-ից մինչև -9^m։ Օրինակ, P Կարապի դասին է պատկանում S Ոսկե Ձկնիկի աստղը, որն իր ճառագայթման հզորությամբ ավելի քան 400 000 անգամ գերազանցում է Արեգակին (բացարձակ մեծությունը $-9^m,2$)։

§ 99. T Յուլի տիպի փոփոխական աստղեր

Ֆիզիկական փոփոխական աստղերի մեջ աստղային էվոլյուցիայի պրոբլեմի տեսակետից գիտական առանձնահատուկ հետաքրքրություն են ներկայացնում T Յուլի տիպի և նրանց հարող անկանոն փոփոխական աստղերը։

T Յուլի տիպի աստղերը, մեծ մասամբ, ուշ՝ G և K սպեկտրալ դասերի թզուկ աստղեր են, որոնց սպեկտրներում դիտվում են պայծառ գծեր։

T Յուլի տիպի աստղերի համար շատ բնորոշ է կապը դաշափոշային միգամածությունների հետ։ Օրինակ, մեծ քանակությամբ T Յուլի տիպի աստղեր կան կուտակված Օրիոնի նշանավոր միգամածությունում և Յուլի համասեռության մեջ դիտվող մութ ամպում։

T Յուլի տիպի աստղերի պայծառության փոփոխությունները միանգամայն անկանոն բնույթ ունեն (նկ. 114)։ Անկանոն ձևով են

Նկ. 114. T Յուլի տիպի փոփոխական աստղ, RW Կառավարի պայծառության կորի մի կտոր։

փոփոխվում նաև այդ աստղերի սպեկտրները՝ պայծառ գծերը և անընդհատ սպեկտրում էներգիայի բաշխումը։ Ժամանակ առ ժամանակ ուժեղ աճում է անընդհատ սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն մասը, որը գրեթե միշտ ավելի պայծառ է, քան կարող էր լինել, դատելով այդ աստղերի լուսոլորտների ցածր ջերմաստիճանից։ T Յուլի տիպի սառն աստղերի սպեկտրներում առկա ավելցուկային այդ ճառագայթումը փոփոխական է և կոչվում է անընդհատ առաքում (էմիսիա)։

Շատ արտասովոր է լուսոլորտի ցածր ջերմաստիճան ունեցող (~5000°) այդ աստղերի սպեկտրներում պայծառ գծերի առկայությունը։ Աստղի շուրջը գազային թաղանթում գտնվող ատոմների լուսարձակման համար անհրաժեշտ է, որ այն հարուցող աստղի լուսոլորտի ջերմաստիճանը 10 000°-ից բարձր լինի։ Ավելին, T Յուլի տիպի աստղերի սպեկտրներում, երբեմն դիտվում են նաև իոնացված հելիումի գծեր, որոնց առաջացման համար պահանջվում է էլ ավելի բարձր ջերմաստիճան (շուրջ 50 000°)։ Խիստ անսովոր է նաև այդ սառն աստղերի ճառագայթման մեջ անընդհատ առաքման առկայությունը, որը հատկապես ուժեղ է արտահայտված սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն մասում։

Նույնպիսի արտասովոր առանձնահատկություններ երևան են գալիս բռնկվող աստղերի սպեկտրներում, նրանց բռնկումների ժամանակ։ T Յուլի տիպի, ինչպես նաև բռնկվող աստղերի ճառագայթման հիշյալ առանձնահատկությունները բնորոշ են աստղերի զարգացման վաղ փուլերի համար։

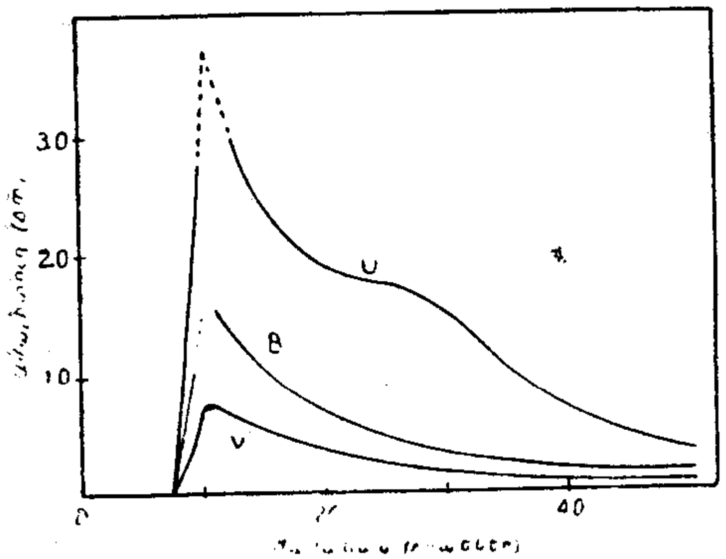
§ 100. Բռնկվող աստղեր

Աստղերի փոփոխականության արտասովոր ձևերից են որոշ կարմիր թզուկ աստղերի մոտ ժամանակ առ ժամանակ դիտվող բռնկումները։ Բռնկման պահին աստղի գրեթե հաստատուն պայծառությունը հանկարծակի (րոպեների և նույնիսկ վայրկյանների ընթացքում) աճում է, երբեմն մի քանի տասնյակից մինչև մի քանի հարյուր անգամ, որից հետո աստղը, սովորաբար մի քանի տասնյակ րոպեում, վերադառնում է իր՝ մինչև բռնկումն ունեցած պայծառությանը (նկ. 115)։

Բռնկվող աստղերը նվազագույն պայծառության վիճակում ունեն ուշ սպեկտրալ դասի նորմալ թզուկ աստղի հատկանիշներ։ Սակայն բռնկման ժամանակ այդ նորմալ սպեկտրը խիստ փոխվում է. սպեկտրում երևան են գալիս ուժեղ պայծառ գծեր և անընդհատ առաքում՝ նրա կարճալիքային մասում։ Այդ վիճակում բռնկվող աստղն իր սպեկտրով և ճառագայթման հատկություններով շատ նմանվում է T Յուլի տիպի փոփոխական աստղերին։

Դիտումները վկայում են, որ բռնկումների հաջորդականու-

թյունը ժամանակի ընթացքում յուրաքանչյուր բռնկվող աստղի համար պատահական բաշխում ունի։



Նկ. 115. Բազումք աստղակույտում գտնվող HII 1306 (Հերցշպրունգի ցուցակից) բռնկվող աստղի բռնկման կորերը՝ U, B և V ճառագայթներում, ըստ էլեկտրալուսաչափական դիտումների։ Հորիզոնական առանցքի վրա տրված է ժամանակը (րոպեներով), իսկ ուղղահայաց առանցքի վրա՝ ամպլիտուդը (աստղային մեծություններով)։

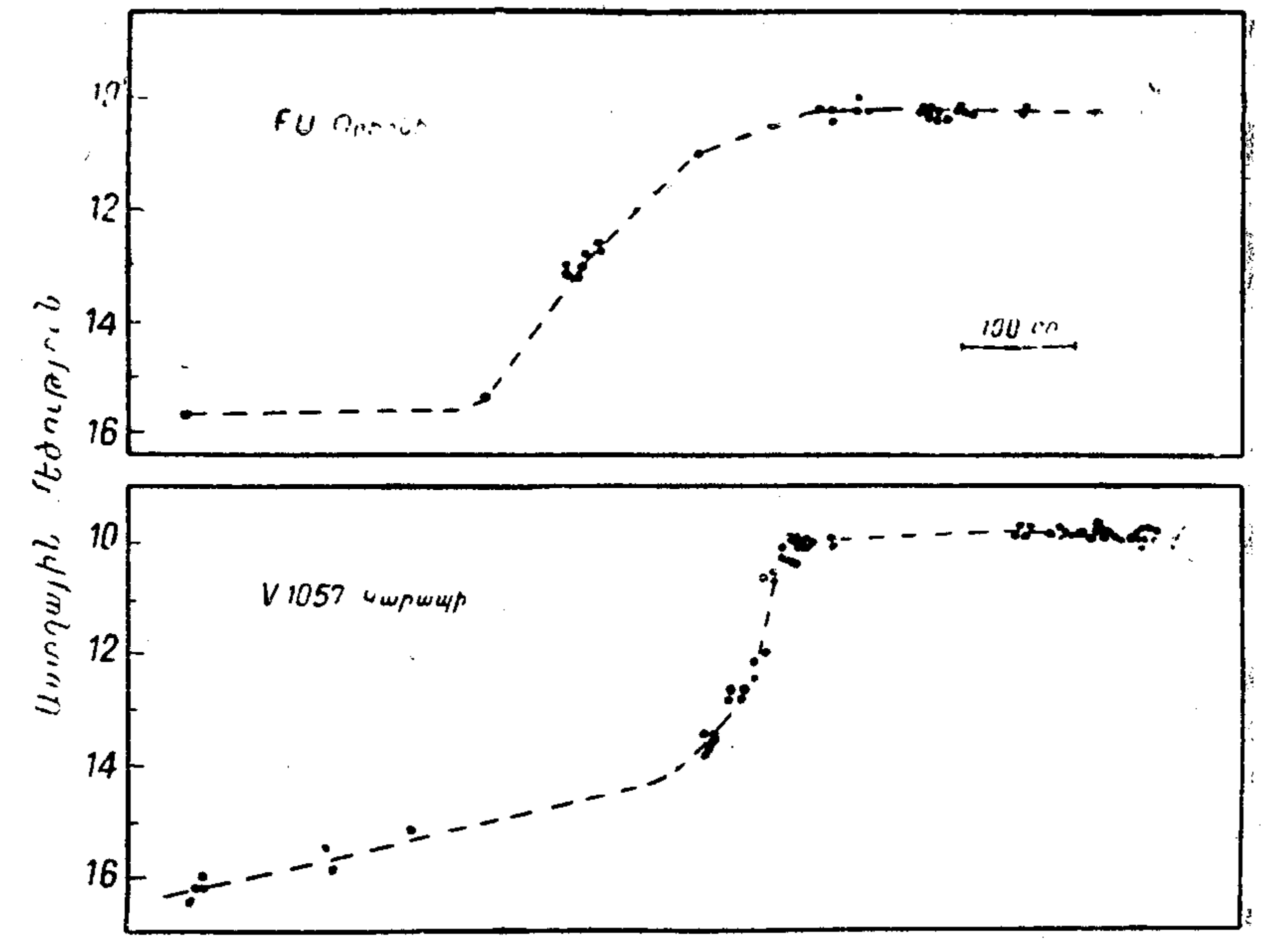
Առաջին բռնկվող աստղերը հայտնաբերվել են Արեգակի շրջակայքում, նրանք ցածր լուսատվության աստղեր են։ Իրենց նախատիպի՝ UV Կետի անունով այդ աստղերը կոչվում են UV Կետի տիպի փոփոխականներ։

Վերջին ժամանակներս մեծ քանակությամբ բռնկվող աստղեր են հայտնաբերվել աստղասփյուռներում և երիտասարդ աստղակույտերում։ Մասնավորապես, ավելի քան 400 բռնկվող աստղ է հայտնաբերվել Բազումք (Պլեյադներ) աստղակույտում, որի տարիքը գնահատվում է 70 միլիոն տարի։ Այդ փաստը վկայում է այն մասին, որ բռնկվող աստղերը համեմատաբար երիտասարդ աստղեր են։

§ 101. Ֆուորներ

FU Օրիոնի փոփոխական աստղը, որի անունից է առաջացել ֆուոր անվանումը, պայծառության փոփոխությունների բնույթով, երկար ժամանակ եզակի փոփոխական էր։ Նրա պայծառությունը (նկ. 116) մինչև 1936 թ. համապատասխանում էր 16-րդ աստղային մեծությանը, սակայն, այդ թվականին նրա պայծառությունն սկսեց աճել և մեկ տարուց պակաս ժամանակամիջոցում հասավ 10-րդ աստղային մեծության։ Դրանից հետո աստղի պայծառությունը մի փոքր նվազեց (շուրջ 1 աստղային մեծություն) և առ այսօր մնում է նույն մակարդակի վրա։ Այլ կերպ ասած, FU Օրիոնի ճառագայթման դիտվող հզորությունը ներկայումս շուրջ 100 անգամ գերազանցում է մինչև նրա պայծառության աճը ունեցած հզորությանը։

1970 թ. հայտնաբերվեց աստղի պայծառության նույն բնույթի աճի մի այլ դեպք։ Կարապի համաստեղությունում դիտվող այդ



Նկ. 116. FU Օրիոնի և V 1057 Կարապի պայծառության կորերը։ Հորիզոնական առանցքի վրա տրված ժամանակը, իսկ ուղղահայաց առանցքի վրա՝ աստղային մեծությունը։

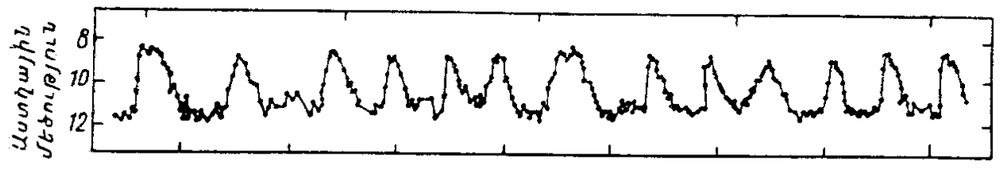
աստղի պայծառությունը 250 օրում աճեց նույնպես շուրջ 100 անգամ։ Այդ փոփոխական աստղը (V 1057 Կարապի) մինչև 1969 թ. ունեցել էր T Ցուլի տիպի սպեկտր, իսկ պայծառության աճից հետո նրա սպեկտրը վերափոխվել էր B տիպի։ Այժմ նա FU Օրիոնի նման ունի մոտավորապես F դասի սպեկտր։

Քանի որ T Ցուլի տիպի աստղերը շատ երիտասարդ աստղեր են, ապա այս փաստը վկայում է, որ ֆուորի երևույթը, որի բացատրությունը կապված է լուրջ դժվարությունների հետ, հանդիպում է աստղերի զարգացման վաղ փուլերում։

Մեզ հայտնի երկու ֆուորի՝ FU Օրիոնի և V 1057 Կարապի սպեկտրների աչքի ընկնող առանձնահատկությունն այն է, որ նրանցում դիտվում են P Կարապի սպեկտրի համար բնորոշ, ուլտրամանուշակագույն մասում կլանման բաղադրիչ ունեցող, պայծառ գծեր։ Այդ փաստից հետևում է, որ ֆուորի երևույթը կապված է աստղի շուրջը լայնացող գազային թաղանթի առաջացման հետ։

§ 102. U Երկվորյակների տիպի փոփոխական աստղեր

Այս աստղերը B և A սպեկտրալ դասերի թզուկ աստղեր են։ Նրանց պայծառությունը մեծ մասամբ քիչ է փոփոխվում։ Սակայն, դիտվում են որոշակի փուլեր (ցիկլեր), երբ աստղի պայծառությունը համեմատաբար կարճ ժամանակամիջոցում (1—2 օր) աճում է տասնյակ, հարյուրավոր անգամ ($\Delta m = 2—6^m$), իսկ մի քանի օրից նորից վերադառնում նախկին արժեքին։ Այդ աստղերը ցիկլիկ կերպով բռնկվող փոփոխականներ են։ Նրանց բռնկման ամպլիտուդը աճում է պայծառության փոփոխության ցիկլի հետ։ Այս տիպի փոփոխական աստղերից համեմատաբար լավ ուսումնասիրված է SS Կարապի աստղը, որի պայծառության կորի մի կտոր արտապատկերված է նկ. 117-ում։ U Երկվորյակների տիպի փոփոխական աստղերի պայծառության փոփոխությունները ուղեկցվում են սպեկտրի լուրջ փոփոխություններով։ Նվազագույն պայծառության դեպքում նրանք բոլորն ունեն պայծառ գծեր, որոնք առավելագույնում փոխարկվում են կլանման գծերի։ Զգալիորեն փոխվում է նաև նրանց անընդհատ սպեկտրը։ U Երկվորյակների տիպի փոփոխականները մեծ մասամբ շատ սեղմ կրկնակի աստղեր են։



Ժամանակ (մեկ բաժանումը հավասար է 50 օրվա)

Նկ. 117. SS Կարապի պայծառության փոփոխության կորի տեսքը՝ 1960 թ. հունվարից մինչև 1961 թ. հունվար։

Գլուխ IX

ՄԵՐ ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆ

§ 103. Գալակտիկայի բնակչությունը

Երկնքում անզեն աչքով դիտվող բոլոր կազմավորումները, բացառությամբ նշանավոր Անդրոմեդայի միգամածության (երկրնքի հյուսիսային կիսագնդում) և Մեծ ու Փոքր Մագելանյան ամպերի (հարավային կիսագնդում), մտնում են մեր աստղային համակարգի՝ Գալակտիկայի կազմի մեջ։ Գալակտիկան մի հրաշալի համակարգ է, որը կազմված է բազմաթիվ երկնային մարմիններից, հիմնականում՝ աստղերից, որոնց միայն մի չնչին մասն ենք տեսնում անզեն աչքով։ Գալակտիկայի բնակչության մեծ մասը հնարավոր չէ դիտել նույնիսկ խոշորագույն աստղադիտակներով։ Այսպես, օրինակ, խոշորագույն 5 մ տրամագծով աստղադիտակով լուսանկարչական դիտումների համար մատչելի բոլոր աստղերը (մինչև շուրջ 22^m պայծառության), որոնց թիվը անցնում է միլիարդից, կազմում են Գալակտիկայի բոլոր աստղերի մոտ 1/100 մասը։

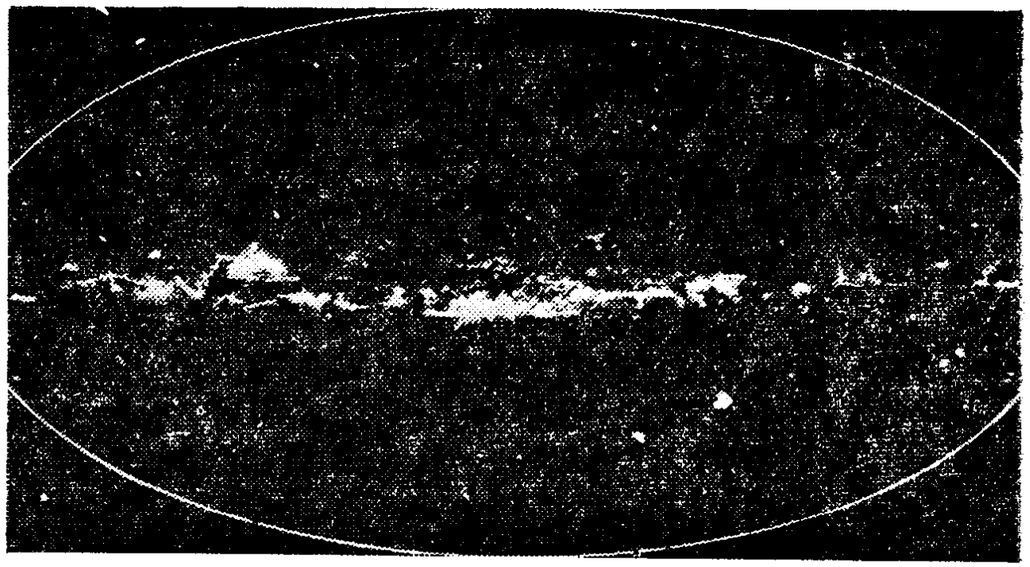
Աստղերը Գալակտիկայում բաշխված են անհավասարաչափ։ Շատ հաճախ նրանք իրար հետ կապված են ձգողականության ուժերով և կազմում են ֆիզիկական խմբեր (բազմաստղեր, աստղակույտեր և աստղասփյուռներ)։

Աստղերից ու նրանց ֆիզիկական խմբերից բացի Գալակտիկայում հանդիպում են գազափոշային նյութից կազմված տարբեր տիպի պայծառ գոյացումներ՝ դիֆուզ (ցրված), մոլորակաձև և գիսավորաձև միգամածություններ։ Սակայն գազափոշային նյութի զգալի մասը գտնվում է Գալակտիկայի միջաստղային տարածության մեջ, առանձին մութ ամպերում։

§ 104. Աստղերի տարածական դիրքի որոշումը Գալակտիկայում

Գալակտիկայում աստղերի ճնշող մեծամասնությունը կենտրոնացած է նրա սիմետրիայի հարթության շուրջը, որը դիտողին երևում է Ծիր Կաթնի, ամբողջ երկնքով տարածված, պայծառ

շերտի ձևով։ Գալիլեյն առաջինն էր, որ իր համեստ դիտակով Մեր Կաթնի հոծ լուսարձակումը տարրալուծեց առանձին աստղերի։



Նկ. 118. Մեր Կաթնի ընդհանուր տեսքը։

Մեր Կաթնի շերտի միջին գիծը երկնոլորտի մեծ շրջան է, որը կոչվում է գալակտիկական հասարակած, նրանով անցնող հարթությունը՝ գալակտիկական հասարակածի հարթություն։

Երկնային հասարակածի և գալակտիկական հասարակածի հարթությունները իրար հետ կազմում են շուրջ 62° անկյուն, իսկ գալակտիկական բևեռների հասարակածային կոորդինատները 1950 թ. համար հավասար են՝

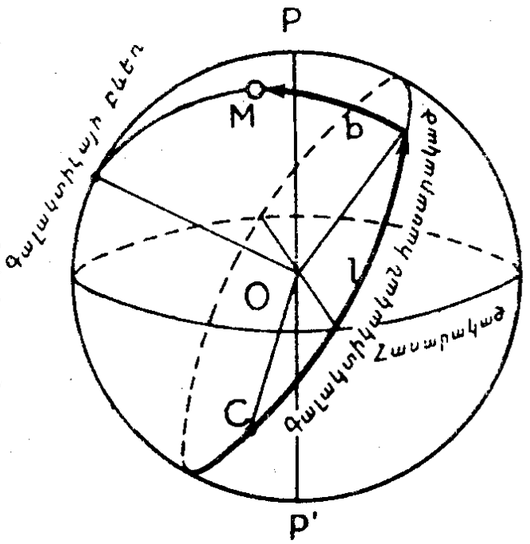
Հյուսիսային բևեռ $\alpha = 12^h49^m$, $\delta = +27°,4$,

Հարավային բևեռ $\alpha = 00^h49^m$, $\delta = -27°,4$։

Գալակտիկական հասարակածը երկնային հասարակածի հետ հատվում է երկու կետերում, որոնց հակումը զրո է ($\delta = 0$), իսկ ուղղակի ծագումը հավասար է, համապատասխանաբար՝ $\alpha = 6^h\,49^m$ և $\alpha = 18^h\,49^m$ (1950)։

Գալակտիկայի ուսումնասիրությանը վերաբերող բոլոր հարցերում երկնային մարմնի դիրքը երկնակամարում սովորաբար որոշվում է կոորդինատների գալակտիկական համակարգում։ Այդ համակարգում հիմնական հարթությունը Գալակտիկայի հասարակածի հարթությունն է, իսկ հիմնական ուղղությունը՝ Գալակտիկայի կենտրոնի ուղղությունը (նկ. 119)։ Երկնային մարմնի դիրքը

կոորդինատների գալակտիկական համակարգում որոշվում է Գալակտիկայի հարթությունից ունեցած անկյունային հեռավորությամբ (գալակտիկական լայնություն—b) և Գալակտիկայի հարթությանը ուղղահայաց այն երկու հարթությունների կազմած երկնիստ անկյունով, որոնցից մեկն անցնում է համակարգի կենտրոնով (Արեգակով) ու Գալակտիկայի կենտրոնով, իսկ մյուսը՝ համակարգի կենտրոնով ու հիշյալ մարմնով (գալակտիկական երկայնություն—l)։ Գալակտիկական երկայնությունը չափվում է գալակտիկական հասարակածով, Գալակտիկայի կենտրոնից, նույն ուղղությամբ, ինչ որ ուղղակի ծագումը, իսկ գալակտիկական լայնությունը գալակտիկական հասարակածից, երկու ուղղությամբ, մինչև բևեռները։ Հյուսիսային կիսագնդում գալակտիկական լայնությունը դրական է, իսկ հարավայինում՝ բացասական։ Գալակտիկական կոորդինատները սովորաբար արտահայտվում են աղեղնային աստիճաններով։



Նկ. 119. Գալակտիկական կոորդինատների համակարգը։ P և P′-ը աշխարհի հյուսիսային և հարավային բևեռներն են, C-ն Գալակտիկայի կենտրոնը, l-ը գալակտիկական երկայնությունը, իսկ b-ն գալակտիկական լայնությունը (հաստ սլաքները)։

Գալակտիկական կոորդինատների անմիջական չափումներ չեն կատարվում, նրանք սովորաբար հաշվվում են մարմնի հասարակածային կոորդինատների (α, δ) միջոցով։

Երկնոլորտում մարմնի տեսանելի դիրքից նրա տարածական դիրքին անցնելու համար անհրաժեշտ է գիտենալ մարմնի հեռավորությունը։ Աստղերի հեռավորությունների որոշման անմիջական և ամենաճշգրիտ մեթոդը, ինչպես մենք գիտենք, հիմնված է աստղերի տարեկան պարալաքսների հառանկյունաչափական չափումների վրա։

Սակայն այդ մեթոդը կիրառելի է միայն մոտակա աստղերի նկատմամբ։ Բանն այն է, որ հառանկյունաչափական պարալաքսի որոշման սխալը կազմում է շուրջ 0,″01, որը, ինչպես հեշտ է տեսնել, հավասար է չափվող պարալաքսի մեծությանը (π), արդեն 100 պս հեռավորության վրա։

Իրոք, պարալաքսի և հեռավորության կապը որոշվում է

$$r = \frac{1}{\pi}$$

բանաձևով, որտեղ՝ r-ը արտահայտված է պարսեկներով, իսկ π-ն անկյունային վայրկյաններով։ Եթե $\pi = 0,''01$, ապա՝ $r = 100$ պս։

Ամենի մեծ հեռավորությունների վրա գտնվող աստղերի տարեկան պարալաքսներն իրենց մեծությամբ արդեն փոքր են չափման սխալից։ Ուստի, նրանց համար տարեկան պարալաքսի չափումները կորցնում են իրենց իմաստը։

Մեծ հեռավորությունների վրա գտնվող աստղերի հեռավորությունները որոշվում են, այսպես կոչված, սպեկտրալ պարալաքսների մեթոդով՝ աստղերի տեսանելի և բացարձակ մեծությունների միջոցով։ Աստղի տեսանելի աստղային մեծությունը (m) որոշվում է անմիջական դիտումներից, իսկ բացարձակ աստղային մեծությունը (M) սպեկտրի միջոցով։ Հենց դրանից էլ առաջացել է մեթոդի անվանումը։

Այդ դեպքում մեզ հայտնի (8.7) բանաձևը գրվում է՝

$$\lg r = 0,2\ (m - M) + 1 \qquad (9.1)$$

տեսքով։ Այս բանաձևում հանդիպող m—M տարբերությունը կոչվում է հեռավորության մոդուլ։ Այն միարժեք որոշում է աստղի հեռավորությունը։

Ցեֆեիդների դեպքում բացարձակ աստղային մեծությունը, ինչպես մենք գիտենք, կարելի է որոշել նաև նրանց «պարբերություն-բացարձակ աստղային մեծություն» կախումից։

Սակայն, աստղերի անմիջական դիտումներից որոշված նրանց տեսանելի աստղային մեծությունները զգալիորեն աղավաղված են միջաստղային տարածության մեջ լույսի կլանման հետևանքով։ Ուստի աստղերի ճշգրիտ հեռավորությունների որոշման համար (9.1) բանաձևում հարկ է օգտագործել նրանց, միջաստղային կլանման համար շտկված, տեսանելի աստղային մեծությունները։

Բացի այդ, գոյություն ունեն մի շարք մեթոդներ, որոնք հնարավորություն են տալիս գնահատել աստղերի ու միգամածությունների հեռավորությունները՝ նրանց շարժումների հիման վրա։

§ 105. Բազմաստղեր։ Աստղակույտեր

Գալակտիկայում աստղերը շատ հաճախ հանդիպում են ֆիզիկական խմբերով, որոնց անդամներն իրար հետ կապված են ձգողական ուժերով։ Այդ խմբերից ամենապարզը մեզ արդեն ծանոթ կրկնակի աստղերն են, որոնք կազմված են ընդամենը երկու աստղից։ Ավելի մեծ թվով բաղադրիչներ պարունակում են եռակի, քառակի, հնգակի և ավելի բազմակիության աստղերը։ Նրանք բոլորը հայտնի են **բազմաստղեր** անունով։

Աստղերի ֆիզիկական այն համակարգերը, որոնց անդամների թիվը մի քանի տասնյակից ավելի է, կոչվում են **աստղակույտեր**։ Գոյություն ունեն երկու տիպի աստղակույտեր՝ **բաց** (կամ ցրված) և **գնդաձև**։

Բաց աստղակույտերը մեծ մասամբ կանոնավոր տեսք չունեն։ Նրանց աստղերի ընդհանուր թիվը, սովորաբար, մի քանի տասնյակից մինչև մի քանի հարյուր է։

Բաց աստղակույտերում իրենց պայծառությամբ հաճախ աչքի են ընկնում ջերմ հսկա և գերհսկա աստղերը, նրանց կազմում համեմատաբար քիչ են սառն հսկա աստղերը, իսկ սառն գերհսկա աստղեր բոլորովին չկան։

Բաց աստղակույտերի մեծամասնության տրամագծերը չեն անցնում մի քանի պարսեկից։ Առանձին աստղակույտեր, սակայն, ունեն մինչև մի քանի տասնյակ պարսեկ տրամագիծ։ Բոլոր բաց աստղակույտերը Գալակտիկայում դասավորված են նրա սիմետրիայի հարթության մեջ կամ նրան շատ մոտ։

Մեր մոտակա բաց աստղակույտերից լավ հայտնի է Բազումք (Պլեյադներ) աստղակույտը՝ Ցուլի համաստեղության մեջ (նկ. 120), որի պայծառ աստղերը դիտվում են անզեն աչքով։ Նրա տրամագիծը շուրջ 10 պս է, իսկ հեռավորությունը՝ 120 պս։

Անզեն աչքով մշուշոտ բծի տեսքով երևում է նաև ջերմ հսկա և գերհսկա աստղերով շատ հարուստ h և χ Պերսեոսի կրկնակի աստղակույտը՝ նույնանուն համաստեղության մեջ։ Նրա տրամագիծը շուրջ 50 պս է, իսկ հեռավորությունը՝ 2000 պս։

Գնդաձև աստղակույտերը շատ ավելի հարուստ՝ հարյուր հազարավոր և ավելի աստղերից կազմված գրեթե գնդաձև տեսքի համակարգեր են։ Աստղային խտությունը առավելագույնն է նրանց կենտրոնական մասում և արագ նվազում է կենտրոնից հեռանալիս։ Գնդաձև աստղակույտերի լուսանկարների վրա կենտրոնին մոտ բոլոր աստղերի պատկերները մեծ խտության պատճառով միաձուլված են։ Գնդաձև աստղակույտերում հիմնական աստղային բնակչությունը կազմած է տառն հսկա և գերհսկա աստղերից, ջերմ հսկա աստղերը շատ քիչ են, իսկ ջերմ գերհսկա աստղեր, առհասարակ, չկան։

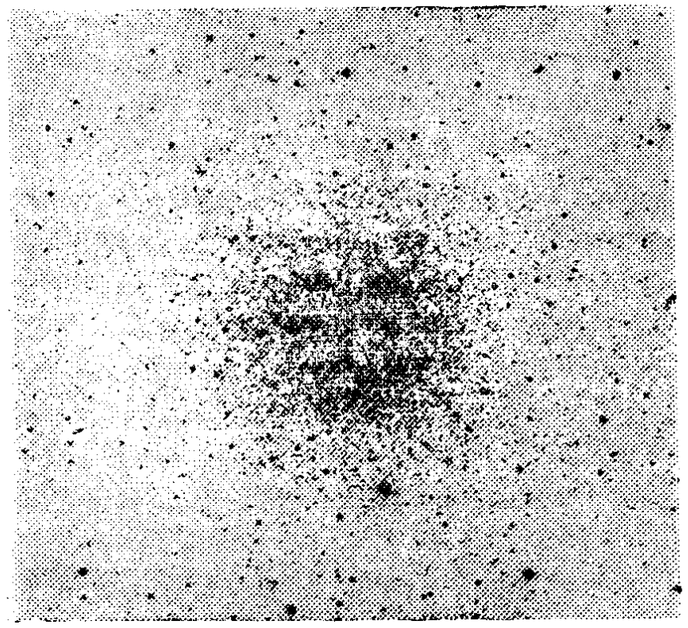
Նկ. 120. Բազումք բաց աստղակույտը, որտեղ հայտնաբերվել են ավելի քան 400 բռնկվող աստղ:

Պարզ անլուսին դիշերներին անղեն աչքով հարավային երկնքում լավ երևում է ω Կենտավրոսի գնդաձև աստղակույտը (նկ. 121), որի տրամագիծը շուրջ 50 պս է, իսկ հեռավորությունը՝ 2000 պս:

Շատ յուրօրինակ է գնդաձև աստղակույտերի տարածական բաշխումը Գալակտիկայում. նրանց զգալի մասը պսակի ձևով դասավորված է Գալակտիկայի շուրջը, իսկ մնացածները խտանում են դեպի նրա կենտրոնը (տե՛ս ստորև):

Մեր Գալակտիկայում հայտնի են շուրջ 600 բաց և 120 գնդաձև աստղակույտեր: Բաց աստղակույտերի ճնշող մեծամասնությունը գտնվում է գրեթե Գալակտիկայի հարթության մեջ, որտեղ

մեծ է լույսի կլանումը: Այդ պատճառով դիտվում է նրանց մի փոքր, մեզ համեմատաբար մոտ գտնվող մասը: Բաց աստղակույ-



Նկ. 121. M 92 գնդաձև աստղակույտը Կենտավրոսի համաստեղությունում:

տների ընդհանուր թիվը Գալակտիկայում գնահատվում է շուրջ 30 000: Այդ տեսակետից դրությունը շատ ավելի բարենպաստ է գնդաձև աստղակույտերի դեպքում: Նրանց մեծ մասը գտնվում է Գալակտիկայի կլանող շերտից դուրս և անարգել դիտվում է: Ուստի նրանց ընդհանուր թիվը շատ չի տարբերվում մեզ հայտնի գնդաձև աստղակույտերի թվից:

Աստղակույտերում շատ մեծ է աստղերի տարածական խտությունը՝ նրանց թիվը միավոր ծավալում: Բաց աստղակույտերում այն տասնյակ, իսկ գնդաձև աստղակույտերում ավելի անգամ գերազանցում է աստղային խտությանը Գալակտիկայի ընդհանուր աստղային դաշտում: Այդ պատճառով աստղակույտերը աչքի են ընկնում երկնքի լուսանկարների վրա, Գալակտիկայի աստղային դաշտի ֆոնի վրա:

§ 106. Աստղասփյուռներ

Ի տարբերություն աստղակույտերի, որոնք աչքի են ընկնում աստղային մեծ խտությամբ, Գալակտիկայում գոյություն ունեն նաև անհամեմատ փոքր աստղային խտություն ունեցող ֆիզիկա-

կան համակարգեր, որոնք հենց այդ պատճառով, սովորաբար, կորչում են Գալակտիկայի ընդհանուր աստղային դաշտում և երկար ժամանակ մնացել էին անհայտ։

1947 թ. Վ. Հ. Համբարձումյանը Գալակտիկայում հայտնագործեց նման հատկությամբ օժտված աստղային համակարգերի նոր դաս, որոնք ստացան **աստղասփյուռներ** անունը։

Աստղասփյուռների հայտնագործման համար հիմք ծառայեց դիտողական հայտնի այն փաստը, որ O և B սպեկտրալ դասերի ջերմ հսկա ու գերհսկա աստղերը և T Ցուլի տիպի փոփոխական աստղերը երկնակամարում հանդիպում են առանձին կուտակումներով։ Այդ աստղերի բաշխման քարտեզների վրա աստղասփյուռները երևում են նույնքան որոշակի, ինչպես աստղակույտերը՝ երկնքի լուսանկարների վրա։

Ջերմ հսկա ու գերհսկա աստղերը և T Ցուլի տիպի փոփոխականները գրեթե բացառապես հանդիպում են աստղասփյուռների կազմում և, որպես կանոն, բացակայում են Գալակտիկայի ընդհանուր աստղային դաշտում։ Այսպիսով, աստղասփյուռները միատեսակ ֆիզիկական հատկություններ ունեցող աստղերի ֆիզիկական խմբավորումներ են։

Աստղասփյուռները պարունակում են մեծ թվով կրկնակի, եռակի և ավելի բազմակիության աստղեր՝ բազմաստղեր, շատ հաճախ նաև բաց աստղակույտեր, որոնք կազմում են նրանց խտացման կենտրոնները կամ կորիզները։

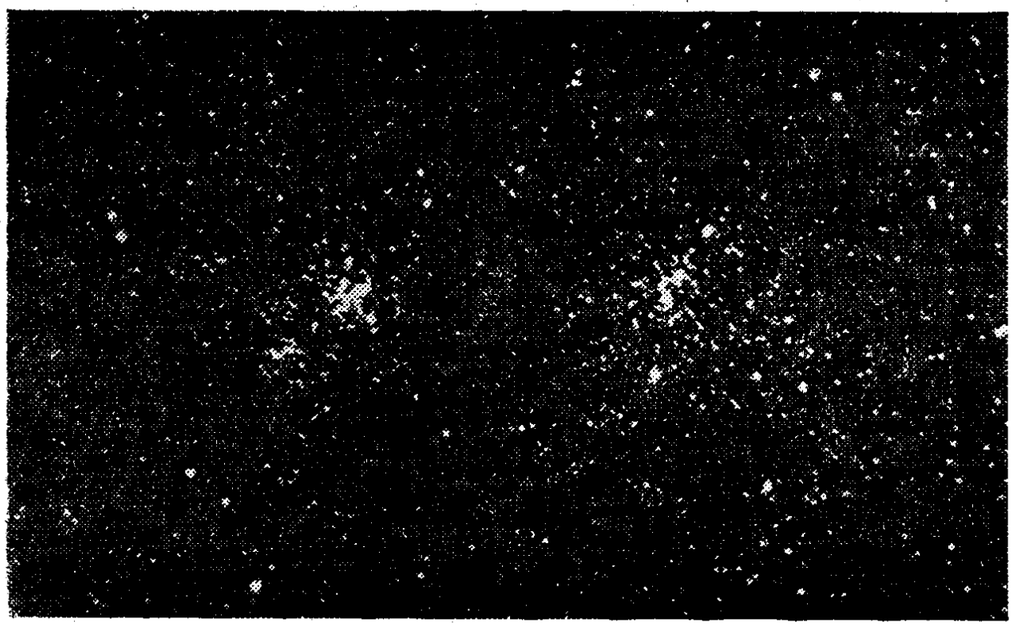
Աստղասփյուռներն ըստ հիմնական աստղային բնակչության լինում են երկու տիպի՝ **O–աստղասփյուռներ**, որոնց բնորոշ բնակչությունը կազմում են O և B դասերի ջերմ հսկա աստղերը և **T–աստղասփյուռներ**, որոնք հիմնականում պարունակում են T Ցուլի տիպի փոփոխական աստղեր։

Շնորհիվ այն բանի, որ ջերմ հսկա և գերհսկա աստղերի լուսատվությունը շատ բարձր է, O-աստղասփյուռները կարող են դիտվել մեծ հեռավորությունների վրա։ Մինչդեռ T Ցուլի տիպի փոփոխական աստղերը ցածր լուսատվության թզուկ աստղեր են և այդ պատճառով T-աստղասփյուռներից մեզ առայժմ հայտնի են միայն մեր մոտակա հարևանները։

Հաճախ O-և T-աստղասփյուռները կապված են իրար հետ։ Այսպես, մեզ բավականաչափ մոտ բոլոր O-աստղասփյուռներում հայտնաբերվել են T Ցուլի տիպի փոփոխականներ, այսինքն՝

նրանք միաժամանակ O+T աստղասփյուռներ են։ Դրան հակառակ, կան զգալի թվով T-աստղասփյուռներ, որոնք կապված չեն O-աստղասփյուռների հետ։

Նշանակալից է այն փաստը, որ P Կարապի և Վոլֆ-Ռայե տիպերի գրեթե բոլոր աստղերը մտնում են O-աստղասփյուռների կազմի մեջ։ O-աստղասփյուռների կազմում դիտվում են նաև ավելի ուշ սպեկտրալ դասերի աստղեր։



Նկ. 122. Պերսեոս I աստղասփյուռը, որի կորիզներն են h և χ Պերսեոսի կրկնակի աստղակույտը։

O-աստղասփյուռների կազմում, որպես կանոն, դիտվում են մեկ կամ մի քանի կորիզներ, որոնք իրենցից ներկայացնում են ջերմ աստղեր պարունակող անկայուն բազմաստղեր, աստղաշղթաներ և բաց աստղակույտեր։ Աստղասփյուռները սովորաբար պարունակում են նաև գազա-փոշային միգամածություններ։ Անկայուն բազմաստղերից բաղկացած կորիզների առկայությունը և կապը միգամածությունների հետ բնորոշ են նաև T-աստղասփյուռներին։

O-աստղասփյուռների, ավելի ճիշտ, նրանց համեմատաբար խիտ կենտրոնական մասերի տրամագծերը գտնվում են 30—200 պս սահմաններում, իսկ T-աստղասփյուռների տրամագծերը մի քանի տասնյակ պարսեկից չեն անցնում։

§ 107. Միգամածություններ

Գալակտիկայում բացի աստղերից ու նրանց ֆիզիկական խմբավորումներից կան ավելի նոսր գոյացումներ՝ միգամածություններ, որոնք կազմված են գազից և փոշուց: Ըստ իրենց բնույթի միգամածությունները բաժանվում են երկու հիմնական խմբի՝ մոլորակաձև և դիֆուզ միգամածություններ:

Մոլորակաձև միգամածություններն ունեն կանոնավոր ձև, նրանք, մեծ մասամբ, օղակաձև կամ սկավառակաձև են, ամբողջովին բաղկացած գազանյութից: Մոլորակաձև միգամածության կենտրոնում գտնվում է նրա միջուկը՝ շատ ջերմ O կամ Վոլֆ-Ռայե տիպի մի աստղ: Որոշ միջուկների լուսոլորտի ջերմաստիճանը հասնում է 100 000°-ի:

Մոլորակաձև միգամածությունների լուսարձակման աղբյուրը՝ նրանց կենտրոնական միջուկներն են: Գազային միգամածությունը լրիվ կլանելով միջուկի անտեսանելի կարճալիքային ճառագայթումը, այնուհետև այն փոխարկում է տեսանելի երկարալիքային ճառագայթման: Այդ է պատճառը, որ մոլորակաձև միգամածությունները տեսանելի ճառագայթներում հաճախ իրենց միջուկներից շատ ավելի պայծառ են, իսկ երբեմն միջուկներն այնքան թույլ են, որ նույնիսկ չեն դիտվում:

Մոլորակաձև միգամածությունների նյութը շատ նոսր է՝ 10^{-20}—10^{-22} գ/սմ^3: Նրանց շառավիղներն ընդամենը 0,1 պարսեկի կարգի են: Շատ փոքր են նաև մոլորակաձև միգամածությունների զանգվածները՝ 0,01—0,1 արեգակնային զանգված:

Մոլորակաձև միգամածությունների անընդհատ սպեկտրը շատ թույլ է: Նրանք լուսարձակում են, հիմնականում, պայծառ գծերում, որոնցից աչքի են ընկնում ջրածնի, հելիումի և թթվածնի գծերը: Առանձնապես պայծառ են, այսպես կոչված, նեբուլիումի գծերը, որոնք չեն համընկնում ոչ մի քիմիական տարրի գծերի հետ: Սկզբում ենթադրվում էր, որ նրանք պատկանում են երկրագնդի վրա անհայտ մի քիմիական տարրի՝ նեբուլիումին[31]: Սակայն հետագայում պարզվեց, որ դրանք թթվածնի երկու անգամ իոնացված ատոմների առաքման գծեր են (4950 և 5007 Ա), որոնք կարող են առաջանալ միայն արտասովոր պայմաններում, երբ նյութի և ճառագայթման խտությունը չափազանց փոքր է: Հենց այդպիսի պայմաններ են իշխում միգամածություններում:

Մոլորակաձև միգամածությունները շատ անկայուն գոյացումներ են: Նրանք լայնանում են 10—20 կմ/վրկ արագությամբ, որի հետևանքով շատ արագ քայքայվում են: Այդ միգամածությունների տարիքը գնահատվում է մի քանի տասնյակ հազար տարի:

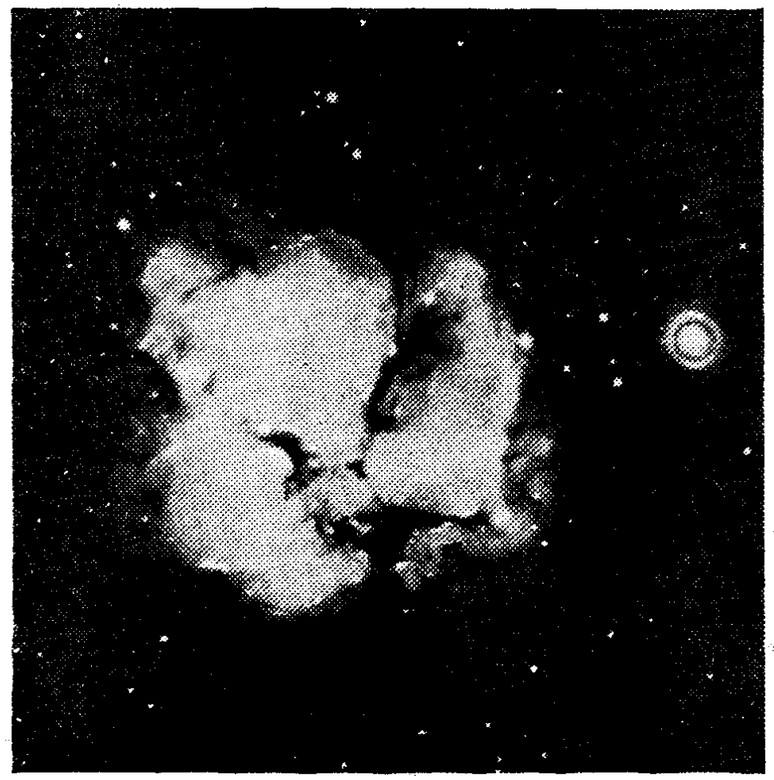
Նկ. 123. NGC 6720 (M 57) մոլորակաձև միգամածությունը Քնարի համաստեղությունում:

Դիֆուզ միգամածությունները շատ ավելի մեծ գոյացումներ են: Նրանց զանգվածները երբեմն հասնում են մի քանի հազար արեգակնային զանգվածի: Օրինակ, այդպիսին է Օրիոնի մեծ միգամածությունը (նկ. 125): Շատ մեծ են նաև դիֆուզ միգամածությունների չափերը՝ տասնյակ, հարյուրավոր պարսեկ: Այդ պատճառով նրանց նյութի միջին խտությունը նույնպես չնչին է՝ 10^{-22}—10^{-24} գ/սմ^3:

[31] Նեբուլիում-լատիներեն միգամածային, մշուշային:

Պայծառ դիֆուզ միգամածությունները, մեծ մասամբ, կապված են աստղակույտերի ու աստղասփյուռների հետ:

Դիֆուզ միգամածությունները բացի գազից, պարունակում են տիեզերական փոշու զգալի քանակներ: Ուստի, ի տարբերություն մոլորակաձև միգամածությունների, նրանց անընդհատ սպեկտրները բավական ուժեղ են և առաջանում են փոշու կողմից աստղերի լույսի անդրադարձման շնորհիվ: Ուժեղ են նաև պայծառ գծերը, որոնք, ինչպես մոլորակաձև միգամածություններում,



Նկ. 124. Տրիֆիդ (M 20) դիֆուզ միգամածությունը Աղեղնավորի համաստեղությունում:

առաջանում են աստղերի կարճալիք ճառագայթման կլանման և երկար ալիքներում, նրա լուսարձակման շնորհիվ:

Անհամեմատ փոքր չափեր և զանգվածներ ունեն պայծառ դիֆուզ միգամածություններում հանդիպող գիսավորաձև խտացումները՝ գիսավորաձև միգամածությունները: Նրանք տարածության մեջ ունեն կոնի ձև, որի գագաթում գտնվում է մի աստղ: Բոլոր հայտնի դեպքերում այդ աստղը T Ցուլի տիպի փոփոխական թզուկ է: Չնայած այն բանին, որ գիսավորաձև միգամածու-

ների լուսարձակման աղբյուրը, անկասկած, նրանց հետ կապված T Ցուլի տիպի աստղերն են, սակայն այդ ճառագայթման բնույթը առայժմ պարզ չէ: Կան որոշ հիմքեր ենթադրելու, թե գիսավորաձև միգամածությունների լուսարձակումը այդ աստղերի ճառագայթման պարզ վերամշակում և անդրադարձում չէ: Բանն այն է, որ

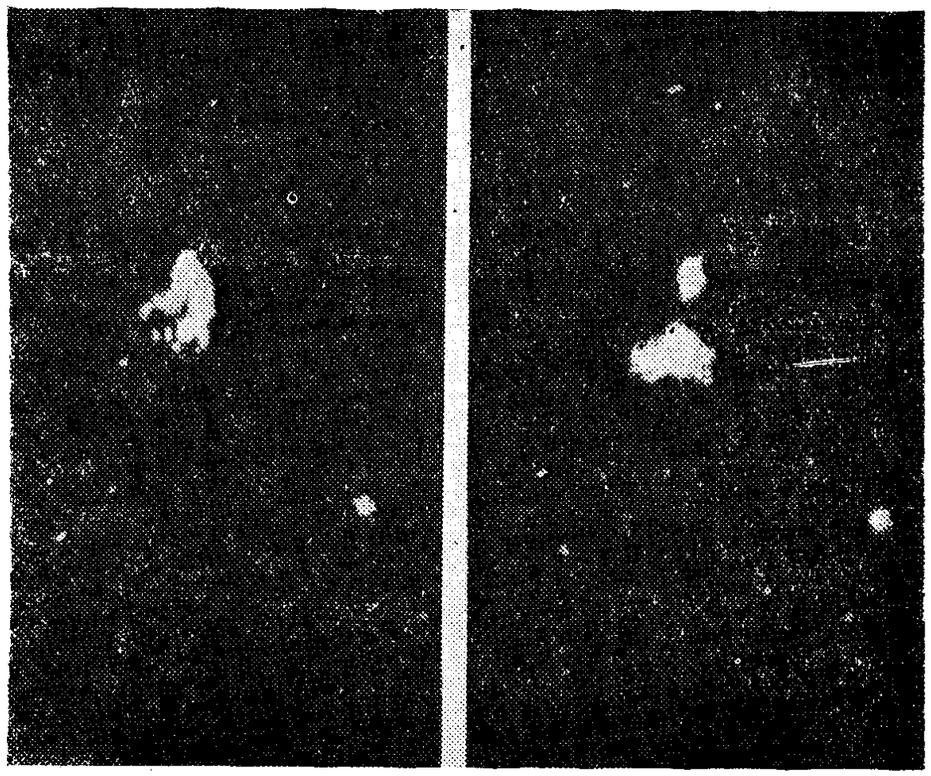
Նկ. 125. Օրիոնի մեծ միգամածությունը, որի մեջ գտնվում է մոտակա ամենահարուստ O+T աստղասփյուռը:

ակզբնաղբյուր-աստղի ընդհանուր ճառագայթումը, որոշ դեպքերում, տասնյակ անգամ թույլ է նրա հետ կապված գիսավորաձև միգամածության լուսարձակումից:

§ 108. Միջաստղային նյութը և լույսի կլանման երևույթը

Գալակտիկայում շատ ավելի բազմաքանակ են գերազանցապես փոշուց կազմված դիֆուզ միգամածությունները: Այն դեպքերում, երբ միգամածության մեջ կամ նրան շատ մոտ կան

մեծ լուսատվության աստղեր, նրա մեջ պարունակվող փոշին անդրադարձնում է այդ աստղերի լույսը և այն դիտվում է որպես լու-



Նկ. 126. Հաբլի գիսավորաձև միգամածությունը (NGC 2261) Միեղջյուրի համաստեղության մեջ: Միգամածության գագաթում գտնվում է R Միեղջյուրի փոփոխական աստղը: Միգամածության տարբեր ժամանակներում ստացված լուսանկարները վկայում են, որ ինքը՝ միգամածությունը, նույնպես փոփոխական է:

սավոր միգամածություն: Նման լուսավոր միգամածություն դիտվում է, օրինակ, Բազումք աստղակույտի շուրջը: Հակառակ դեպքում, երբ միգամածության հարևանության մեջ չկան այն լուսավորող մեծ լուսատվության աստղեր, միգամածությունը մութ է:

Լուսավոր միգամածությունների և նրանց լուսավորող աստղերի կապը մեծ մասամբ կրում է պատահական բնույթ: Մյուս կողմից, բոլոր աստղերը լուսավորում են Գալակտիկայի միգամածությունների կողմից զբաղեցրած ծավալի 1/2000 մասը միայն: Եթե ընդունենք, որ միգամածությունների բաշխումը Գալակտիկայում նույնպես պատահական է, ապա այստեղից հետևում է, որ մութ միգամածությունների ընդհանուր թիվը 2000 անգամ մեծ է լուսավոր միգամածությունների թվից: Հետևաբար տրամաբանական է

եզրակացնել, որ հենց այդ բազմաքանակ մութ միգամածությունները են պատասխանատու լույսի միջաստղային կլանման (թուլացման) համար Գալակտիկայում: Այստեղից հետևում է, որ միջաստղային կլանող նյութն ունի ամպաձև կառուցվածք, այսինքն՝ կազմված է առանձին ամպերից-միգամածություններից:

Մեծ չափերի և զգալի զանգվածների մութ միգամածությունները լավ երևում են երկնքի լուսանկարների վրա այն բանի շնորհիվ, որ լույսի թուլացման պատճառով նրանց ուղղությամբ աստղերի ընդհանուր թիվը զգալիորեն ավելի փոքր է, քան հարևան նույն չափերի տիրույթներում: Մեծ թվով մութ տիրույթներ կան, օրինակ, Ծիր Կաթնի շերտում:

Մութ միգամածությունների նման ազդեցությունը պայմանավորված է նրանց մեջ փոշի նյութի պարունակությամբ, որը ցրման միջոցով թուլացնում է ավելի հեռու գտնվող աստղերի լույսը: Այդ է պատճառը, որ մութ միգամածությունների ուղղությամբ թույլ

Նկ. 127. «Ձիու գլուխ» մութ միգամածությունը, որը կազմված է հիմնականում փոշեհատիկներից, որոնք ցրում են իրենց վրա ընկած լույսը: Այդ է պատճառը, որ միգամածության ուղղությամբ աստղեր գրեթե չեն երևում:

աստղեր չեն երևում: Այդ միգամածությունները կարող են ուսումնասիրվել նրանց անմիջական դիտումների միջոցով: Սակայն,

մութ միգամածությունների ճնշող մեծամասնությունն ունի փոքր չափեր և, հետևաբար, աստղերի լույսը թուլացնելու փոքր ունակություն, որի պատճառով անմիջականորեն չի դիտվում: Այդ միգամածությունների՝ ամպերի ուսումնասիրության համար օգտագործվում են վիճակագրական մեթոդներ:

Բոլոր միգամածությունները դասավորված են Գալակտիկայի հարթության շուրջը բավական բարակ (հաստությունը ~100 պս) շերտով:

Լույսի միջաստղային կլանման երևույթի հետևանքով հեռավոր աստղերը թվում են իրականից ավելի թույլ: Այդ պատճառով մինչև լույսի միջաստղային կլանման երևույթի հայտնագործումը (1930 թ.) աստղերի հեռավորությունները (9.1) բանաձևով որոշելիս, այն գերագնահատվում էր:

Լույսի կլանման հաշվառմամբ (8.7) բանաձևը ընդունում է

$$M = m - 5\lg r + 5 - A(r)$$

կամ

$$M = m_0 - 5\lg r + 5 \qquad (9.2)$$

տեսքը, որտեղ՝ $A(r)$-ը միջաստղային միջավայրում կլանված լույսի չափն է աստղի r հեռավորության վրա, արտահայտված աստղային մեծություններով, իսկ $m - A(r) = m_0$-ը աստղի իրական տեսանելի մեծությունը, որը կդիտվեր լույսի կլանման բացակայության դեպքում:

Հետևաբար, լույսի միջաստղային կլանման դեպքում հեռավորությունների որոշման համար (9.1) բանաձևը պետք է կիրառել՝

$$\lg r = 0{,}2\ (m_0 - M) + 1$$

տեսքով:

Աստղի և դիտողի միջև ընկած ճանապարհին աստղի լույսի կլանման չափը տարբեր է սպեկտրի տարբեր մասերում. այն կախված է ալիքի երկարությունից և աճում է դեպի կարճ ալիքները: Դրա համար էլ միջաստղային կլանման պատճառով աստղի լույսը «կարմրում» է, իսկ նրա գույնի ցուցիչը՝ աճում:

Աստղի դիտվող գույնի ցուցիչի և նրա սպեկտրալ դասին, այսինքն՝ լուսոլորտի ջերմաստիճանին համապատասխանող (նորմալ) գույնի ցուցիչի տարբերությունը կոչվում է գույնի ավելցուկ: Այն համեմատական է լույսի միջաստղային կլանման մեծությանը (A) և օգտագործվում է լույսի կլանման չափի որոշման նպատակով:

Օրինակ, B—V գույնի ցուցիչների սիստեմում աստղի լույսի կլանման չափը որոշվում է

$$A = 3E_{B-V}$$

բանաձևով, որտեղ՝ E_{B-V}-ն աստղի գույնի ավելցուկն է՝

$$E_{B-V} = (B-V) - (B-V)_0:$$

Այստեղ՝ $(B-V)_0$-ն նորմալ, իսկ $(B-V)$-ն դիտվող գույնի ցուցիչներն են:

Այսպիսով, աստղի դիտումներից որոշվող, գույնի ցուցիչի՝ և նրա սպեկտրալ դասին համապատասխանող նորմալ գույնի ցուցչի միջոցով որոշվում է աստղի գույնի ավելցուկը՝ E_{B-V}. իսկ այնուհետև, նաև նրա լույսի կլանման չափը՝ A, որը կարևոր է աստղի ճշգրիտ հեռավորությունը որոշելու համար:

A-ի մեծությունը փոփոխվում է կախված ուղղությունից, սակայն կոպիտ մոտավորությամբ միջինում այն ընդունվում է հավասար 1^m-ի մեկ կիլոպարսեկ հեռավորության վրա:

Լույսի կլանման հաշվառումը խիստ էական է Գալակտիկայում հեռավորությունների որոշման համար: (9.2) բանաձևից հետևում է, որ կլանման համապատասխան շտկումը համեմատական է մարմնի իրական հեռավորությանը և նրա ազդեցությունը արագ աճում է հեռավորության հետ:

§ 109. Լույսի բևեռացման երևույթը

1949 թ. հայտնի դարձավ, որ հեռավոր ջերմ հսկա և գերհսկա աստղերի լույսը զգալի չափով բևեռացված է: Այլ կերպ ասած, լույսի տարածման բոլոր ուղղություններով նրա ալիքների տատանումները միատեսակ չեն. կան այդ տատանումների գերադասելի ուղղություններ:

Լույսի բևեռացումը չափվում է հատուկ նյութերի՝ բևեռացուցիչների (կվարցի բյուրեղներ, իսլանդական շպատ, բյուրեղային նյութերով ծածկված բևեռացուցիչ ժապավեններ և այլն) միջոցով: Երբ լույսն անցնում է բևեռացուցիչի միջով նա թույլ է տալիս զատել ճառագայթման այն մասը, որը բևեռացված է բևեռացուցիչի հիմնական հարթության ուղղությամբ:

Եթե բևեռացուցիչի միջով անցած լույսը, անկախ բևեռացուցիչի դիրքից, նույն ինտենսիվությունն ունի, ապա նա բևեռացված չէ: Հակառակ դեպքում նա ունի առավելագույն ինտենսիվություն (I_{max}) բևեռացման հարթության ուղղությամբ և նվազագույն (I_{min}) նրան ուղղահայաց ուղղությամբ:

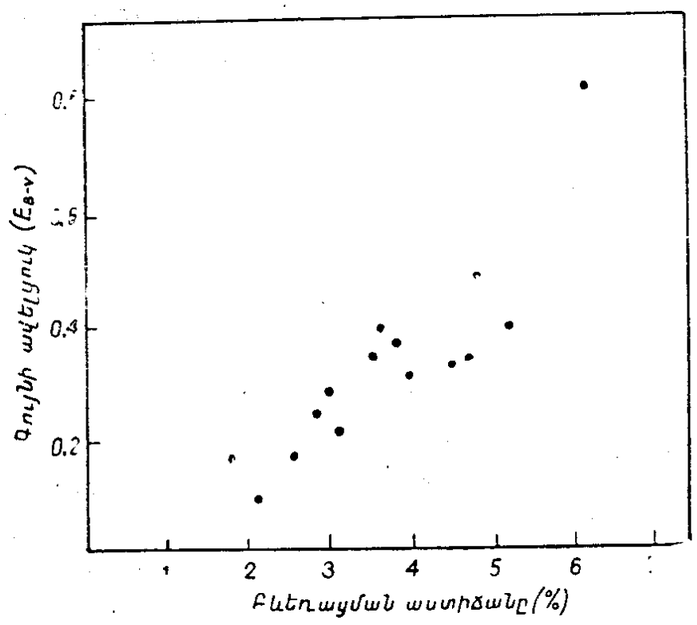
Լույսի բևեռացման աստիճանը (p) որոշվում է

$$p = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

պարզ արտահայտությունից։

Աստղերի լույսի բևեռացման աստիճանը սովորաբար մի քանի տոկոսի կարգի է։

Աստղերի լույսի բևեռացման պատճառը նրա ցրումն է միջաստղային փոշեհատիկների կողմից։ Դրա համար պահանջվում է փոշեհատիկների ասեղանման ձև և միևնույն ուղղությամբ կարգավորված դասավորություն, որն ապահովվում է Գալակտիկայի մագնիսական դաշտերի կողմից։ Բևեռացման այդպիսի բնույթի մասին է վկայում այն փաստը, որ աստղերի լույսի բևեռացման աստիճանը, միջին հաշվով, աճում է նրանց գույնի ավելցուկների հետ։ Այլ կերպ ասած, որքան շատ է միջաստղային փոշու քանակը աստղի լույսի ճանապարհին, այնքան բարձր է նրա բևեռացման աստիճանը։ Այն կարող է հասնել շուրջ 10 %-ի։



Նկ. 128. Աստղերի բևեռացման աստիճանի կախումը նրանց գույնի ավելցուկից (E_{B-V})։

Այն դեպքում, երբ աստղի լույսի բևեռացումը փոփոխական է, ենթադրվում է, որ դա զգալիորեն պայմանավորված է աստղը շրջապատող, շուրջաստղային թաղանթներում լույսի բևեռացմամբ։

Տիեզերական փոշեհատիկների կողմից լույսի ցրման հետևանքով բևեռացում դիտվում է նաև լուսավոր, ցրող կամ անդրադարձնող միգամածություններում։ Այս դեպքում բևեռացումը սիմետրիկ է կենտրոնական լուսավորող աստղի նկատմամբ։

Սակայն, մի շարք արտասովոր դեպքերում երկնային մարմինների լույսի բևեռացումը հնարավոր չէ բացատրել որպես նրա պարզ ցրման հետևանք։ Այս դեպքում պետք է ենթադրել, որ այդ լույսը բևեռացված է ի ծնե։ Օրինակ, մագնիսական դաշտերի ուժագծերի շուրջը պարուրաձև ուղեգծերով շարժվող շատ մեծ էներգիայի (ռելատիվիստական) էլեկտրոնները արձակում են ուժեղ բևեռացված ճառագայթում։ Այդպիսի ճառագայթում դիտվում է նաև տարրական մասնիկների արագացուցիչներում, որը սովորաբար կոչվում է սինխրոտրոնային ճառագայթում։

Այդ ձևով ճառագայթած լույսի բևեռացման աստիճանը կարող է անցնել մի քանի տասնյակ տոկոսից։ Հենց այդպիսին է նշանավոր խեցգետնաձև միգամածության ճառագայթման բևեռացման բնույթը։ Այն բևեռացված է սպեկտրի ինչպես տեսանելի տիրույթում, այնպես էլ ռադիոտիրույթում։ Նույն բնույթի բևեռացված ճառագայթում դիտվում է նաև որոշ արտագալակտիկական օբյեկտներում։

Լույսի սինխրոտրոն բնույթի ճառագայթման հայտնագործումը, փաստորեն, միաժամանակ տիեզերական մագնիսական դաշտերի գոյության ապացույցը հանդիսացավ։

Աստղերի ու միգամածությունների ճառագայթման բևեռաչափական դիտումների հիման վրա բացահայտվել են լույսի տիեզերական ծագում ունեցող բևեռացման բնույթը, աստղերի թաղանթների, միջաստղային նյութի և տիեզերական մագնիսական դաշտերի ու ռելատիվիստական մասնիկների հատկությունները։

§ 110. Գալակտիկայի կառուցվածքը

Աստղերի և միգամածությունների տարածական բաշխումը ընդհանուր գծերով որոշում է Գալակտիկայի կառուցվածքը։ Այդ բաշխման խնդրի լուծման համար պահանջվում է հիշյալ մարմինների տեսանելի բաշխման և նրանց հեռավորությունների որոշում։

Աստղերի տեսանելի բաշխումը երկնքում ցույց է տալիս, որ նրանց թիվը խիստ աճում է Ծիր Կաթնի շերտին մոտենալիս։ Այդ օրինաչափությունից հետևում է, որ Գալակտիկան սկավառակաձև է և Արեգակը գտնվում է նրա սիմետրիայի հարթությանը շատ մոտ։

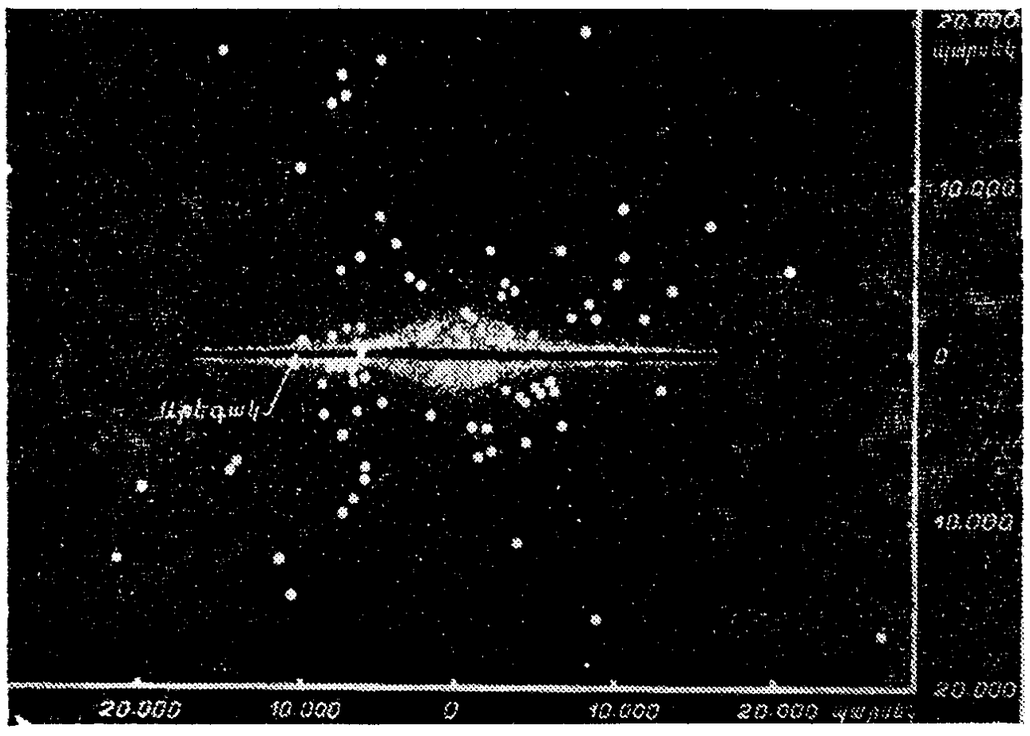
Մյուս կողմից, դեռևս 18-րդ դարում հայտնի էր, որ եթե մինչև

m աստղային մեծության բոլոր աստղերի թիվը նշանակենք N(m), ապա՝

$$\frac{N(m+1)}{N(m)}$$

հարաբերությունը m-ի փոքր արժեքների (պայծառ աստղերի) դեպքում մոտ է երեքին, իսկ նրա մեծ արժեքներին (թույլ աստղերին) անցնելիս այն աստիճանաբար նվազելով մոտենում է միավորին[29]: Այդ փաստը վկայում է, որ թույլ աստղերին անցնելիս դիտվող աստղերի ընդհանուր թիվն այլևս չի մեծանում, այսինքն՝ նոր, ավելի թույլ աստղեր արդեն չկան, որից անմիջականորեն, հետևում է, թե Գալակտիկան ունի վերջավոր չափեր:

Աստղերի ամենամեծ տեսանելի խտությունը երկնքում դիտվում է Աղեղնավորի համաստեղության ուղղությամբ, որտեղ գըտնըվում է Գալակտիկայի կենտրոնը: Հաշվումները ցույց են տալիս,



Նկ. 129. Գալակտիկայի սխեմատիկ պատկերը:

որ եթե Գալակտիկայում լույսի կլանում չլիներ, ապա Մեր Կաթինն այդ ուղղությամբ կդիտվեր շուրջ 1000 անգամ ավելի պայծառ:

[29] Եթե Գալակտիկայում աստղերը բաշխված լինեին հավասարաչափ և լույսի կլանում չլիներ, ապա այդ հարաբերությունն ամեն ուղղությամբ պետք է հավասար լիներ 4-ի, բոլոր m-երի համար, մինչև Գալակտիկայի սահմաններն ընդգրկելը:

Լույսի միջաստղային կլանումն, ընդհանրապես, խիստ աղավաղում է Գալակտիկայի դիտվող կառուցվածքը:

Ներկայումս լույսի կլանման հաշվառման և կլանումից զուրկ ռադիոաստղագիտական դիտումների շնորհիվ հաջողվել է բացահայտել Գալակտիկայի կառուցվածքի հիմնական առանձնահատկությունները:

Գալակտիկայի բնակչության հիմնական մասը կենտրոնացված է նրա սիմետրիայի հարթության շուրջը, որը մենք անմիջականորեն դիտում ենք Մեր Կաթինի շերտի ձևով: Իր այդ ամենախիտ մասում Գալակտիկան նման է մի սկավառակի, որի տրամագիծը շուրջ 30 000 պարսեկ է, իսկ հաստությունը, որը զգալիորեն աճում է կենտրոնի մոտ, հասնում շուրջ 3000 պարսեկի: Արեգակը գըտնըվում է գրեթե Գալակտիկայի հարթության մեջ, նրա կենտրոնից շուրջ 10 000 պարսեկ հեռավորության վրա: Գալակտիկան տարածության մեջ ունի սեղմված գնդի ձև, սակայն նյութի խտությունը արագ նվազում է նրա սիմետրիայի հարթությունից հեռանալիս:

Գալակտիկայի սիմետրիայի հարթության շուրջը, նրա խիտ մասում ևս աստղերի և դիֆուզ նյութի բաշխումը հավասարաչափ չէ: Այն մեծ մասամբ խտանում է Գալակտիկայի կենտրոնական շրջանից դուրս եկող պարուրաձև թևերում: Այլ կերպ ասած, իր պայծառ մասերում Գալակտիկան ունի պարուրաձև կառուցվածք: Պարուրաթևերում իրենց պայծառությամբ աչքի են ընկնում O աստղասփյուռները և նրանց հետ կապված հսկայական լուսավոր գազային միգամածությունները: Արեգակը տեղավորված է Գալակտիկայի մեզ մոտակա պարուրաթևերի միջև:

Ենթահամակարգեր. Գալակտիկայի կազմում դիտվող մարմինները ըստ տարածական բաշխման բաժանվում են բնակչության երկու հիմնական տիպի: Առաջին տիպի բնակչությանն են պատկանում Գալակտիկայի այն օբյեկտները, որոնք գտնվում են Գալակտիկայի հարթության մեջ կամ նրան շատ մոտ, մի բարակ շերտում, որի հաստությունը ընդամենը մի քանի հարյուր պարսեկ է: Այդպիսի տարածական բաշխում ունեն, մասնավորապես, բաց աստղակույտերն ու աստղասփյուռները, ցեֆեիդները, դիֆուզ միգամածություններն ու միջաստղային նյութը:

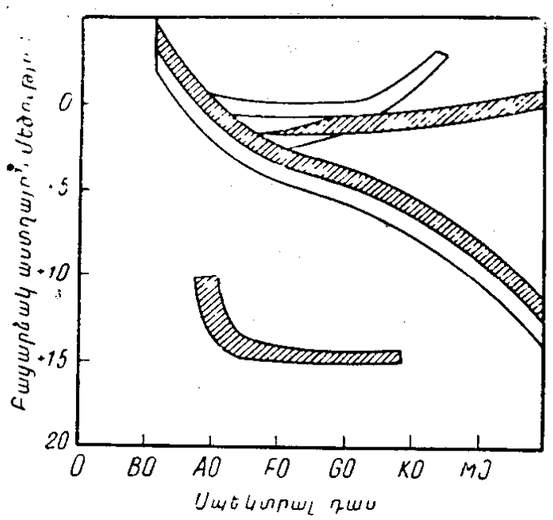
Երկրորդ տիպի բնակչությունն են կազմում այն երկնային մարմիններն ու նրանց ֆիզիկական խմբերը, որոնք հանդիպում են Գալակտիկայի հարթությունից մեծ հեռավորությունների վրա և

միաժամանակ խտանում են դեպի նրա կենտրոնական մասը (տարածական խտությունն աճում է Գալակտիկայի կենտրոնի ուղղությամբ)։ Այդ բնակչությանն են պատկանում գնդաձև աստղակույտերը, RR Քնարի տիպի փոփոխականները, կարմիր ենթաթզուկ և հսկա աստղերը։

Առաջին և երկրորդ տիպերի աստղային բնակչություններին պատկանող օբյեկտները, համապատասխանաբար, կազմում են Գալակտիկայի հարթ և սֆերիկ կամ գնդաձև ենթահամակարգերը։ Այդ անվանումները կապված են Գալակտիկայում նրանց տարածական բաշխման ձևերի հետ։

Գալակտիկայի անդամների բաժանումը երկու տիպի բնակչության, ըստ նրանց տարածական բաշխման, բավական պայմանական է։ Իրականում, Գալակտիկայում կան նաև այնպիսի օբյեկտներ, որոնք միջանկյալ դիրք են գրավում առաջին և երկրորդ տիպի բնակչությունների միջև։ Այդպիսի միջանկյալ ենթահամակարգ են կազմում, մասնավորապես, մոլորակաձև միգամածությունները։

Առաջին և երկրորդ տիպերի բնակչություններն իրարից զգալիորեն տարբերվում են իրենց սպեկտր-լուսատվության դիագրամների տեսքով (նկ. 130), շարժումների բնույթով և տարիքով։



Նկ. 130. I և II տիպերի աստղային բնակչությունների սպեկտր-լուսատվություն համեմատական դիագրամը։ Սպիտակ շերտերը ներկայացնում են II տիպի աստղային բնակչությունը, իսկ կարտված շերտերը՝ I տիպի աստղային բնակչությունը։

Հարթ ենթահամակարգի բնակչության օբյեկտների շարժումները տեղի են ունենում Գալակտիկայի հարթության մեջ կամ նրան շատ մոտ հարթություններում, մինչդեռ գնդաձև ենթահամակարգի բնակչության օբյեկտներին բնորոշ են շարժման արագությունների մեծ բաղադրիչներ Գալակտիկայի հարթությանն ուղղահայաց ուղղությամբ։ Համապատասխանաբար, գնդաձև ենթահամակարգի բնակչության միջին տարիքը շատ ավելի մեծ է, համեմատած հարթ ենթահամակարգի բնակչության տարիքի հետ։

Այսպիսով, Գալակտիկան տարբեր տարածական բաշխում և տարիքա-կինեմատիկական հատկություններ ունեցող ենթահամակարգերի մի ամբողջություն է։

§ 111. Աստղերի տարածական շարժումները

Աստղերի դիտվող տեղաշարժերը երկնակամարում, մեծ մասամբ, պայմանավորված են Երկրագնդի շարժումներով (տարեկան պարալաքս, պրեցեսիա, նուտացիա) և լույսի աբերացիայի երևույթով։ Նման տեղաշարժերն ընդհանուր են բոլոր աստղերի համար։ Սակայն այդ, համեմատաբար մեծ և պարբերական, շարժումներից բացի աստղերը երկնակամարում տեղաշարժվում են իրենց տարածական շարժումների հետևանքով։

Գալակտիկայում աստղի իրական շարժմամբ պայմանավորված նրա տեղաշարժը երկնակամարի վրա մեկ տարում, արտահայտված աղեղնային վայրկյաններով, կոչվում է **սեփական շարժում** (μ)։ Աստղի սեփական շարժումը նրա տարածական շարժման պրոյեկցիան է երկնակամարի վրա։

Աստղերի սեփական շարժումները ըստ մեծության, միջին հաշվով, կախված են նրանց հեռավորություններից։ Սովորաբար, մեծ սեփական շարժումը վկայում է աստղի մոտիկության մասին։ Սեփական շարժումները շատ փոքր են աստղերի ճնշող մեծամասնության համար։ Միայն մի քանի տասնյակ մոտակա աստղերի համար սեփական շարժումները 1″-ից մեծ են։ Ամենամեծ սեփական շարժումն ունի Բարնարդի «թռչող աստղը», այն հավասար է 10″,27։

Սեփական շարժումների փոքրության պատճառով, աստղերի՝ նրանցով պայմանավորված տեղաշարժերը երկնակամարի վրա հաճախ նկատելի չեն նույնիսկ տասնյակ տարիների ընթացքում։ Այդ փաստը ժամանակին հիմք է տվել խոսելու «անշարժ աստղերի» մասին։ Մեծ ժամանակամիջոցների ընթացքում, սակայն, աստղերի տեղաշարժերը էական են։ Այդ բանը պարզ երևում է նկ. 131-ից, որտեղ պատկերված է Մեծ Արջի համաստեղության յոթ ամենապայծառ աստղերի փոխադարձ դասավորությունը տարբեր դարաշրջաններում։

Աստղի սեփական շարժման հետևանքով նրա կոորդինատները ժամանակի ընթացքում փոփոխվում են։ Դիտումներից սովորաբար

որոշվում են աստղի սեփական շարժման բաղադրիչները՝ ըստ ուղղակի ծագման (μ_α) և ըստ հակման (μ_δ)։

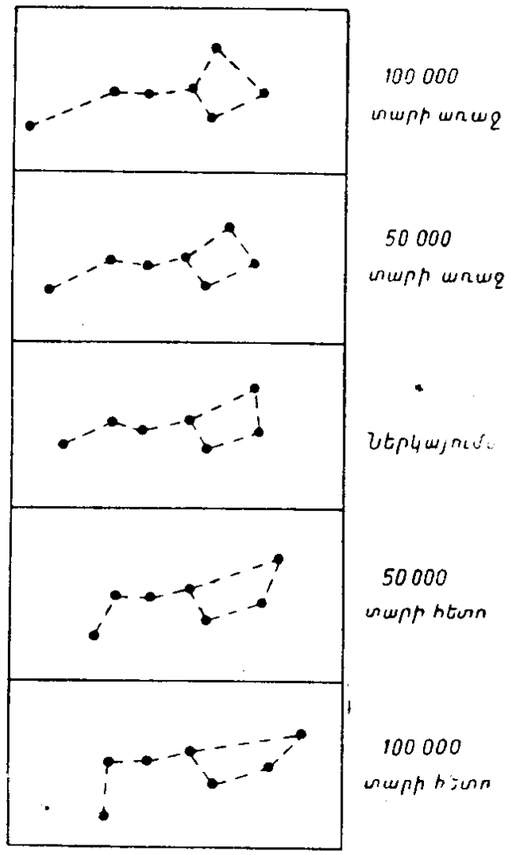
Սեփական շարժումը (μ) և նրա այդ բաղադրիչները կապված են

$$\mu = \sqrt{\mu_\delta + (\mu_\alpha \cos \delta)^2}$$

ակնհայտ բանաձևով, որտեղ՝ δ-ն աստղի հակումն է։

Այս բանաձևում $\cos\delta$ բազմապատկիչի առկայությունը կապված է այն փաստի հետ, որ երկնոլորտի հակման շրջանների միավոր աղեղի գծային երկարությունը կախված է δ-ից։

Աստղի սեփական շարժման միջոցով կարելի է հաշվել նրա տարածական արագության պրոյեկցիան տեսագծին ուղղահայաց



Նկ. 131. Մեծ Արջի շերեփի տեսքի փոփոխությունը հազարամյակների ընթացքում աստղերի սեփական շարժումների հետևանքով։

հարթության մեջ՝ այսպես կոչված, տանգենցիալ արագությունը V_t։

Եթե աստղի հեռավորությունը որոշվում է պարսեկներով, իսկ սեփական շարժումը աղեղնային վայրկյաններով՝ մեկ տարում, ապա նրա տանգենցիալ արագությունը կլինի՝

$$V_t = r \sin \mu \frac{\text{պս}}{\text{տարի}} = \frac{\mu'' r}{206265} \frac{\text{պս}}{\text{տարի}},$$

Այս բանաձևում պարսեկները արտահայտելով կիլոմետրերով ($3{,}08 \cdot 10^{13}$), իսկ տարին՝ վայրկյաններով ($3{,}15 \cdot 10^7$), վերջնականապես կստանանք՝

$$V_t = 4.74\, \mu r \text{ կմ/վրկ} \quad \text{կամ} \quad V_t = 4.74 \frac{\mu}{\pi} \text{ կմ/վրկ},$$

որտեղ աստղի հեռավորությունը (r) արտահայտված է պարսեկներով, իսկ սեփական շարժումը (μ) և տարեկան պարալաքսը (π)՝ աղեղնային վայրկյաններով։

Աստղի լրիվ տարածական արագության (V) որոշման համար անհրաժեշտ է ունենալ նաև նրա պրոյեկցիան տեսագծի ուղղությամբ՝ տեսագծային արագությունը (V_r), որը ինչպես հայտնի է, որոշվում է Դոպլերի օրենքի կիրառությամբ։

Աստղի տարածական արագությունը նրա տանգենցիալ և տեսագծային արագությունների միջոցով արտահայտվում է

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2}$$

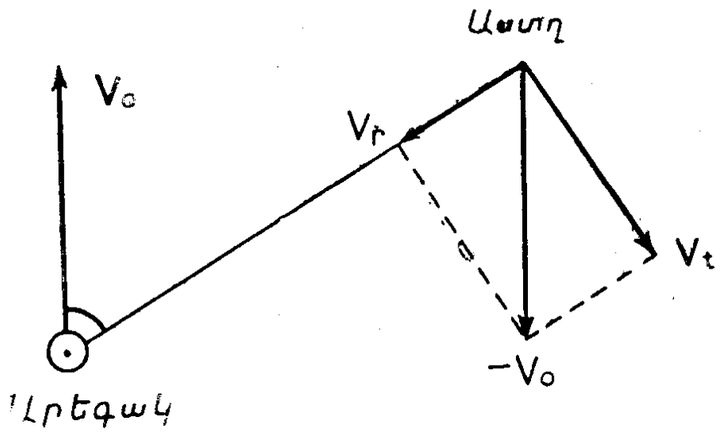
բանաձևով։

§ 112. Արեգակի տարածական շարժումը

Արեգակի տարածական շարժումը որոշելու համար օգտագործում են աստղերի դիտվող շարժումները։ Բանն այն է, որ աստղերի դիտվող շարժումների մեջ առկա են Արեգակի տարածական շարժմամբ պայմանավորված բաղադրիչներ։

Պարզության համար ենթադրենք, որ բոլոր աստղերը անշարժ են և շարժվում է միայն Արեգակը։ Արեգակի շարժումը որոշվում է, եթե տրված է նրա ուղղությունը և արագությունը։

Երկնոլորտի այն կետը, որին ուղղված է Արեգակի շարժումը և որը միշարժեք որոշում է Արեգակի շարժման ուղղությունը տարածության մեջ, կոչվում է ապեֆս, իսկ նրան տրամագծորեն հակառակ կետը երկնակամարում՝ անտիապեֆս։



Նկ. 132. Արեգակի տարածական շարժման ազդեցությունը աստղի դիտվող շարժման վրա։

Քննարկենք Արեգակի շարժման հետևանքով որևէ աստղի (s) թվացող շարժումը (նկ. 132)։ Այն ուղղված կլինի դեպի անտիապեքսը, իսկ նրա արագությունը կորոշվի Արեգակի շարժման արագությամբ՝ հակառակ նշանով ($-V_o$)։

Աստղի տարածական արագության բաղադրիչները որոշելու համար աստղի ուղղության և Արեգակի արագության ($V_\odot$) կամ ապեքսի ուղղության միջև կազմված անկյունը նշանակենք λ-ով: Այդ դեպքում աստղի՝ Արեգակի տարածական շարժմամբ պայմանավորված տեսագծային արագությունը (V_r) և տանգենցիալ արագությունը (V_t) հավասար են՝

$$V_r = -V_\odot \cos\lambda, \qquad (9.3)$$

$$V_t = -V_\odot \sin\lambda: \qquad (9.4)$$

Այստեղից հետևում է, որ ապեքսի ուղղությամբ ($\lambda=0$, $\cos\lambda=1$) աստղերի տեսագծային արագությունները մեզ կթվան $-V_\odot$-ով փոքրացած, իսկ անտիապեքսի ուղղությամբ ($\lambda=180^\circ$, $\cos\lambda=-1$)՝ նրանք կթվան $V_\odot$-ով մեծացած: Ինչ վերաբերում է աստղի տանգենցիալ արագությանը, ապա հիշյալ երկու դեպքում էլ այն հավասար է զրոյի:

Նույն՝ (9.3) և (9.4) բանաձևերի համաձայն Արեգակի շարժմանը ուղղահայաց ուղղություններում ($\lambda=90^\circ$ և $\lambda=270^\circ$) աստղերի տեսագծային արագություններն Արեգակի շարժման հետևանքով չեն փոխվի, իսկ նրանց տանգենցիալ արագություններում կպարունակվի, որպես այդ շարժմամբ պայմանավորված բաղադրիչ, Արեգակի արագությունը ($\pm V_\odot$) ամբողջությամբ:

Արեգակի շարժման ուղղությունը և արագությունը, այսպիսով, կարելի է որոշել աստղերի տեսագծային արագությունների կամ սեփական շարժումների միջոցով:

Առաջին դեպքում, տարբեր ուղղություններում գտնվող աստղերի տեսագծային արագությունների համեմատությունից կորոշվի ապեքսի ուղղությունը, որը (9.3) բանաձևի համաձայն, կհամապատասխանի տեսագծային արագության ամենամեծ բացասական արժեքին, իսկ վերջինիս արժեքը հենց կտա Արեգակի տարածական արագությունը:

Երկրորդ դեպքում, աստղերի սեփական շարժումների միջոցով կորոշվի անտիապեքսը, որին ուղղված են այդ շարժումները, իսկ երկնոլորտի նրան տրամագծորեն հակառակ կետը կլինի ապեքսը: Այնուհետև, հայտնի հեռավորության վրա գտնվող որևէ աստղի սեփական շարժման միջոցով կարելի է որոշել նրա տանգենցիալ արագությունը, իսկ (9.4) բանաձևով նաև Արեգակի արագությունը՝

$$V_\odot = -\frac{V_t}{\sin\lambda}:$$

Վերևում ենթադրվում էր, որ բոլոր աստղերը տարածության մեջ անշարժ են և շարժվում է միայն Արեգակը: Իրականում, երբ բոլոր աստղերն էլ շարժվում են տարածության մեջ, Արեգակի շարժման ուղղության և արագության որոշման խնդիրը զգալիորեն ավելի բարդ է: Սակայն, նկատի ունենալով, որ առանձին աստղերի անհատական շարժումները քաոտիկ բնույթ ունեն, բավարար ճշտությամբ կարելի է ընդունել, որ երկնքի որևէ տիրույթում գտնվող մեծ թվով աստղերի շարժումները, միջինում, ենթարկվում են նույն օրինաչափություններին, ինչ որ վերը քննարկված դեպքում, երբ ենթադրվում էր, թե շարժվում է միայն Արեգակը:

Ժամանակակից տվյալների համաձայն Արեգակի տարածական արագությունը շրջակա աստղերի նկատմամբ 20 կմ/վրկ է, իսկ նրա ապեքսի մոտավոր հասարակածային կոորդինատներն են՝ $\alpha=270^\circ$, $\delta=+30^\circ$: Այն գտնվում է Հերկուլեսի համաստեղությունում (Հերկուլեսի և Քնարի համաստեղությունների սահմանի մոտ):

Աստղերի իրական շարժումների որոշման համար անհրաժեշտ է նրանց դիտվող շարժումներից արտաքսել Արեգակի այդ շարժման ազդեցությունը:

§ 113. Գալակտիկայի պտույտը

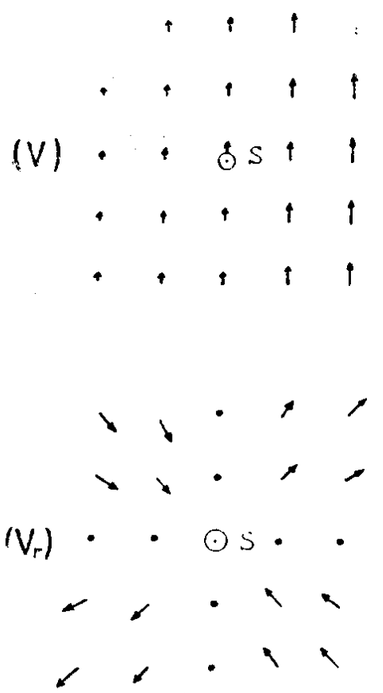
Գալակտիկայում գտնվող բոլոր երկնային մարմինները փոխազդում են ըստ Նյուտոնի տիեզերական ձգողականության օրենքի: Այդ փոխազդեցությունը հանգեցնում է նրանց դիտվող այն շարժումներին, որոնք բոլոր մարմինների համար ընդհանուր են: Այդ շարժումներից հիմնականը Գալակտիկայի պտույտն է:

Գալակտիկայի բոլոր աստղերն ու նրանց համակարգերը (բազմաստղեր, աստղակույտեր, աստղասփյուռներ), բոլոր միգամածությունները ու միջաստղային նյութը, պտտվում են Գալակտիկայի ծանրության կենտրոնի շուրջը:

Գալակտիկայի պտույտը հայտնագործվել է Արեգակի շրջակա աստղերի շարժումների ուսումնասիրության հիման վրա: Այդ պտույտը հեշտ է բացահայտել աստղերի տեսագծային արագությունների վերլուծությամբ:

Պարզության համար քննարկենք Գալակտիկայի հարթության մեջ գտնվող աստղերի տեսագծային արագությունները (նկ. 133): Արեգակը գտնվում է S կետում, իսկ Արեգակի հարևան աստղերը նրա շրջակա կետերում:

Գալակտիկայի կենտրոնի ուղղությունը գտնվում է աջ մասում։ Արեգակը և բոլոր նշված աստղերը գտնվում են Գալակտիկայի կենտրոնից շատ հեռու։ Ուստի Գալակտիկայի պտտմամբ պայմանավորված, նրանց շարժման արագությունները գրեթե զուգահեռ են։ Այդ արագությունները կախված են մարմնի Գալակտիկայի կենտրոնից ունեցած միջին հեռավորությունից։ Աստղերի շարժման այդ արագությունները գծագրի վերին կեսում, նշված են սլաքներով, իսկ Արեգակի նկատմամբ նրանց տեսագծային բաղադրիչները, ինչպես նաև այդ աստղերի նկատմամբ Արեգակի պտտական շարժմամբ պայմանավորված տեսագծային բաղադրիչները, որոնք կդիտվեն Արեգակի հետ կապված կոորդինատային սիստեմում՝ գծագրի ստորին մասում։ Գծագրից երևում է, որ իրար փոխուղղահայաց չորս ուղղությամբ աստղերի տեսագծային արագությունները Արեգակի նկատմամբ (դիֆերենցիալ տեսագծային արագությունները) հավասար են զրոյի, իսկ մյուս ուղղություններով նրանք դրական են (այդ աստղերը հեռանում են Արեգակից) կամ բացասական (այդ աստղերը մոտենում են Արեգակին)։



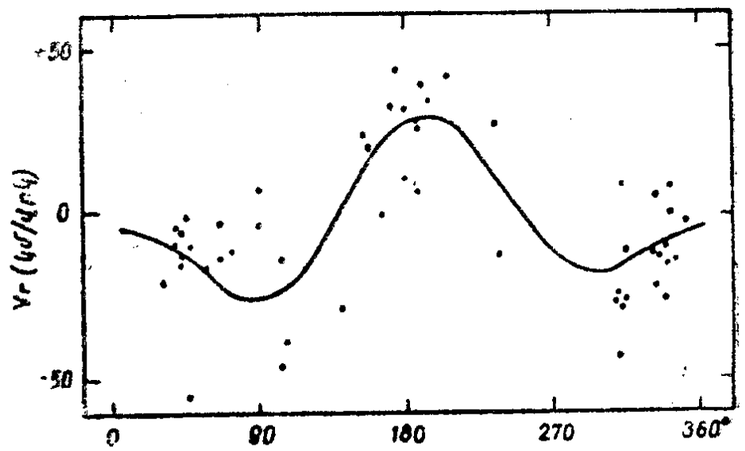
Նկ. 133. Արեգակի շրջակայքում աստղերի Գալակտիկայի պտույտով պայմանավորված տարածական (V) և տեսագծային (V_r) արագությունները։

Գալակտիկայի սիմետրիայի հարթության մեջ գտնվող մարմնի՝ Գալակտիկայի պտույտով պայմանավորված, դիֆերենցիալ տեսագծային արագության (ΔV_r), Արեգակից ունեցած նրա հեռավորության (r) և մարմնի գալակտիկական երկայնության (l) միջև կապը արտահայտվում է Օորտի անունը կրող հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta V_r = Ar \sin 2l. \qquad (9.5)$$

որտեղ՝ A-ն Օորտի հաստատունն է (Արեգակի շրջակայքում $A = 15$ կմ/վրկ կպս)։

Օորտի այս բանաձևը ցույց է տալիս, որ գալակտիկական երկայնության՝ 0-ից մինչև 360° փոփոխության ժամանակ դիֆերենցիալ տեսագծային արագությունը փոփոխվում է սինուսոիդի օրենքով, գալակտիկական երկայնության չորս արժեքների դեպքում դառնալով զրո։ Այդ արժեքները համապատասխանում են Գալակտիկայի կենտրոնի, հակակենտրոնի և նրանց ուղղահայաց ուղղություններին ($\lambda = 0; 90; 180; 270°$), որոնց համար $\sin 2l$ արտադրիչը հավասար է զրոյի։ Նկ. 134-ում ներկայացված են աստղե-



Նկ. 134. O—B գասերի աստղերի տեսագծային արագությունների կախումը նրանց գալակտիկական երկայնությունից (l)։ Այն բավարար կերպով ներկայացվում է Օորտի տեսական բանաձևով (հոծ գիծ)։

րի դիտվող տեսագծային արագությունները՝ Արեգակի նկատմամբ։ Հոծ գիծը հաշվված է Օորտի բանաձևով։ Դիտումների և բանաձևով հաշված գծի միջև համապատասխանությունը բավարար է։ Այդ փաստը վկայում է, որ Օորտի բանաձևը ճիշտ է ներկայացնում աստղերի Գալակտիկայի պտույտով պայմանավորված տեսագծային արագությունները։

Օորտի բանաձևը ճիշտ է աստղերի որևէ խմբի միջին հեռավորության և միջին տեսագծային արագության համար։ Առանձին աստղերի նկատմամբ կիրառելիս այն կարող է ճիշտ չլինել, աստղերի քաոտիկ շարժումների պատճառով։ Դրանով է բացատրվում առանձին աստղերի տեսագծային արագությունների դիտվող շեղումները հոծ գծից (նկ. 134)։

Գալակտիկայի հարթությունից հեռու գտնվող օբյեկտների համար Օորտի (9,5) բանաձևը գրվում է ավելի ընդհանուր ձևով. նրա աջ մասում ավելանում է $\cos^2 b$ արտադրիչը, որտեղ՝ b-ն աստղի գալակտիկական լայնությունն է։

Գալակտիկայի պտտմամբ պայմանավորված հավելյալ բաղադրիչներ մտնում են նաև պտույտին մասնակցող մարմինների

սեփական շարժումներում: Այդ բաղադրիչները կարելի է ներկայացնել Օորտի մի այլ բանաձևով

$$\Delta V_t = Ar\cos 2l + Br, \qquad (9.6)$$

որտեղ՝ ΔV_t-ն տանգենցիալ արագության Գալակտիկայի պտտմամբ պայմանավորված բաղադրիչն է, իսկ B-ն հաստատուն մեծություն՝ $B = A - \omega_0$ (ω_0-ն Գալակտիկայի պտտման արագությունն է Արեգակի հեռավորության վրա):

Այսպիսով, Գալակտիկայի պտտման հետևանքով նրա կազմում գտնվող բոլոր մարմինների դիտվող շարժումներում (տեսագծային արագություններում և սեփական շարժումներում) առկա են այդ երևույթով պայմանավորված բաղադրիչներ, որոնց մեծությունը, կախված է Գալակտիկայի կենտրոնի նկատմամբ նրանց գրաված դիրքից և աճում է այդ մարմինների Արեգակից ունեցած հեռավորության հետ:

Գալակտիկայի պտտման օրինաչափությունների ուսումնասիրությունը թույլ է տվել (աստղագիտական դիտումների հիման վրա հաստատված այդ կախման օգնությամբ) որոշել գալակտիկական օբյեկտների հեռավորությունները, նրանց տեսագծային արագությունների կամ սեփական շարժումների հիման վրա:

Քանի որ Գալակտիկայի ծանրության կենտրոնի շուրջը ընդհանուր պտտական շարժումից զատ, աստղերը տարածության մեջ կատարում են նաև քաոտիկ շարժումներ, ապա նրանց հեռավորության այդպիսի գնահատականները վստահելի են միայն միջինում՝ աստղերի խմբերի միջին հեռավորությունների դեպքում: Հեռավորության որոշման այս եղանակը հատկապես մեծ կիրառություն ունի ռադիոաստղագիտության մեջ՝ Գալակտիկայում միջաստղային չեզոք ջրածնի՝ $\lambda = 21$ սմ ալեկտրալ գծում ռադիոճառագայթման դիտումների հիման վրա, ջրածնային ամպերի բաշխման որոշման համար:

Գալակտիկայի պտույտի բնույթը կախված է նրա ներսում զանգվածի տարածական բաշխումից[32]:

Դիտումները ցույց են տալիս, որ Գալակտիկայի պտտման գծային արագությունը նրա կենտրոնից հեռանալիս սկզբում աճում է, իսկ, այնուհետև, դանդաղ նվազում: Այն իր առավելագույն արժեքին է հասնում Արեգակի հեռավորության վրա:

[32] Գալակտիկայի ընդհանուր զանգվածը գնահատվում է $2 \cdot 10^{11}$ արեգակնային զանգվածի կարգի:

Այդ փաստը կարելի է բացատրել որպես հետևանք այն բանի, որ Գալակտիկայի զանգվածի հիմնական մասը կենտրոնացված է նրա ծանրության կենտրոնի շուրջը, իսկ մնացած զանգվածը գրեթե հավասարաչափ բաշխված է համակարգի ծավալում, գլխավորապես, սիմետրիայի հարթության շուրջը: Այլ կերպ ասած, Գալակտիկայում տեղի ունեցող պտտական շարժումներն իրենցից ներկայացնում են Կեպլերյան շարժումների և պինդ մարմնի պտույտի յուրօրինակ միակցություն:

Իրականում, Գալակտիկայի պտտման արագությունը և պարբերությունը Արեգակի նկատմամբ տարբեր են ոչ միայն կենտրոնից տարբեր հեռավորությունների վրա գտնվող օբյեկտների, այլ նաև միևնույն հեռավորության վրա գտնվող, սակայն տարբեր բնույթի օբյեկտների համար: Արեգակի շրջակայքի աստղերի համար Գալակտիկայում պտտման արագությունը շուրջ 250 կմ/վրկ է, իսկ պտտման պարբերությունը՝ մոտավորապես 250 միլիոն տարի կամ մեկ գալակտիկական տարի:

§ 114. Աստղերի շարժումները աստղախմբերում: Դինամիկական տեսակետից անկայուն աստղախմբեր

Յուրաքանչյուր աստղախումբ, որտեղ աստղերն իրար հետ կապված են ձգողական ուժերով և փոխազդում են Նյուտոնի տիեզերական ձգողականության օրենքով, պտտվում է Գալակտիկայի ծանրության կենտրոնի շուրջը որպես մի ամբողջություն:

Միաժամանակ, աստղախմբի աստղերն ունեն իրենց անհատական շարժումները խմբի ներսում. նրանք բոլորը պտտվում են նաև աստղախմբի ծանրության կենտրոնի շուրջը: Ըստ որում, սովորաբար, աստղախմբի ընդհանուր ձգողական դաշտը այնքան ուժեղ է, որ, չնայած որոշ խանգարիչ գործոնների, պահում է աստղերը խմբի ծանրության կենտրոնի շուրջը, միլիարդավոր տարիների ընթացքում:

Աստղակույտերում, օրինակ, աստղերի հազվադեպ մոտիկ անցումների ժամանակ նրանց ուժեղ փոխազդեցության շնորհիվ որոշ աստղեր ժամանակի ընթացքում կարող են ձեռք բերել խմբի ձգողական դաշտը հաղթահարելու համար բավարար արագություններ և դուրս թռչել աստղակույտից: Դրա հետևանքով աստղակույտերը կորցնում են իրենց անդամներին, առաջին հերթին՝ փոքր զանգված ունեցող թզուկ աստղերին, և աստիճանաբար քայքայվում են:

Աստղակույտերը այդ ձևով կարող են քայքայվել միլիարդա-

վոր տարիների ընթացքում միայն։ Գալակտիկայի ծանրության կենտրոնի մակընթացային ազդեցությունը աստղակույտի՝ այդ կենտրոնից տարբեր հեռավորության վրա գտնվող աստղերի վրա, ինչպես նաև աստղակույտի հանդիպումները Գալակտիկայի աստղային դաշտի աստղերի հետ գործում են նույն ուղղությամբ, սակայն կարող են հանգեցնել աստղակույտի քայքայմանը շատ ավելի երկար ժամանակամիջոցներում։

Ուստի կարելի է եզրակացնել, որ Գալակտիկայի աստղակույտերի ճնշող մեծամասնությունը ներկայումս, գործնականում, չի քայքայվում և գտնվում է դինամիկական տեսակետից կայուն վիճակում։

Աստղասփյուռների հայտնագործումից հետո պարզ դարձավ, որ Գալակտիկայում գոյություն ունեն նաև դինամիկական տեսակետից անկայուն համակարգեր։

Ինչպես արդեն նշվել է, աստղասփյուռներում աստղերի տարածական խտությունը (նրանց քանակը միավոր ծավալում) շատ փոքր է ոչ միայն աստղակույտերի, այլև հաճախ նաև Գալակտիկայի ընդհանուր աստղային դաշտի համեմատ։ Այդ պատճառով, փոխադարձ ձգողական ուժերը բավարար չեն այդ աստղախմբերի աստղերը նրանց ծանրության կենտրոնի շուրջը պահելու համար և նրանք պետք է անհամեմատ արագ քայքայվեն։

Այս հարցի քննարկումը, աստղասփյուռներում գործող ուժերի վերլուծության հիման վրա, Վ. Համբարձումյանին բերեց այն եզրակացության, որ աստղասփյուռներն ի սկզբանե, իրենց ձևավորման պահից, դինամիկական տեսակետից անկայուն համակարգեր են, որոնք ներկայումս քայքայվում են։

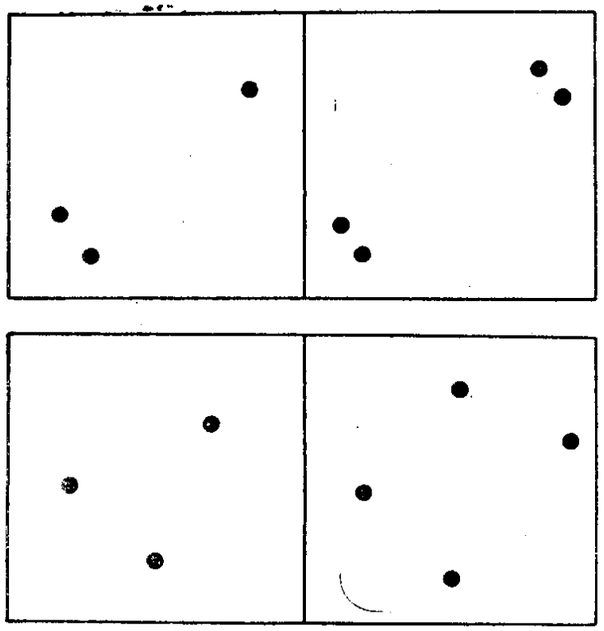
Աստղասփյուռների կազմում հայտնաբերվել են նաև դինամիկական տեսակետից անկայուն բազմաստղեր։ Այդ անկայունությունը հետևանք է նրանց յուրահատուկ կառուցվածքի։

Բոլոր բազմաստղերն, ընդհանրապես, ըստ կառուցվածքի, կարելի է բաժանել երկու հիմնական խմբի՝ սովորական տիպի բազմաստղեր և Օրիոնի Տրապեցիայի տիպի[33] (կամ ուղղակի Տրապեցիայի տիպի) բազմաստղեր։ Անկախ բաղադրիչների թվից բազմաստղը կոչվում է Տրապեցիայի տիպի, եթե նրա բաղադրիչներից գոնե երեքի փոխադարձ հեռավորությունները, ըստ մեծության,

[33] Նրանք այդպես են կոչվում Օրիոնի աստղասփյուռի կենտրոնում գտնվող նշանավոր բազմաստղի անունով, որը հիմք է ծառայել հիշյալ բաժանման համար։

միևնույն կարգի են, այսինքն՝ չեն տարբերվում ավելի քան 2—3 անգամ։ Մնացած բոլոր բազմաստղերը, որոնք չունեն այդպիսի երեք բաղադրիչներ, սովորական տիպի են։ Նկ. 135-ում բերված են Տրապեցիայի տիպի և սովորական տիպի բազմաստղերի օրինակներ։

Սովորական տիպի բազմաստղերում շարժումները կատարվում են Կեպլերի օրենքներով։ Օրինակ, սովորական տիպի քառակի բազմաստղում իրար մոտ գտնվող բաղադրիչները պտտվում են համապատասխան զույգի ծանրության կենտրոնի շուրջը, իսկ զույգերն իրենց հերթին, որպես առանձին աստղեր, պտտվում



Նկ. 135. Սովորական տիպի (վերևում) և Օրիոնի Տրապեցիայի տիպի (ներքևում) եռակի և քառակի համակարգեր։

են ամբողջ աստղախմբի ծանրության կենտրոնի շուրջը։ Այդ շարժումները պարբերական են և կարող են շարունակվել միլիարդավոր տարիներ։ Ուստի, սովորական տիպի բազմաստղերը, դինամիկական տեսակետից, կայուն համակարգեր են։

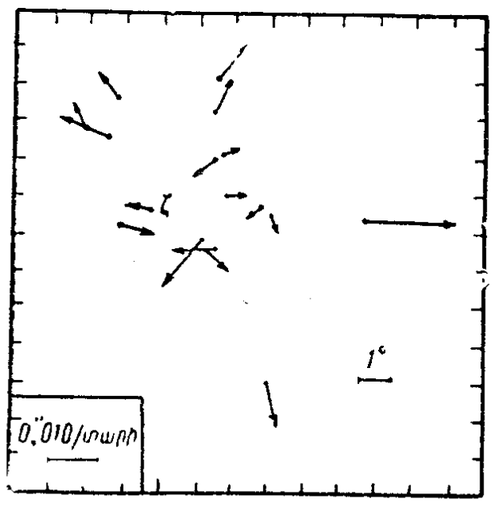
Մինչդեռ, Տրապեցիայի տիպի բազմաստղերում, այդ համակարգերի յուրատեսակ կառուցվածքի պատճառով, բաղադրիչների շարժումները կեպլերյան, այսինքն՝ պարբերական, չեն։ Ուստի Տրապեցիայի տիպի բազմաստղերը բաղադրիչների մի քանի ուղեծրային պտույտից հետո պետք է քայքայվեն։ Նրանց կյանքի տևողությունը ընդամենը մի քանի միլիոն տարի է։ Այսպիսով,

Տրապեցիայի տիպի բազմաստղերը, որոնց դասին կարելի է վերագրել նաև աղեղի ձևով դասավորված աստղախմբերը՝ աստղաշղթաները, դինամիկական տեսակետից, անկայուն համակարգեր են։ Նշանակալից է այն փաստը, որ Տրապեցիայի տիպի բազմաստղերը և աստղաշղթաները գերազանցապես գտնվում են աստղասփյուռների կազմում։

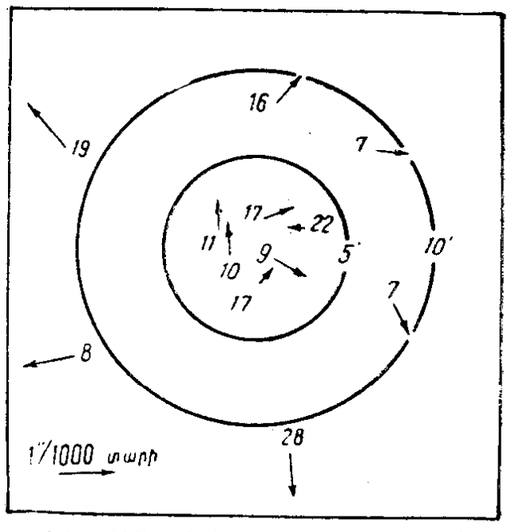
Այսպիսով, Գալակտիկայում դինամիկական տեսակետից կայուն համակարգերից բացի կան նաև զգալի թվով անկայուն համակարգեր։

§ 115. Աստղասփյուռների լայնացումը

Աստղասփյուռների դինամիկական անկայունության վերաբերյալ նոր պատկերացումը Վ. Համբարձումյանի համար հիմք ծառայեց ենթադրելու, որ աստղասփյուռները անկայունության պատճառով պետք է ժամանակի ընթացքում հեռանան իրենց կորիզներից։



Նկ. 136. ζ Պերսեոսի աստղի շուրջը գտնվող Պերսեոս II աստղասփյուռի լայնացման սխեման։ Սլաքները ներկայացնում են աստղերի սեփական շարժումները աստղասփյուռի կենտրոնի նկատմամբ։ Նրանց երկարությունը համեմատական է սեփական շարժման մեծությանը։



Նկ. 137. Օրիոնի աստղասփյուռի կենտրոնական մասի լայնացման սխեման։ Տրված են աստղերի միջին դիրքերը և միջին շարժումները վեց հավասար սեկտորների համար՝ Տրապեցիայի շուրջը 5 անկյունային րոպե շառավղով շրջանի ներսում և վեց սեկտորների համար՝ այդ շրջանից դուրս։ Բերված թվանշանները ցույց են տալիս, թե քանի աստղի վերաբերյալ տվյալներ են օգտագործված։

Աստղասփյուռների լայնացման այդ տեսական կանխագուշակությունը շուտով իր հաստատումն ստացավ աստղասփյուռներում աստղերի շարժումների ուսումնասիրության հիման վրա։

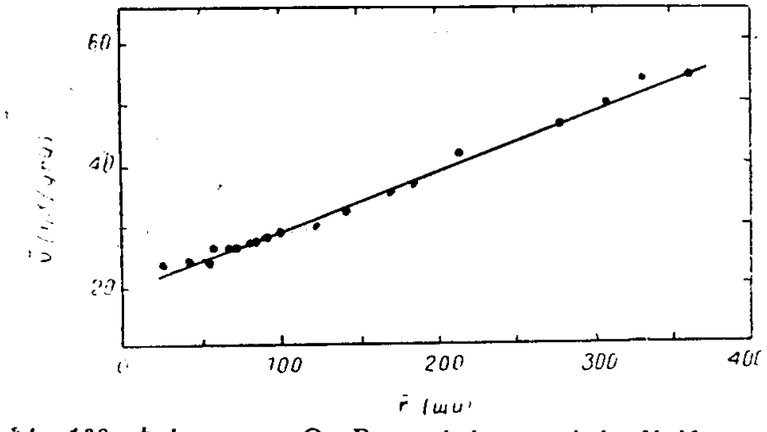
Նկ. 136-ում բերված սխեման, որը հիմնված է աստղերի սեփական շարժումների չափումների վրա, վկայում է ζ Պերսեոսի շուրջը գտնվող աստղասփյուռի լայնացման մասին։

Օրիոնի նշանավոր աստղասփյուռի լայնացումը որոշակիորեն հաստատում են նրա կենտրոնական տիրույթում աստղերի միջին սեփական շարժումները (նկ. 137)։

Աստղասփյուռների անկայունության հետևանքով նրանց քայքայման համար պահանջվող ժամանակամիջոցը, որը որոշվում է նրանց լայնացման արագությունների միջոցով, մի քանի տասնյակ միլիոն տարի է։ Այդ նշանակում է, որ Գալակտիկայում ներկայումս դիտվող աստղասփյուռների տարիքը չի անցնում մի քանի տասնյակ միլիոն տարուց, այլապես նրանք արդեն լրիվ քայքայված կլինեին։

Հետևաբար, աստղասփյուռները և նրանց կազմում գտնվող աստղերը շատ երիտասարդ են։ Այդ իրողությունը թույլ է տալիս հեռավոր աստղասփյուռներում աստղերի տարածական շարժումները ուսումնասիրելու նպատակով օգտագործել նրանց տեսագծային արագությունները։

Իրոք, ենթադրենք, որ նոր ծնված աստղերը տարբեր արագություններով հեռանում են աստղասփյուռների կորիզներից։ Այդ դեպքում աստղերի շարժման դիտվող արագությունները պետք է, միջինում, աճեն աստղասփյուռների կորիզներից հեռանալիս։ Բանն



Նկ. 138. Երիտասարդ O—B դասերի աստղերի միջին տարածական արագության կախումը՝ աստղասփյուռների կորիզներից, նրանց ունեցած հեռավորությունից, որը աստղասփյուռների լայնացման հետևանք է։

այն է, որ աստղասփյուռների կորիզների շուրջը միշտ կլինեն ինչպես փոքր, այնպես էլ մեծ արագություններով շարժվող երիտասարդ աստղեր: Սակայն, կորիզներից հեռանալիս փոքր արագությամբ շարժվող երիտասարդ աստղերի թիվը պետք է աստիճանաբար պակասի, որովհետև նրանք ճանապարհին ծերանում են: Ուստի, կորիզներից բավականաչափ հեռու կարող են գտնվել միայն մեծ արագություններով շարժվող երիտասարդ աստղերը: Հետևաբար, աստղասփյուռների լայնացման դեպքում, երիտասարդ աստղերի արագությունները պետք է, միջինում, համեմատական լինեն աստղասփյուռների կորիզներից նրանց ունեցած հեռավորությանը:

Հենց այդ մասին է վկայում նկ. 138-ը, որը կառուցված է հայտնի տեսագծային արագություններ ունեցող երիտասարդ ջերմհսկա և գերհսկա աստղերի համար:

Այն լիովին հաստատում է O-աստղասփյուռների, առնվազն մեծամասնության, լայնացումը և, հետևաբար, նրանց դինամիկական անկայունությունը:

§ 116. Գալակտիկայի ռադիոճառագայթումը

Գալակտիկայի ռադիոճառագայթումը հիմնականում պայմանավորված է **միջաստղային տարածության** մեջ գտնվող ատոմներով և մոլեկուլներով, առաջին հերթին ամենատարածված տարրի՝ ջրածնի ատոմներով, որոնք, սովորաբար, հանդիպում են առանձին ամպերի ձևով: Աստղերի ճառագայթումը շատ թույլ է ռադիոալիքներում, որի պատճառով այն ոչ մի դեր չի խաղում Գալակտիկայի ընդհանուր ռադիոճառագայթման մեջ:

Ջերմ աստղերի հարևանության մեջ գտնվող ջրածինը մեծ մասամբ գտնվում է իոնացված վիճակում: Այն ռադիոճառագայթման բավական հզոր աղբյուր է: Ջերմային բնույթի այդ ճառագայթումը, որի ալիքների երկարությունը շատ ավելի մեծ է միջաստղային փոշեհատիկների չափերից, միջաստղային տարածության մեջ չի թուլանում (կլանվում), որի շնորհիվ կարող է դիտվել շատ մեծ հեռավորությունների վրա: Գալակտիկայում որևէ ուղղությամբ դիտվող ռադիոճառագայթումը տարբեր հեռավորության վրա գտնվող ջրածնային ամպերի ճառագայթումների գումարն է: Այդ ռադիոճառագայթման հզորությունը կախված է տվյալ ուղղությամբ ռադիոճառագայթող իոնացված ջրածնային ամպերի քանակից ու նրանց խտությունից, այսինքն՝ իոնացված ջրածնի ամբողջ շերտի հաստությունից: Բնականաբար, այն ամենից մեծ է, հետևաբար ռադիոճառագայթումն ունի առավելագույն հզորություն՝ Գալակտիկայի կենտրոնի ուղղությամբ:

Սակայն ինչպես հայտնի է, ջերմ աստղերի շրջապատում գտնվում է միջաստղային ջրածնի մի չնչին մասը: Չեզոք վիճակում գտնվող ջրածնի քանակը Գալակտիկայում անհամեմատ շատ ավելի մեծ է:

Գալակտիկայի կառուցվածքի ուսումնասիրության համար կարևոր նշանակություն ունեցան չեզոք ջրածնի ռադիոճառագայթման հայտնագործումն ու դիտումները: Չեզոք ջրածնի ատոմները միջաստղային պայմաններում, սովորաբար, գտնվում են հիմնական վիճակում և սպեկտրի օպտիկական տիրույթում չեն ճառագայթում: Հետևաբար, նրանք չեն կարող դիտվել սպեկտրի օպտիկական մասում: Այդ նշանակում է, որ օպտիկական մեթոդներով հնարավոր չէ դիտել Գալակտիկայում գտնվող միջաստղային ջրածնի ատոմների ճնշող մեծամասնությունը: Մինչդեռ, այն իր տարածական բաշխմամբ, ընդհանուր գծերով որոշում է Գալակտիկայի կառուցվածքը:

Չեզոք ջրածնի ատոմի հիմնական վիճակը օժտված է էներգիայի երկու ենթամակարդակներով, որոնք իրարից տարբերվում են էլեկտրոնի և պրոտոնի սպինների[34] ուղղություններով: Այդ ենթամակարդակներին համապատասխանող էներգիաների տարբերությունը շատ փոքր է, որի պատճառով նրանց միջև կատարվող անցումների ժամանակ ճառագայթվում կամ կլանվում են փոքր էներգիայի քվանտներ:

Այդ քվանտների հաճախականությունն այնքան փոքր է, իսկ ալիքի երկարությունը այնքան մեծ, որ ճառագայթումը կամ կլանումը կատարվում են սպեկտրի ռադիոտիրույթում: Այդ պատճառով չեզոք ջրածինը կարող է դիտվել միայն ռադիոտիրույթում. նրա մոնոխրոմատիկ (մոնոխրոմատիկ) ռադիոճառագայթումը կատարվում է 21 սմ երկարություն ունեցող ալիքի սպեկտրալ գծում:

Գալակտիկայում չեզոք ջրածնի ամպերի 21 սմ երկարություն ունեցող ալիքի ռադիոգծի դիտումներից կարելի է որոշել նրա ինտենսությունը, իսկ այդ գծի դոպլերյան շեղումից՝ ճառագայթող ամպի տեսագծային արագությունը: Այնուհետև գծի ինտենսության միջոցով որոշվում է այդ գիծը ճառագայթող ջրածնի ատոմ-

[34] Սպին է կոչվում շարժման քանակի սեփական մոմենտը:

ների թիվը, իսկ տեսագծային արագության միջոցով, Օորտի բանաձևի օգնությամբ, նաև այդ ատոմների միջին հեռավորությունը։

Այդ եղանակով չեզոք ջրածնի մեներանգ ռադիոճառագայթման դիտումներից որոշվել է նրա տարածական բաշխումը Գալակտիկայում։ Ցավոք, այդ մեթոդը անզոր է Գալակտիկայի կենտրոնի ու հակակենտրոնի, ինչպես նաև նրանցից 90°-ով տարբերվող ուղղությունների համար։ Ինչպես հետևում է Օորտի բանաձևից այդ չորս ուղղություններում Գալակտիկայի պտտմամբ պայմանավորված տեսագծային արագությունը, անկախ ջրածնի ատոմների շարժման արագություններից, հավասար է զրոյի։

Միջաստղային ջրածինը, ինչպես չեզոք, այնպես էլ իոնացված, գտնվում է Գալակտիկայի պարուրաթևերում, նա հիմնականում շատ բարակ (150—200 պս) շերտով բաշխված է Գալակտիկայի հարթության շուրջը։ Նրա միջին խտությունը 10^{-23} գ/սմ^3 է, այսինքն՝ ընդամենը մեկ ատոմ 1 խորանարդ սանտիմետրում։ Փոքր չափերի (միջին տրամագիծը շուրջ 10 պս) առանձին ամպերում ջրածնի խտությունը մեկ կարգով բարձր է՝ 10—20 ատոմ/սմ^3։

Գալակտիկայի գազային ամպերում բացի ջրածնից հայտնաբերվել են նաև տարբեր քիմիական միացությունների մոլեկուլներ։ Այդ հայտնագործումը նույնպես կախված էր համապատասխան մոլեկուլների մեներանգ ռադիոճառագայթման դիտումների հետ։ Օրինակ, հիդրօքսիլի (OH) մոլեկուլը ճառագայթում է շուրջ 18 սմ ալիքի երկարություն ունեցող գծում, ջրի մոլեկուլը՝ 1,35 սմ գծում, ֆորմալդեհիդի (H_2CO) մոլեկուլը՝ 6,1 սմ գծում և այլն։ Միջաստղային մոլեկուլների ռադիոճառագայթման դիտումները չափազանց կարևոր են Գալակտիկայում նրանց բաշխման, ինչպես նաև տիեզերական նյութի քիմիական էվոլյուցիայի ուսումնասիրության տեսակետից։

Ջրածնի և քիմիական տարբեր մոլեկուլների ռադիոճառագայթումը իր բնույթով ջերմային է։ Այն խտանում է դեպի Գալակտիկայի սիմետրիայի հարթությունը, որի շուրջը դասավորված են ճառագայթման աղբյուրները՝ գազային ամպերը։

Սակայն, Գալակտիկայում դիտվում է նաև ոչ ջերմային բնույթի և համասեռ բաշխված ռադիոճառագայթում, որը դեպի սիմետրիայի հարթություն համեմատաբար քիչ է խտանում։ Այն գալիս է բոլոր ուղղություններից և բավական հզոր է երկար ալիքներում։ Գալակտիկայի ոչ ջերմային ռադիոճառագայթման աղբյուրները դեռևս չեն բացահայտվել։ Ենթադրվում է, որ այն հարուցվում է տիեզերական (կոսմիկական) ճառագայթների կողմից, որոնք լույսի արագությանը մոտ արագություններով շարժվող տարրական մասնիկներ (էլեկտրոններ, պրոտոններ և այլն) են։ Նրանք գրեթե հավասարաչափ լցնում են մեր դիտումների համար մատչելի տիեզերական տարածությունը։

Գալակտիկայում ուժեղ ռադիոճառագայթում դիտվում է նաև որոշ երկնային մարմիններից։

Ռադիոճառագայթման շատ հզոր աղբյուր է, օրինակ, նշանավոր Խեցգետնաձև միգամածությունը, որը ինչպես արդեն նշվել է, առաջացել է Գալակտիկայում բռնկված Գերնոր աստղից դուրս շպրտված գազանյութից։ Այս միգամածության ռադիոճառագայթումն իր բնույթով ջերմային չէ։ Այն սինխրոտրոն ճառագայթում է, որը ծնվում է, երբ միգամածության մեջ շարժվող մեծ էներգիայի էլեկտրոնների (ռելատիվիստական էլեկտրոններ) շարժումը արգելակվում է միգամածության մագնիսական դաշտի կողմից։

Սինխրոտրոնային բնույթի ռադիոճառագայթման աղբյուրներ են ընդհանրապես բոլոր Գերնորերի բռնկումների հետևանքով առաջացած մեծ արագությամբ լայնացող գազային թաղանթները։ Մասնավորապես այդ բնույթն ունի հյուսիսային երկնակամարի ամենահզոր, Կասիոպեա A ռադիոաղբյուրը։ Ներկայումս Գալակտիկայում հայտնի են ավելի քան 100 այդպիսի ռադիոաղբյուր, որոնք տարածության մեջ դասավորված են Գալակտիկայի հարթությանը մոտ։

Գլուխ X

ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐ

Մեր դարի 20-ական թվականներին պարզվեց, որ երկնքում դիտվող մշուշոտ օբյեկտների մի զգալի մասն իր բնույթով խիստ տարբերվում է գազա-փոշային միգամածություններից։ Մի շարք պայծառ օբյեկտներում հաջողվեց (2,5 մ տրամագծով խոշորագույն աստղադիտակի միջոցով) դիտել առանձին աստղեր։ Մոտակա օբյեկտների կազմում հայտնաբերվեցին Նոր ու Գերնոր, տարբեր դասերի գերհսկա աստղեր, ցեֆեիդներ, գազային միգամածություններ և գնդաձև աստղակույտեր։ Այսպիսով հիշյալ «միգամածությունների» աստղային կազմի և չափերի որոշման հիման վրա ապացուցվեց, որ նրանք իրականում մեր Գալակտիկայից դուրս գտնվող, նույն բնույթի հսկայական աստղային համակարգեր են՝ գալակտիկաներ։

Գալակտիկաների տեսանելի բաշխումը երկնակամարում գրեթե հավասարաչափ է։ Բացառություն է կազմում Միր Կաթնի շերտը, որտեղ Գալակտիկայում լույսի կլանման պատճառով գալակտիկաներ չեն դիտվում։ Այդ տիրույթը գալակտիկաների համար յուրօրինակ «խուսափման գոտի» է։ Միայն վերջերս, ինֆրակարմիր ճառագայթներում կատարված դիտումների շնորհիվ հաջողվեց «խուսափման գոտում» հայտնաբերել մի քանի մոտակա գալակտիկաներ։

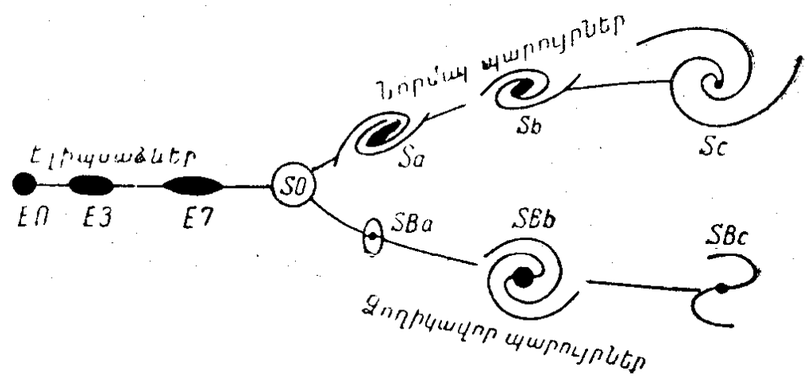
§ 117. Գալակտիկաների դասակարգումը

Գալակտիկաներն իրարից տարբերվում են իրենց տեսքով։ Ամերիկացի աստղագետ Հաբլը բոլոր գալակտիկաներն ըստ տեսքի բաժանեց երեք հիմնական դասի՝ էլիպսաձև (E), պարուրաձև (S) և անկանոն (Ir)։

Էլիպսաձև գալակտիկաները տարածության մեջ ունեն պտտվող էլիպսոիդի ձև, իսկ լուսանկարների վրա՝ կանոնավոր էլիպսի տեսք և դեպի կենտրոնը աճող պայծառություն։ Ըստ էլիպսի սեղմվածության աստիճանի էլիպսաձև գալակտիկաները բաժանվում են ենթադասերի։ Էլիպսաձև գալակտիկայի սեղմվածությունը (ենթադասը) որոշվում է էլիպսի մեծ (a) և փոքր (b) կիսառանցքների միջոցով, հետևյալ արտահայտությունից՝

$$10\,\frac{a-b}{a}.$$

Երբ a և b կիսառանցքներն իրար հավասար են, ապա գալակտիկայի սեղմվածությունը զրո է, նա շրջանաձև է։ Այդ դեպքում գալակտիկայի ենթադասը E0 է։ Ամենամեծ սեղմվածությունը դիտվում է E 7 ենթադասի էլիպսաձև գալակտիկաների մոտ։ Մնացած բոլոր էլիպսաձև գալակտիկաները դասակարգվում են E0 և E 7 ենթադասերի միջև (E 1, E 2, ..., E 6)։ Տարբեր է, սակայն, մեծ սեղմվածություն ունեցող այն էլիպսաձև գալակտիկաների նշանակումը, որոնց կենտրոնական մասում դիտվում է զգալի խտացում՝ S0։



Նկ. 139. Գալակտիկաների դասերի հաջորդականությունն ըստ Հաբլի։

Էլիպսաձև գալակտիկաներում աստղային բնակչությունը գերազանցապես պատկանում է սֆերիկական ենթահամակարգին։ Նրանք շատ հարուստ են կարմիր հսկա աստղերով, RR Քնարի տիպի փոփոխականներով և գնդաձև աստղակույտերով։ Ջերմ հսկա և գերհսկա աստղեր էլիպսաձև գալակտիկաներում չկան։ Այս գալակտիկաները շատ աղքատ են նաև միջաստղային նյութով։

Պարուրաձև գալակտիկաների կառուցվածքի համար բնորոշ է պայծառ պարուրաթելերի առկայությունը։ Տարածության մեջ պարուրաձև գալակտիկաներն ունեն սկավառակի ձև։ Կախված պարուրաթելերի զարգացման աստիճանից այդ գալակտիկաները բաժանվում են երեք ենթադասի, որոնք նշանակվում են համապատասխանաբար՝ Sa, Sb և Sc։

Պարուրաձևերը գտնվում են գալակտիկայի սկավառակաձև մասի սիմետրիայի հարթության մեջ և շատ չեն տարածվում նրան

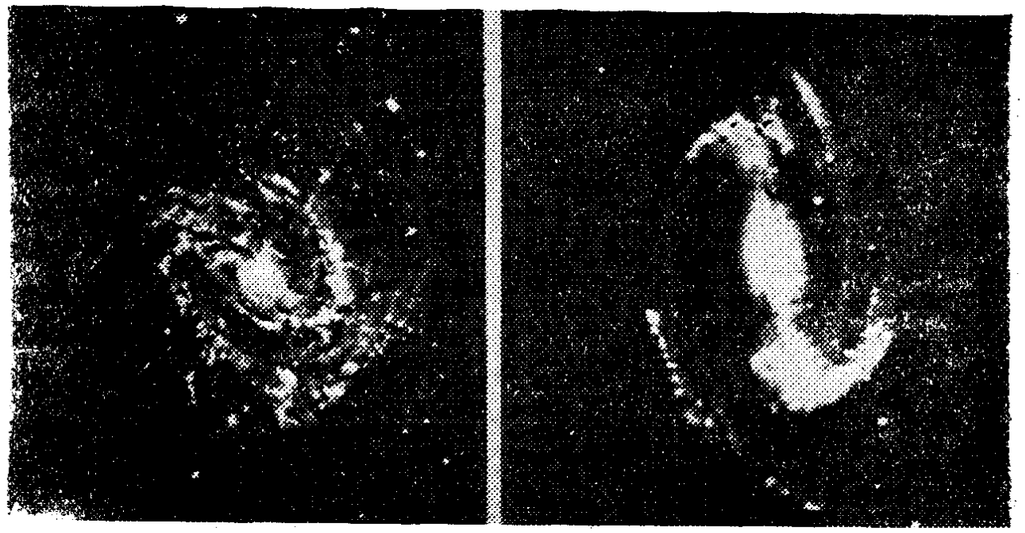
Նկ. 140. NGC 148 էլիպսաձև գալակտիկան։

Նկ. 141. NGC 3031 (M 81) պարուրաձև (Sb) գալակտիկան, Մեծ Արջի համաստեղությունում։

ուղղահայաց ուղղություններով։ Պարուրաթևերը շատ թույլ են զարգացած Sa ենթադասի գալակտիկաններում, ավելի լավ՝ Sb ենթադասում և ամենից լավ են զարգացած Sc ենթադասի գալակտիկաններում։ Sa—Sb—Sc անցման ժամանակ դիտվում է նաև գալակտիկայի կենտրոնական խտացման պայծառության և չափերի աստիճանական նվազում։ Ամենապայծառ և ամենամեծ խտացումները դիտվում են Sa գալակտիկաններում, իսկ ամենաթույլ և ամենափոքր խտացումները՝ Sc գալակտիկաններում։ Այդ տեսակետից ևս Sb գալակտիկանները զբաղեցնում են միջանկյալ դիրք։

Պարուրաձև գալակտիկաններն ունեն յուրօրինակ աստղային բնակչություն։ Նրանց մեջ գերակշռում են հարթ ենթահամակարգին պատկանող օբյեկտները։ Պարուրաթևերի դիտվող ամենաբնորոշ առանձնահատկությունը O աստղասփյուռներն են, որոնք դասավորված են թևերի ուղղությամբ։ Միջթևային տարածության մեջ ջերմ հսկա ու գերհսկա աստղեր փաստորեն չկան։ Պարուրաթևերը հարուստ են նաև ցեֆեիդներով և միջաստղային գազա-փոշային նյութով, որը խտացված է գալակտիկայի սիմետրիայի հարթության շուրջը։ Պարուրաձև գալակտիկաններում, սֆերիկական

ենթահամակարգի աստղային բնակչությունը գտնվում է միայն նրբանց կենտրոնական տիրույթներում և ընդհանուր ծավալի շուրջը։



Նկ. 142. NGC 5236 (M83) պարուրաձև (S_c) գալակտիկան, Հիդրայի համաստեղությունում։ Գալակտիկայի պարուրաթևերում դիտվող խտացումները ջերմ հսկաներից ու գերհսկաներից կազմված աստղասփյուռներ են։

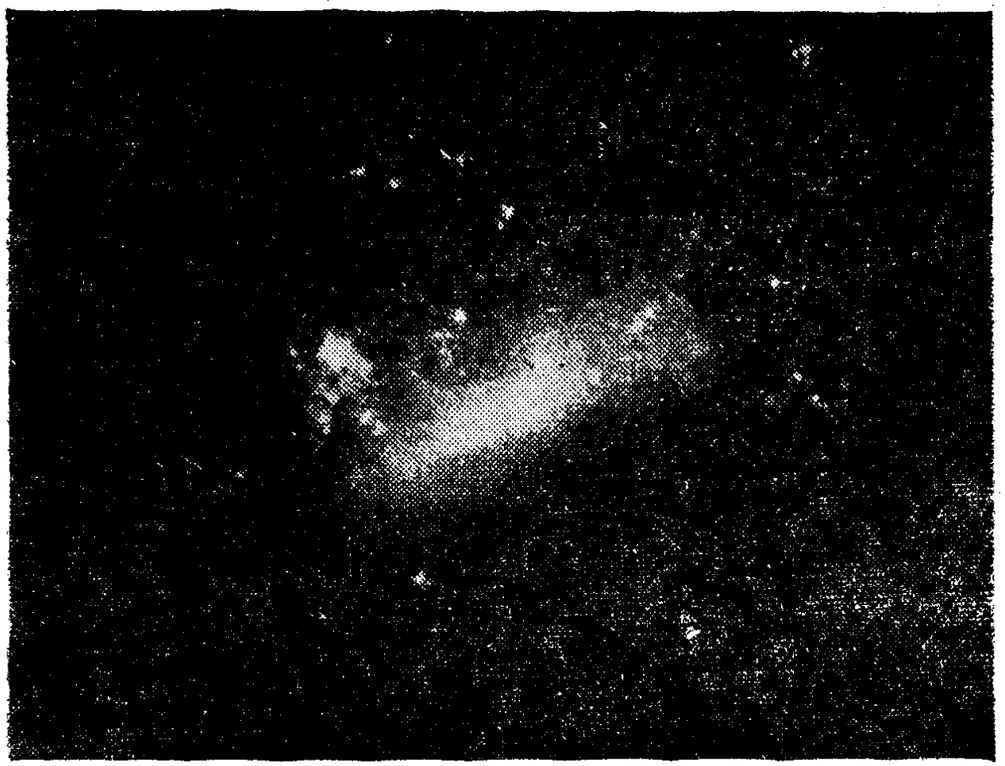
Նկ. 143. NGC 1300 ձողիկավոր (պարուրաձև) գալակտիկան, Էրիդանի համաստեղությունում։

Ըստ ժամանակակից տվյալների, մեր Գալակտիկան Sb ենթադասի պարուրաձև գալակտիկա է։ Նույն ենթադասին է պատկանում Անդրոմեդայի մեծ գալակտիկան։

Պարուրաձև գալակտիկաների մի հատուկ ենթադաս են կազմում ձողիկավոր գալակտիկանները, որոնց պարուրաթևերը ըսկզբվում են ոչ թե գալակտիկայի կենտրոնական մասում, ինչպես սովորական պարուրաձև գալակտիկաներում, այլ նրանց կենտրոնը ընդգրկող և աստղային բնակչություն ունեցող մի ձողիկից (նկ. 143)։ Ձողիկավոր գալակտիկանները (նշանակվում են SB), ըստ պարուրաթևերի զարգացման աստիճանի, նույն ձևով բաժանվում են երեք ենթադասի՝ SBa, SBb և SBc։

Անկանոն գալակտիկաների դասի համար, նրանց անվանմանը համապատասխան, բնորոշ է կանոնավոր և սիմետրիկ ձևի բացակայությունը։ Ըստ ձևի նրանք շատ բազմազան են։ Անկանոն գալակտիկաներն ըստ աստղային բնակչության համասեռ չեն։ Կան անկանոն գալակտիկաներ, որոնք հիմնականում ունեն հարթ են-

թահամակարգի բնակչություն։ Կան նաև անկանոն գալակտիկաներ, որոնց բնակչությունը գերազանցապես պատկանում է սֆերիկ ենթահամակարգին։



Նկ. 144. Մագելանի Մեծ Ամպ անկանոն գալակտիկան, մեր Գալակտիկայի արբանյակներից մեկը։

Մոտակա գալակտիկաների մեծ մասը պատկանում է պարուրաձև գալակտիկանների դասին։ Այդ մասին է վկայում շուրջ 1500 մոտակա պայծառ գալակտիկանների բաշխումը՝ ըստ Հաբլի ձևաբանական դասերի (աղյուսակ 6)։

Աղյուսակ 6

Մոտակա պայծառ գալակտիկաների բաշխումը ըստ Հաբլի դասակարգման

	E	S	S0	Ir	Ընդամենը
Քանակ	199	934	329	66	1528
%	13	61	22	4	100

Այս բաշխումն ընդգրկում է հարևան այն բոլոր գալակտի-

կանները, որոնք ունեն միջին կամ բարձր լուսատվություն և շատ փոքր թվով մոտակա ցածր լուսատվության գալակտիկաներ։

Մեզ ամենամոտ գալակտիկաները՝ Մեծ և Փոքր Մագելանյան Ամպերը, որոնք մեր Գալակտիկայի արբանյակներն են, պատկանում են անկանոն գալակտիկաների դասին[35]։

Ներկայումս մշակվել են գալակտիկաների ավելի մանրամասն մի քանի տարբեր դասակարգումներ։ Սակայն Հաբլի դասակարգումը շատ ավելի պարզ է և օգտագործվում է գալակտիկաների որակական նկարագրության համար։

§ 118. Գալակտիկաների հեռավորությունները։ Կարմիր շեղման երևույթը

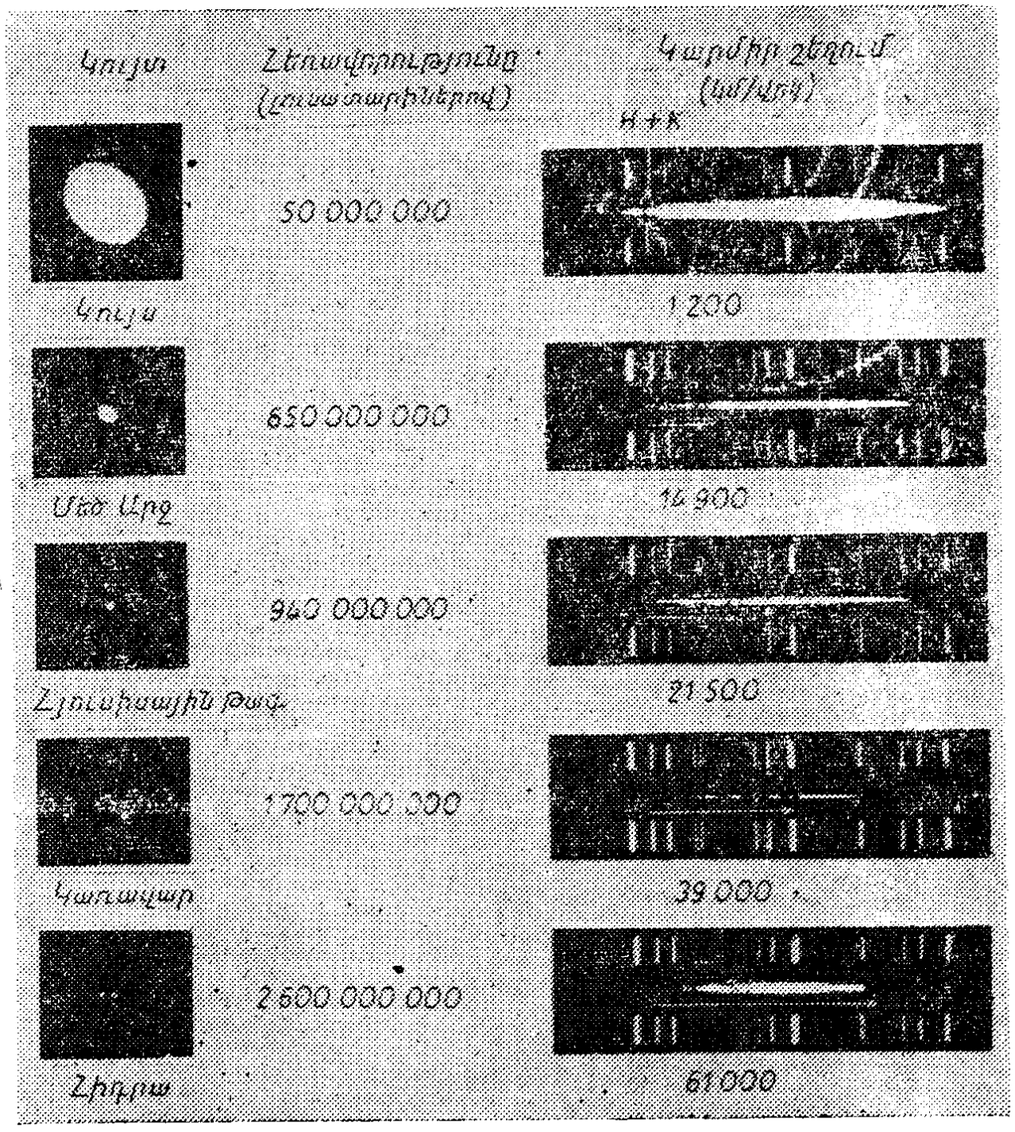
Մոտակա գալակտիկաների հեռավորությունները կարելի է որոշել նրանց մեջ դիտվող բարձր լուսատվության առանձին աստղերի (ցեֆեիդներ, Նոր և Գերնոր աստղեր, գերհսկաներ) կամ աստղակույտերի միջոցով։ Այդ աստղերի հեռավորությունները մեծ ճշտությամբ համընկնում են համապատասխան գալակտիկաների հեռավորությունների հետ, քանի որ այդ գալակտիկաների չափերը, մեծ մասամբ, շատ փոքր են նրանց հեռավորությունների համեմատ։ Շատ հաճախ գալակտիկաների հեռավորությունները որոշվում են նրանց մեջ դիտվող ցեֆեիդների դիտումների հիման վրա։ Դիտումներից որոշվում է ցեֆեիդի պայծառության պարբերությունը, իսկ «լուսատվություն-պարբերություն» հայտնի կապի միջոցով, պարբերության հիման վրա՝ նրա լուսատվությունը կամ բացարձակ մեծությունը։ Ապա հետո, աստղի բացարձակ և տեսանելի աստղային մեծությունների օգնությամբ, (9.1) կապից, հաշվում են նրա հեռավորությունը, որը և ընդունվում է որպես այդ ցեֆեիդը պարունակող գալակտիկաների հեռավորություն։

Գալակտիկայի հեռավորությունը ավելի կոպիտ կարելի է որոշել, ընդունելով որպես միջին հեռավորության ցուցանիշ նրա ընդհանուր պայծառությունը կամ չափերը։ Այլ կերպ ասած, կարելի է ընդունել, որ որքան գալակտիկան թույլ է և նրա անկյունային չափերը փոքր են, այնքան մեծ է նրա հեռավորությունը։ Այս մեթոդը շատ կոպիտ է, որովհետև, իրականում, գալակտիկաների լուսատվությունները և չափերը խիստ բազմազան են։

Հեռավոր գալակտիկաներում, որտեղ առանձին աստղեր չեն

[35] Վերջին հետազոտությունների համաձայն Մեծ Մագելանյան Ամպում հայտնաբերվել են պարուրաթևերի հետքեր։

դիտվում, հեռավորությունների որոշման միակ ճշգրիտ մեթոդը հիմնված է, այսպես կոչված, կարմիր շեղման կամ Հաբլի օրենքի կիրառության վրա։



Նկ. 145. Գալակտիկաների սպեկտրներում գծերի կարմիր շեղման կապը նրանց հեռավորությունից։ Ձախից ներկայացված են առանձին կույտերի պլհավոր գալակտիկաների լուսանկարները, իսկ աջից՝ նրանց սպեկտրները։ Յուրաքանչյուր գալակտիկայի սպեկտրի վերևից և ներքևից նկարահանված են ճառագայթման լաբորատոր աղբյուրների սպեկտրները, որոնց միջոցով չափվում են այդ շեղումները։ Գալակտիկաների սպեկտրների վրա հորիզոնական սլաքներով ցույց են տրված իոնացված կալցիումի H և K գծերի դիտվող շեղումները նրանց նորմալ դիրքի նկատմամբ։ Գալակտիկաների տեսագծային արագությունները հաշվված են Դոպլերի բանաձևով, իսկ հեռավորությունները՝ Հաբլի բանաձևով, արագությունների միջոցով։

Գալակտիկաների սպեկտրների առաջին դիտումներից արդեն հայտնի էր, որ նրանց մեծամասնության սպեկտրներում գծերը ղգալիորեն շեղված են դեպի սպեկտրի կարմիր մասը (կարմիր շեղում)։

Եթե ենթադրենք, որ գալակտիկաների սպեկտրներում գծերի դիտվող շեղումները, դեպի սպեկտրի կարմիր մասը նրանց նորմալ դիրքի նկատմամբ՝ ունեն դոպլերյան բնույթ, այսինքն պայմանավորված են նրանց տարածական շարժումներով, ապա այդ շեղումները վկայում են, որ բոլոր գալակտիկաները մեզնից հեռանում են։

Այդ ենթադրության դեպքում դիտվող կարմիր շեղումների հիման վրա, Դոպլերի (2.8) բանաձևով, կարելի է որոշել գալակտիկաների շարժման տեսագծային արագությունները՝

$$V_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c: \qquad (2.8)$$

Գալակտիկաների այդ բանաձևով որոշված տեսագծային արագությունների ուսումնասիրությունը բացահայտեց մի չափազանց կարևոր օրինաչափություն։ Պարզվեց, որ որքան մեծ է գալակտիկայի հեռավորությունը, այնքան մեծ է նրա հեռացման տեսագծային արագությունը։

Հիշյալ օրինաչափությունը, որը ստացել է կարմիր շեղման կամ Հաբլի օրենք անվանումը, արտահայտվում է

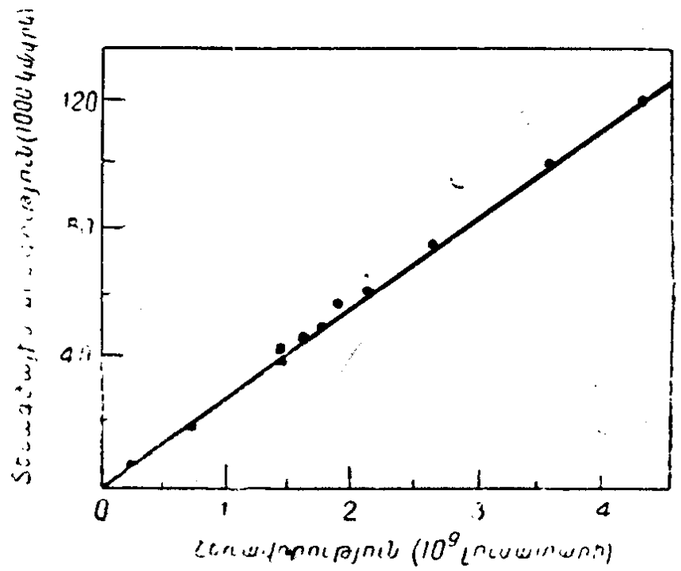
$$V_r = Hr \qquad (10.1)$$

բանաձևով, որտեղ՝ V_r-ը, առաջվա պես, գալակտիկայի տեսագծային արագությունն է, r-ը՝ նրա հեռավորությունը, իսկ H-ը՝ համեմատականության գործակիցը, որը կոչվում է Հաբլի հաստատուն։

Ներկայումս արդեն չափված են ավելի քան 1000 գալակտիկաների կարմիր շեղումները, որոնք լիովին հաստատում են Հաբլի օրենքը (նկ. 146)։

Հաբլի օրենքը, սակայն, ընդհանուր վիճակագրական օրինաչափություն է. նա ճիշտ է միայն միջինում։ Առանձին գալակտիկաների սեփական տարածական շարժումներին համապատասխան տեսագծային արագությունները շեղվում են Հաբլի օրենքից։ Այդ շեղումները հատկապես զգալի են մոտակա գալակտիկաների համար, որոնց հեռանալու արագությունները փոքր են։ Նրանց մեջ հանդիպում են նաև այնպիսի գալակտիկաներ, որոնց տեսագծա-

յին արագությունները բացասական են, այսինքն՝ սեփական տարածական արագությունները գերազանցում են Հաբլի օրենքով բնպասվող արագությունները և ունեն հակառակ ուղղություն։



Նկ. 146. Գալակտիկաների տեսագծային արագությունների կախումը նրանց հեռավորությունից (Հաբլի օրենք)։ Կախումը ստացված է ավելի քան 1000 գալակտիկաների սպեկտրների չափումներից։

Հաբլի հաստատունի արժեքը որոշվում է համեմատաբար մոտ գտնվող գալակտիկաների տեսագծային արագությունների ու հեռավորությունների հիման վրա։ Եթե գալակտիկայի տեսագծային արագությունն արտահայտենք կմ/վրկ-ներով, իսկ հեռավորությունը միլիոն պարսեկներով՝ մեգապարսեկներով (Մպս), ապա Հաբլի հաստատունի ժամանակակից արժեքը հավասար է 50 կմ/վրկ Մպս։

Այդ դեպքում, Հաբլի օրենքից հետևում է, որ գալակտիկանեբի հեռավորության յուրաքանչյուր միլիոն պարսեկ աճին համապատասխանում է միջին տեսագծային արագության 50 կմ/վրկ չափով աճ։

Այսպիսով, գալակտիկանների հեռավորությունները համեմատական են նրանց տեսագծային արագություններին, իսկ համեմատականության գործակիցը՝ Հաբլի հաստատունը միարժեք որոշում է հեռավորությունների (և չափերի) սանդղակը՝ Տիեզերքում։

Հաբլի հաստատունի արժեքի ամեն մի ճշտում բերում է այդ սանդղակի փոփոխության։ Հաբլի հետազոտություններից հետո անցած կես դարում H-ի արժեքը, ճշտումներից հետո, շուրջ 10

անգամ փոքրացել է իր՝ Հաբլի որոշման (H=540 կմ/վրկ Մպս) համեմատ։ Համապատասխանաբար նույնքան անգամ մեծացել է հիշյալ սանդղակը։ Բոլոր արտագալակտիկ օբյեկտները իրականում գտնվում են ավելի հեռու և ավելի մեծ ու պայծառ են, քան ընդունվում էր Հաբլի ժամանակ։ Հասկանալի է, որ այդ փոփոխությունը չի վերաբերում մեր Գալակտիկային, որի չափերը որոշվում են անմիջականորեն։

Անհրաժեշտ է ընդգծել, որ կարմիր շեղման Հաբլի օրենքը (10.1), որը ցույց է տալիս բոլոր արտագալակտիկ օբյեկտների հեռացող շարժումները, իրականում արտացոլում է գալակտիկաների փոխադարձ հեռավորությունների աստիճանական աճը ժամանակի ընթացքում, այսինքն՝ վկայում է մեր շրջակայքում բոլոր օբյեկտների ընդհանրության լայնացման մասին։ Սակայն, այդ բանը ամենևին էլ չի նշանակում, թե մենք գտնվում ենք մեր դիտումների համար մատչելի ծավալում գտնվող բոլոր գալակտիկաների ու նրանց ֆիզիկական համակարգերի ամբողջության կենտրոնում։ Այդ հսկայական համակարգի կամ ինչպես անվանում են Մետագալակտիկայի բոլոր կետերն այդ տեսակետից հավասարազոր են։ Ուստի, կարմիր շեղման նույն երևույթը կդիտվի Մետագալակտիկայի ամեն մի կետում։

§ 119. Գալակտիկաների չափերը, լուսատվությունները և զանգվածները

Գալակտիկաներն իրենց չափերով խիստ բազմազան են։ Նրանց տրամագծերը փոփոխվում են մի քանի հարյուր պարսեկից (թզուկ գալակտիկաներ) մինչև մի քանի տասնյակ հազար պարսեկ (գերհսկա գալակտիկաներ)։ Աստղերի թիվը գալակտիկաներում փոփոխվում է մի քանի հազարից մինչև մի քանի հարյուր միլիարդ։ Գալակտիկաների ճնշող մեծամասնությունը կազմում են թզուկները, շատ ավելի հազվադեպ են հանդիպում հսկա գալակտիկաները, իսկ գերհսկա գալակտիկաների թիվը անհամեմատ փոքր է։

Գալակտիկաներում աստղերի ընդհանուր թվերի խիստ տարբերությունների հետևանքով նրանց լուսատվությունները փոփոխվում են զգալի սահմաններում։ Գերհսկա գալակտիկաներում, որտեղ աստղերի թիվը հասնում է մինչև մի քանի հարյուր միլիարդի, լուսատվությունը երբեմն նույնքան անգամ գերազանցում է Արեգակի լուսատվությանը (բացարձակ աստղային մեծությունը փոքր է —21,0-ից)։ Որոշ դեպքերում հանդիպում

են նաև զգալիորեն ավելի բարձր լուսատվության գալակտիկաներ։ Մինչդեռ կան գալակտիկաներ, որոնց լուսատվությունն ընդամենը մի քանի հարյուր անգամ է գերազանցում Արեգակի լուսատվությանը։

Նկ. 147. Անդրոմեդայի գալակտիկան (NGC 224—M31), մոտակա պարուրաձև գալակտիկաներից մեկը, իր արբանյակների՝ NGC 221 (M 32) և NGC 205 էլիպսաձև գալակտիկաների հետ։

Անզեն աչքով դիտվող Անդրոմեդայի գալակտիկան («միգամածությունը»), որը պարունակում է շուրջ 400 միլիարդ աստղ (նկ. 147) և մեր Գալակտիկան (շուրջ 100 միլիարդ աստղ) գերհսկա գալակտիկաներ են։

Գալակտիկանների զանգվածները կարելի է որոշել տարբեր մեթոդներով։

Զանգվածների որոշման ամենապարզ մեթոդը հիմնված է գալակտիկանների լուսատվության գնահատականների վրա։ Ենթադրելով, որ գալակտիկայի համար զանգված-լուսատվություն հարաբերությունն ունի որոշակի, ասենք, Արեգակի տիպի աստղերին մոտ ($M/L=1$) արժեք, գալակտիկայի լուսատվության (L) միջոցով այնուհետև կարելի է հաշվել նրա զանգվածը (M)։ Այլ կերպ ասած, ընդունելով, որ գալակտիկայի միավոր զանգվածի ճառագայթումը մոտ է Արեգակի միավոր զանգվածի ճառագայթմանը, կարելի է որոշել նրա զանգվածն ընդհանուր լուսատվության միջոցով։ Այս մեթոդը բավական կոպիտ է, որովհետև գալակտիկաների համար M/L հարաբերությունը, իրականում փոփոխվում է լայն սահմաններում (0,1-ից մինչև մի քանի տասնյակ և ավելի)։

Գալակտիկանների զանգվածները կարելի է գնահատել նրանց պտույտի օգնությամբ։

Բոլոր գալակտիկանները, մեր Գալակտիկայի նման, պտտվում են իրենց ծանրության կենտրոնի շուրջը։ Գալակտիկանների պտույտը ուսումնասիրվում է նրանց սպեկտրների հիման վրա, Դոպլերի սկզբունքի միջոցով։ Բացի այն հազվագյուտ դեպքից, երբ գալակտիկայի պտտման հարթությունը ուղղահայաց է դիտողի տեսագծին, մնացած դեպքերում գալակտիկայի պտույտի հետևանքով նրա կենտրոնից տարբեր հեռավորության վրա գտնվող տիրույթներն ունեն տարբեր տեսադծային արագություններ, որոնց չափումներից հաջողվում է գաղափար կազմել գալակտիկայի պրտտման օրենքի մասին։

Պարզության համար ընդունելով, որ գալակտիկայի պտույտը տեղի է ունենում Կեպլերի օրենքով և նրա յուրաքանչյուր կետում կենտրոնաձիգ և կենտրոնախույս արագացումներն իրար հավասար են, կարող ենք գրել՝

$$\frac{GM}{R^2}=\frac{V^2}{R}\ : \qquad (10.2)$$

(10.2) արտահայտության ձախ մասում կենտրոնաձիգ արագացումը որոշված է Նյուտոնի օրենքից՝ G-ն ձգողականության հաստատունն է, M-ը գալակտիկայի քննարկվող կետից ներս գտնվող զանգվածը, իսկ R-ը տվյալ կետի հեռավորությունը գալակտիկայի կենտրոնից։ Աջ մասում կենտրոնախույս արագացումը արտահայտված է քննարկվող կետի պտտման միջին արագությամբ՝ V գալակտիկայի կենտրոնի շուրջը և նրա R հեռավորությամբ։

(10.2) հավասարությունից հեշտությամբ որոշվում է M զանգվածը՝

$$M = \frac{RV^2}{G}. \qquad (10.3)$$

Եթե (10.3) բանաձևում վերցնենք R-ը հավասար գալակտիկայի շառավղին, իսկ V-ն պտտման արագությանը նրա եզրում, ապա այն կորոշի գալակտիկայի ընդհանուր զանգվածը (M)։

Վերջապես, այն բազմագալակտիկաների կամ գալակտիկաների կուտերի համար, որոնք գտնվում են դինամիկական տեսակետից կայուն վիճակում, նրանց կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների միջև գոյություն ունի որոշակի կապ (Վիրիալի թեորեմ)։ Այդ կապի միջոցով գալակտիկաների շարժման միջին արագությունների հիման վրա կարելի է գնահատել խմբի անդամ գալակտիկաների միջին զանգվածները։

Աղյուսակ 7-ում ներկայացված են մեր Գալակտիկայի և մի շարք պայծառ գալակտիկաների զանգվածներն ու լուսատվությունները։ Այն ցույց է տալիս, որ գոյություն ունեն լուրջ տարբերություններ ինչպես գալակտիկաների զանգվածների ու լուսատվությունների, այնպես էլ նրանց զանգված-լուսատվություն առնչության արժեքների միջև։ Այդ աղյուսակում բոլոր նշանակումները մեզ արդեն ծանոթ են, իսկ m_{pg}-ն գալակտիկայի աստղային մեծությունն է լուսանկարչական ճառագայթներում։

Աղյուսակ 7

Մի քանի պայծառ գալակտիկաների զանգվածներն ու լուսատվությունները

Գալակտիկա	m_{pg}	r (Մպս)	$M \cdot 10^{-9}$ ($M_\odot=1$)	$L \cdot 10^{-8}$ ($L_\odot=1$)	M/L ($M_\odot/L_\odot=1$)
Գալակտիկա	—	—	100	100	1
Մագելանի Մեծ Ամպ	0.7	0,18	4	25	1,6
Մագելանի Փոքր Ամպ	2.6	0,18	1,3	5	2,6
M 33*	6,2	1,8	6,3	16	4
M 31 (Անդրոմեդա)	4,2	1,8	200	160	13
M 81	7,8	9,0	100	79	13
NGC 4501	9,0	14,4	160	63	25
NGC 3115	10,1	14,4	100	20	50
M 32	9,1	0,18	25	2	125

* M-ը պայծառ աստղակույտերի, միգամածությունների և գալակտիկաների, Ֆրանսիացի աստղագետ Մեսյեի կազմած ցուցակի կրճատ նշանակումն է։

§ 120. Ռադիոգալակտիկաներ և քվազարներ

Մեր Գալակտիկան հիմնականում ճառագայթում է օպտիկական ճառագայթներում։ Նրա ռադիոճառագայթման հզորությունը շատ փոքր է համեմատած օպտիկական ճառագայթման հետ։ Սակայն կան գալակտիկաներ, որոնց ռադիոճառագայթումը հավասար է կամ նույնիսկ գերազանցում է նրանց օպտիկական ճառագայթմանը։ Այդպիսի հզոր ռադիոճառագայթում արձակող գալակտիկաները, որոնք ստացել են ռադիոգալակտիկաներ անվանումը, մեծ մասամբ էլիպսաձև են և օժտված են շատ բարձր լուսատվությամբ։

Նրանք սովորաբար աչքի են ընկնում նաև իրենց կառուցվածքի անսովոր առանձնահատկություններով։ Օրինակ, Կույսի համաս-

Նկ. 148. Կույս A (NGC 4486) ռադիոգալակտիկան, որի կորիզից դուրս է շպրտվել գալակտիկաների զանգվածների կարգի խտացումներ պարունակող նյութի մի շիթ։

Աղյուսակ 8

Մի քանի ռադիոգալակտիկաների օպտիկական լուսատվություններ

Ռադիոգալակտիկա	V_r (կմ/վրկ)	m_{pg}	M_{pg}
Կարապ A	17098	14,79	—22,9
Վերսեոս A	55293	11,74	—23,3
Կենտավրոս A	261	6,10	—22,5
Կույս A	1218	9,62	—22,3
Վառարան A	1728	9,67	—23,0

տեղության մեջ դիտվող Կույս A* ռադիոգալակտիկայի կենտրոնից դուրս է գալիս մի շիթ, որը կազմված է ցածր լուսատվության

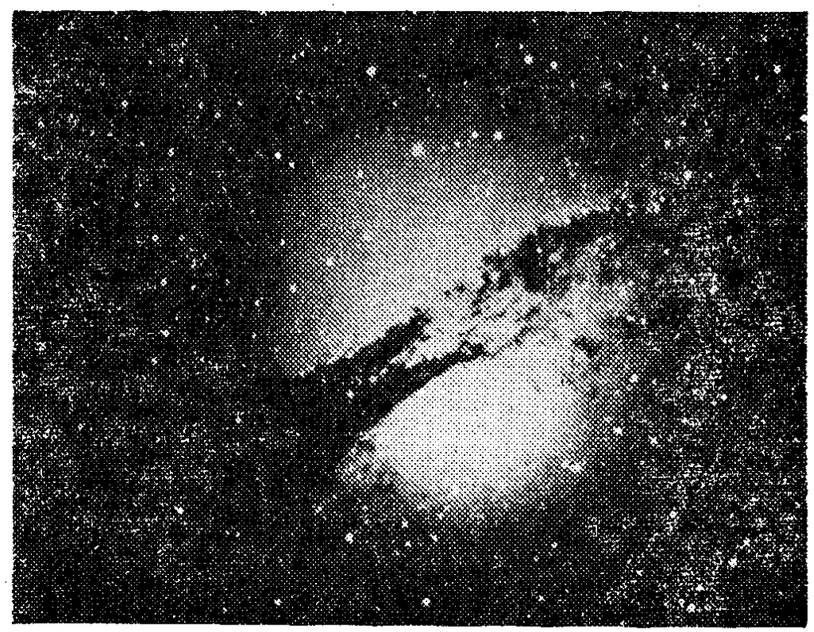
Նկ. 149 Կարապ A ռադիոգալակտիկայի կրկնակի կորիզը։

* Պայծառ ռադիոգալակտիկաները երբեմն կոչվում են այն համաստեղության անունով, որտեղ նրանք դիտվում են։

գալակտիկաների պայծառությանը մոտ պայծառություն ունեցող խտացումներից, իսկ Կարապ A ռադիոգալակտիկան ունի երկու կենտրոնական խտացում՝ կորիզ (նկ. 149)։

Շատ հզոր ռադիոճառագայթմամբ են օժտված նաև տիեզերական ռադիոճառագայթման քվազիաստղային աղբյուրները կամ, այսպես կոչված, քվազարները, որոնք իրենց տեսքով շատ նման են աստղերին։

Քվազարների սպեկտրներում, մեծ մասամբ կլանման գծերից



Նկ. 150. Կենտավրոս A (NGC 5128) ռադիոգալակտիկան, որի կենտրոնում գտնվող փոշե զանգվածն այն բաժանում է երկու կեսի։

բացի, դիտվում են պայծառ գծեր։ Այս սպեկտրների կարևորագույն առանձնահատկությունը, որով նրանք տարբերվում են աստղերից, այն է, որ գծերը խիստ շեղված են դեպի սպեկտրի կարմիր մասը։ Այդ շեղումները սովորաբար շատ ավելի մեծ են, քան ամենահեռավոր գալակտիկաների սպեկտրներում դիտվող շեղումները։

Քվազարների սպեկտրներում գծերի կարմիր շեղումները հաճախ գերազանցում են համապատասխան գծերի ալիքների երկարություններին, այսինքն՝ գծերի հարաբերական շեղումները մեծ են մեկից՝

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} > 1:$$

Այստեղ՝ λ_0-ն գծի լաբորատոր ալիքի երկարությունն է, իսկ $\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0$-ն նրա դիտվող շեղումը։

Այդ շեղումների բացատրության համար ներկայումս ընդունվում է, որ նրանք ունեն դոպլերյան բնույթ, այսինքն՝ պայմանավորված են քվազարների տարածական շարժումներով։ Ուստի, այդ շեղումների միջոցով կարելի է որոշել քվազարների հեռացման արագությունները և գնահատել նրանց հեռավորությունները։

Սակայն, այդ դեպքում Դոպլերի սովորական (2.8) բանաձևը կիրառելի չէ և անհրաժեշտ է կիրառել Դոպլերի օրենքի ռելատիվիստական արտահայտությունը, երբ արագությունները մոտ են լույսի արագությանը։

Ռելատիվիստական դեպքի համար Դոպլերի օրենքը գրվում է

$$\lambda=\lambda_0\sqrt{\frac{1+\frac{V_r}{c}}{1-\frac{V_r}{c}}} \qquad (10.4)$$

տեսքով, որտեղ c-ն լույսի արագությունն է։

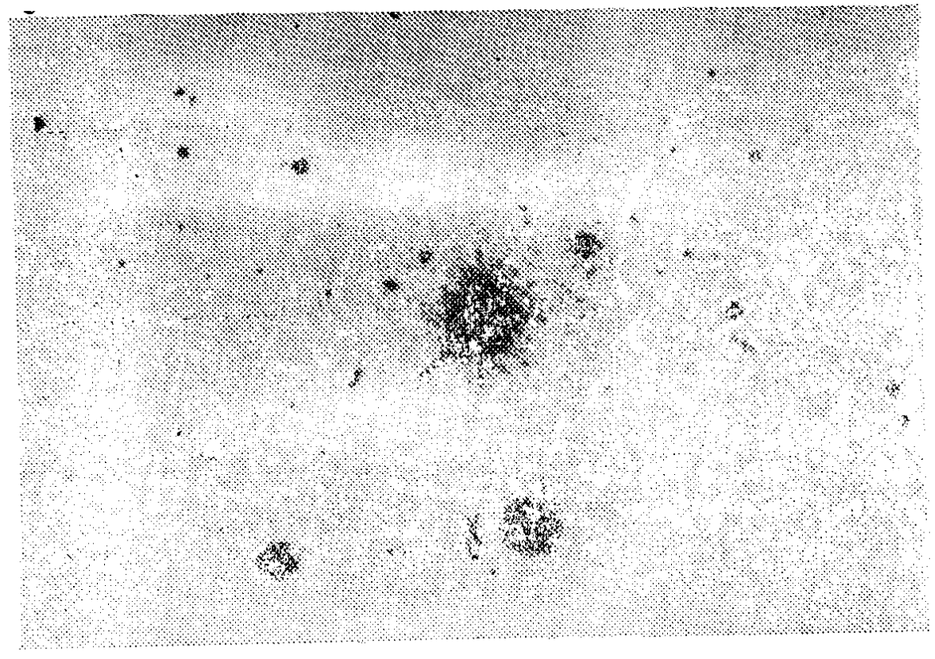
(10.4) հավասարության լուծումը մարմնի V_r տեսագծային արագությանը համապատասխանում է

$$V_r=\frac{(z+1)^2-1}{(z+1)^2+1}c \qquad (10.5)$$

արտահայտությանը, որտեղ՝ z-ը գծի հարաբերական շեղումն է՝ $\Delta\lambda/\lambda$։

Մեզ ամենամոտ քվազարը 3C 273 ռադիոաղբյուրն է[36], որը դիտվում է որպես շուրջ 13 ^{m} պայծառության աստղ (նկ. 151)։ Նրա կարմիր շեղումը հավասար է՝ $z=0{,}158$։ Այդ արժեքին համապատասխանում է 0,158 c տեսագծային արագություն։ Նման մեծ արագությունների համար Հաբլի օրենքը չի ստուգված։ Սակայն, մոտավոր գնահատականը ցույց է տալիս, թե 3C 273 քվազարը գրտնվում է մեկ միլիարդ լուսատարի հեռավորության վրա։

Ամենամեծ կարմիր շեղումները դիտվել են OQ 172 և OH 471 քվազարների[37] սպեկտրներում։ Նրանց համար $z\approx3{,}5$, որը Դոպլերի ռելատիվիստական (10.5) բանաձևի համաձայն, համապատասխանում է $V_r=0{,}9$ c տեսագծային արագություններ։



Նկ. 151. 3C273 քվազարը. երևում է կորիզից արտավիժված նյութի շիթը։

Այսպիսի մեծ արագություն ունեցող մարմնի հեռավորությունը գնահատվում է հավասար առնվազն տաս միլիարդ լուսատարու։

Ուստի, եթե ենթադրենք, որ քվազարները մասնակցում են Մետագալակտիկայի լայնացման երևույթին, ապա պետք է ընդունել, որ նրանք մեզ հայտնի ամենահեռավոր տիեզերական օբյեկտներն են։

Այդ, ներկայումս ընդունված, ենթադրության դեպքում քվազարների օպտիկական լուսատվությունը տասնյակ, հաճախ հարյուրավոր անգամ գերազանցում է գերհսկա գալակտիկաների լուսատվությանը։

Աղյուսակ 9-ում (տե՛ս էջ 302) տվյալներ են բերված 4 մոտակա քվազարների տեսանելի մեծությունների և կարմիր շեղումների վերաբերյալ։ Այդ օբյեկտների տեսագծային արագությունները հաշվված են Դոպլերի սովորական (2.8) բանաձևով, իսկ նրանց հեռավորությունները՝ Հաբլի (10.1) օրենքով։ Վերջապես, այդ քվազարների բացարձակ աստղային մեծությունները ստացված են (9.1) արտահայտության միջոցով։

[36] 3C 273 Քեմբրիջի (Անգլիա) ռադիոաստղադիտարանում կազմված երրորդ ցուցակի 273 համարի ռադիոաղբյուրն է։

[37] OQ 172 և OH 471 Օհայոի համալսարանի (ԱՄՆ) ռադիոաստղադիտակով հայտնաբերված քվազարներ են, որոնք մտցված են Q-րդ և H-րդ ցուցակների մեջ։

Մի քանի մոտակա քվազարներ

Քվազար	z	m_v	V_r (կմ/վրկ)	r (Մպս)	M_v
Ton 256	0,131	15,91	39,300	520	—22,7
3 C 273	0,158	12,8	47,400	630	—26,2
PKS 2135—14	0,200	15,53	60,000	800	—24,0
PKS 1217+02	0,240	16,53	72,000	960	—23,4

Ծանոթություն—Ton 256 և PKS Տոնանցինոլայի ազգային աստղադիտարանի (Մեքսիկա) և Պարկսի (Ավստրալիա) ռադիոաստղադիտարանների նշանակումներն են։ Հաջորդող թվերը տալիս են քվազարի հեռավորությունը կամ նրա հասարակածային կոորդինատները։

Բոլոր քվազարների վիզուալ բացարձակ մեծությունը անսովոր մեծ է, իսկ 3C 273 քվազարի դեպքում այն հասնում է —26.2-ի։

Քվազարների ճառագայթումը հատկապես ուժեղ է սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն և ինֆրակարմիր մասերում։ Նույնպիսի ղարմանալի հզոր ճառագայթմամբ օժտված են նաև, ավելի ուշ հայտնաբերված, նույն բնույթի այն տիեզերական մարմինները, որոնք զուրկ են ուժեղ ռադիոճառագայթումից։ Այդ մարմիններին երբեմն անվանում են օպտիկական քվազարներ կամ ուղղակի քվազարներ։ Նրանք շուրջ մեկ կարգով ավելի բազմաքանակ են։

Քվազարների արտասովոր հզոր ճառագայթման բացատրությունը ճառագայթման մեզ հայտնի մեխանիզմների միջոցով կապված է մեծ, թերևս անհաղթահարելի, դժվարությունների հետ։

Քվազարներից շատերի մոտ հայտնաբերվել են ճառագայթման փոփոխություններ սպեկտրի օպտիկական և ռադիոտիրույթներում։ Փոփոխությունների ժամանակամիջոցները (շաբաթներ, նույնիսկ օրեր) թույլ են տալիս գնահատել քվազարների կամ, ավելի ճիշտ, նրանց փոփոխական ճառագայթումը հարուցող մարմինների չափերը։

Բանն այն է, որ ճառագայթող մարմնի արձակած լույսի կամ ռադիոալիքների հզորության դիտվող փոփոխությունները, նրանց տարածման վերջավոր արագության պատճառով, չեն կարող ավելի արագ տեղի ունենալ, քան այն ժամանակամիջոցը, որն անհրա-

ժեշտ է ճառագայթմանը մարմնի մի ծայրից հակառակ ծայրն անցնելու համար։

Հիշյալ պայմանից ստացվում է ճառագայթման փոփոխական աղբյուրների չափերի (R) գնահատման համար հետևյալ անհավասարությունը

$$R < ct, \tag{10.6}$$

որտեղ՝ t-ն փոփոխության ժամանակամիջոցն է։

Այդ բանաձևից հետևում է, օրինակ, որ t=1 շաբաթում փոփոխվող քվազարի չափերը պետք է ավելի փոքր լինեն, քան այդ ժամանակամիջոցում լույսի անցած ճանապարհը՝

$$R < 3 \cdot 10^5 \text{ կմ/վրկ} \times 6 \cdot 10^5 \text{ վրկ} \approx 0{,}006 \text{ պս:}$$

Մեկ տարում փոփոխվող քվազարի համար կստանանք

$$R < \frac{1}{3} \text{ պս:}$$

Այստեղից հետևում է, որ քվազարների չափերը հազարավոր անգամ փոքր են գալակտիկաների չափերից։ Այդ եզրակացությունը լիովին հաստատվել է մոտակա քվազարների տրամագծերի անմիջական չափումներով, մեծ բազայի ռադիոինտերֆերոմետրերի միջոցով։

Քվազարների չափերի վերաբերյալ այս եզրակացությունը էլ ավելի դժվարացնում է էներգիայի արձակման մեզ հայտնի մեխանիզմների միջոցով նրանց ճառագայթման բացատրությունը։

§ 121. Գալակտիկաների կորիզները. նրանց ակտիվությունը

Ռադիոգալակտիկաների հայտնագործությունը շրջադարձային փուլ էր գալակտիկաների ուսումնասիրության մեջ։ Նրանց արտասովոր հատկությունները (հզոր ռադիոճառագայթում, յուրօրինակ կառուցվածք, և այլն), որոնց բացատրությունը մինչ այդ հայտնի երևույթների միջոցով կապված էր լուրջ դժվարությունների հետ, առաջադրեցին նոր մոտեցման պահանջ՝ գալակտիկաներում տեղի ունեցող երևույթներին վերաբերող հարցերում։

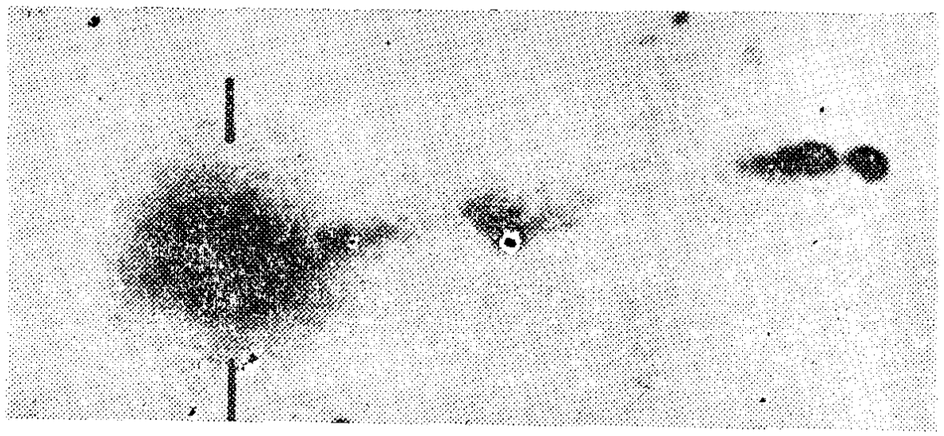
Ներկայումս արդեն համընդհանուր ճանաչում է ստացել ռադիոգալակտիկաների բնույթի վերաբերյալ Վ. Համբարձումյանի այդ տարիներին մշակած այն պատկերացումը, որի համաձայն, հզոր ռադիոճառագայթումը և կառուցվածքային առանձնահատկությունները հիշյալ գալակտիկաներում տեղի ունեցող ակտիվ ե-

ռևույթների, մասնավորապես վիթխարի պայթյունների հետևանք են։

Արտասովոր այդ երևույթներն անմիջականորեն կապված են գալակտիկաների էվոլյուցիայի, նրանց ներսում նոր բաղադրիչների կամ նույնիսկ արբանյակ գալակտիկաների առաջացման հետ։ Ըստ որում հիշյալ երևույթների ժամանակ անջատվող հսկայական քանակների էներգիան էլ ապահովում է ռադիոգալակտիկաների հզոր ճառագայթումը նրանց կյանքի համապատասխան փուլերում։

Չափազանց մեծ կարևորություն ունի այն փաստը, որ այդ երևույթներում որոշիչ դեր են խաղում գալակտիկաների կենտրոնական խտացումները՝ կորիզները, որոնք ունեն միանգամայն անսովոր հատկություններ։ Այդ հատկությունների շնորհիվ գալակտիկաների կորիզները օժտված են ակտիվության ամենատարբեր ձևերով և գալակտիկաների կյանքում խաղում են առաջնակարգ դեր։

Հզոր ռադիոճառագայթումը գալակտիկաների կորիզների ակտիվության դրսևորումներից մեկն է։ Կորիզների ակտիվության դիտվող դրսևորումներ են նաև կորիզներում տեղի ունեցած պայ-



Նկ. 152. NGC 1182 գալակտիկան, միջուկից արտավիժված նյութի խտացումների հետ։

թյունների հետևանքով արտանետված նյութի շիթերը, վիժվածքները և ամբողջական արբանյակ գալակտիկաները, անսովոր ուժեղ ուլտրամանուշակագույն և ինֆրակարմիր ճառագայթումները, գազային նյութի արագ շարժումները։ Կորիզների ակտիվությամբ պայմանավորված անկայունության ձևերից է գալակտիկաների օպտիկական և ռադիոճառագայթման բևեռացման երևույթը, որը վկայում է հիշյալ գալակտիկաներում մեծ արագությամբ շարժ-

վող, ռելյատիվիստական էլեկտրոնների և տիեզերական մագնիսական դաշտերի առկայության մասին։ Այդ բոլոր երևույթները կապված են գալակտիկաների կորիզներից զանգվածի և էներգիայի հսկայական քանակների անջատման հետ։

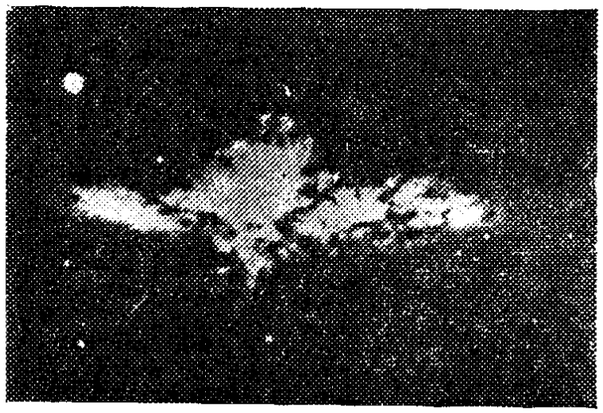
Բնական է ենթադրել, որ զանգվածի և էներգիայի անջատումը կորիզներում չի կարող անվերջ շարունակվել։ Ուստի պետք է ընդունել, որ գալակտիկաների կորիզների ակտիվությունը նվազում է նրանց կյանքի ընթացքում։ Հետևաբար, ամենաակտիվ կորիզներ պետք է ունենան շատ երիտասարդ գալակտիկաները։ Դիտումները վկայում են, որ նույնիսկ մեր և Անդրոմեդայի գալակտիկաներում, որոնց տարիքը միլիարդ տարվա կարգի է, կորիզների ակտիվությունը դեռ լրիվ չի մարել։ Ներկայումս դիտվում է գազային նյութի անընդհատ արտահոսք այդ կորիզներից (տարեկան շուրջ մեկ արեգակնազանգվածի չափով)։

Նկ. 153. NGC 5194 (M 51) գալակտիկան, որի պարուրաձև թևերից մեկը կամրջակի ձևով տարածվում է մինչև կենտրոնից հեռու գտնվող «արբանյակ» գալակտիկան (NGC 5195)։

Սկզբունքային նշանակություն ունի այն փաստը, որ գալակտիկաների կորիզներում ընթացող ակտիվ պրոցեսներն ու պայթյունները գրեթե անհնար է բացատրել, եթե ենթադրենք, որ կորիզները կազմված են միայն աստղերից և միջաստղային նյութից։ Ուստի պետք է ընդունել, որ կորիզներում պարունակվում են նաև անծանոթ բնույթի գերխիտ մարմիններ, որոնք հանդիսանում են նյութի և էներգիայի հզոր աղբյուրներ և որոնք առաջ են բերում գալակտիկաների կորիզներում ընթացող անսովոր երևույթները։

Գալակտիկաների կորիզների ակտիվության պատկերացման անմիջական ապացույց էր M 82 գալակտիկայի կորիզում 1963 թ. հայտնաբերված վիթխարի պայթյունը (նկ. 154), որի ժամանակ դուրս շպրտված նյութը ներկայումս գալակտիկայից հեռանում է շուրջ 1000 կմ/վրկ արագությամբ։ Նման պայթյունների հետե-

վանքներ հայտնաբերվեցին նաև մի քանի այլ գալակտիկաներում։ Նոր պատկերացման օգտին լուրջ փաստարկներ ստացվեցին քվազարների ուսումնասիրությունից։



Նկ. 154. NGC *3034 (M82) գալակտիկան, որում 1,5 միլիոն տարի առաջ տեղի է ունեցել մի հսկայական պայթյուն, շուրջ 5 միլիոն արեգակնային զանգված ունեցող նյութի արտավիժմամբ։ Լուսանկարի վերևում և ներքևում երևում են կորիզից դուրս նետված գազային ամպերը, որոնք նրանից հեռանում են ավելի քան 1000 կմ/վրկ արագությամբ։*

Պարզվեց, որ մի շարք հատկություններով քվազարները շատ նման են գալակտիկաների կորիզներին։ Քվազարների նման կորիզները նույնպես, որոշ դեպքերում, ցուցաբերում են ճառագայթման փոփոխականություն, ունեն հզոր ճառագայթում և փոքր չափեր։ Բացի փոփոխականությունից կորիզների փոքր չափերի մասին են վկայում մի քանի մոտակա գալակտիկաների կորիզների (M 31, M 33) անմիջական չափումները։ Չնայած փոքր չափերին, քվազարների և գալակտիկաների կորիզների զանգվածները շատ չեն տարբերվում իրենց՝ գալակտիկաների զանգվածներից։

Հատկապես մեծ է նմանությունը քվազարների և արտասովոր մեծ ակտիվությամբ օժտված գալակտիկաների (ռադիոգալակտիկաներ, հզոր ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում ունեցող գալակտիկաներ և այլն) կորիզների միջև։

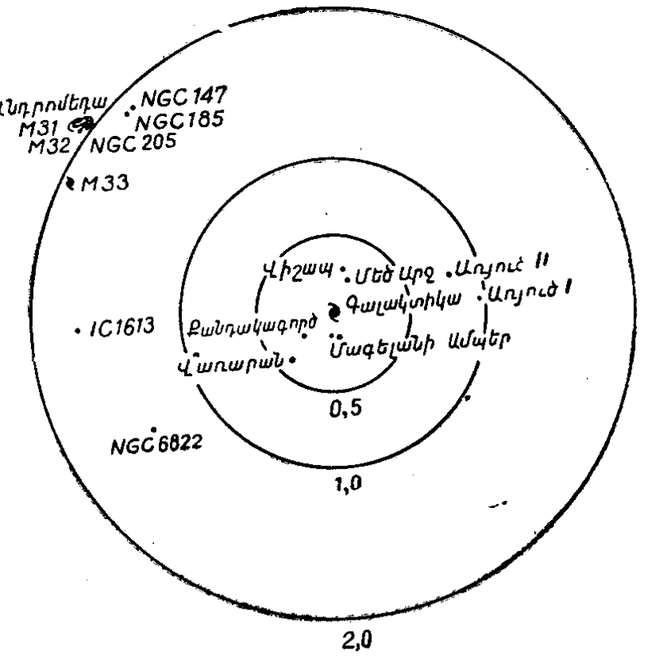
Այս բոլորը, Վ. Համբարձումյանի կարծիքով, վկայում են, որ քվազարներն, իրենց բնույթով, չեն տարբերվում գալակտիկաների կորիզներից. նրանք գալակտիկաների շատ հզոր, հետևաբար շատ երիտասարդ, կորիզներ են։

5 մ խոշորագույն աստղադիտակով (ԱՄՆ) ստացված վերջին դիտումները, որոնք հաստատում են մոտակա քվազարների անմիջական շրջապատում աստղային բնակչության գոյությունը, այսինքն այն պատկերացումը, որ այդ քվազարները գտնվում են գալակտիկաների մեջ, խոսում է հիշյալ ենթադրության օգտին։

§ 122. Գալակտիկաների ֆիզիկական խմբեր

Գալակտիկաների բաշխումը տարածության մեջ խիստ անհավասարաչափ է։ Գալակտիկաների մեծ մասը գտնվում է ֆիզիկական խմբերի՝ բազմագալակտիկաների և գալակտիկաների կույտերի մեջ։ Ֆիզիկական խմբերից դուրս գալակտիկաների թիվը շատ փոքր է։

Մասնավորապես, մեր Գալակտիկան իր արբանյակների (Մագելանի ամպերի), Անդրոմեդայի գալակտիկայի ու նրա չորս արբանյակների (էլիպսաձև գալակտիկաների), Եռանկյան Համաստեղության մեջ դիտվող M 33 պարուրաձև գալակտիկայի և մի շարք թզուկ անկանոն ու էլիպսաձև գալակտիկաների հետ միասին, որոնց մի մասը չի դիտվում ցածր լուսատվության պատճառով, կազմում է գալակտիկաների, այսպես կոչված, Տեղական համակարգը (նկ. 155)։ Դիտվող գալակտիկաների թիվը Տեղական համակարգում շուրջ 20 է։

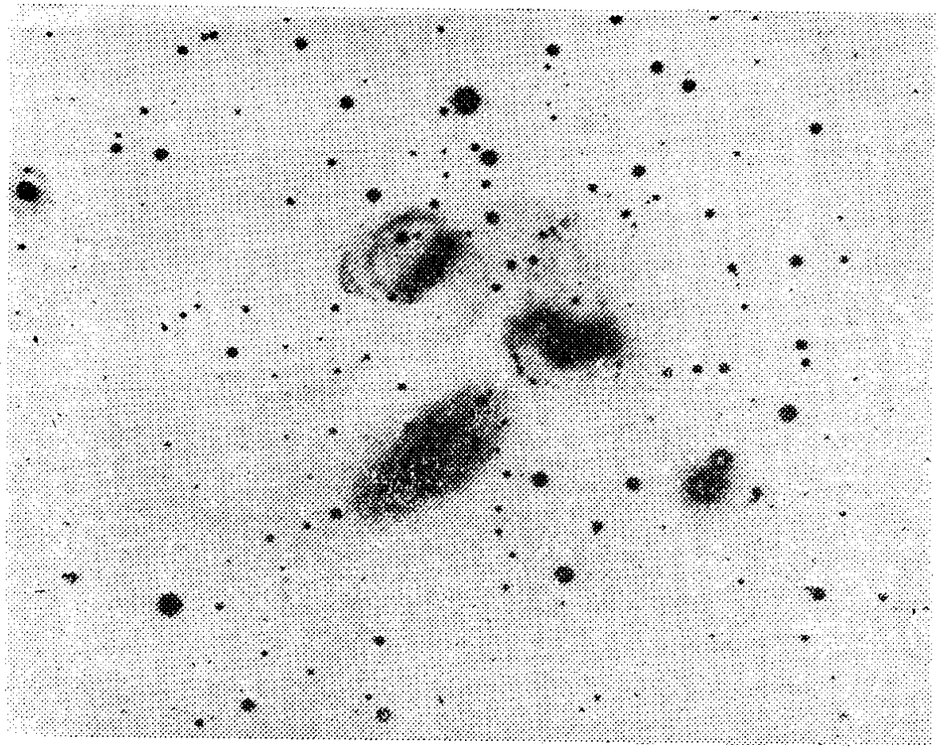


Նկ. 155. Գալակտիկաների Տեղական համակարգի սխեման։ Ներկայացված են մոտակա հայտնի գալակտիկաները։ Շրջանագծերի շառավիղները տրված են միլիոն լուսատարիներով։

Գալակտիկաների թիվը բազմագալակտիկաներում տասից չի անցնում։ Նրանց զգալի մասը՝ դինամիկական տեսակետից, անկայուն համակարգեր են։

Իրենց բնույթով նոր տեսակի համակարգեր են, այսպես կոչված, կոմպակտ գալակտիկաների կոմպակտ խմբերը, որոնք հայտ-

նաբերվել են վերջերս՝ Բյուրականի աստղադիտարանում։ Այդ խմբերը պարունակում են շուրջ երկու տասնյակ գալակտիկաներ և կոմպակտ են կոչվում իրենց համեմատաբար փոքր չափերի պատճառով։ Գալակտիկաների կոմպակտ խմբերը գերազանցա-



Նկ. 156. Գալակտիկաների ֆիզիկական խումբ (Ստեֆանի կվինտետը)։

պես կազմված են բարձր մակերևութային պայծառություն ունեցող, այսպես կոչված, կոմպակտ գալակտիկաներից։ Կոմպակտ գալակտիկաներում զանգված-լուսատվության հարաբերությունը շատ փոքր է, այսինքն՝ միավոր զանգվածին հասնող ճառագայթումը շատ մեծ է։ Այդպիսի անսովոր հատկություններով օժտված գալակտիկաների թիվը փոքր է։ Նրանք կազմում են հայտնի գալակտիկաների մի փոքր մասը միայն (մի քանի տոկոս)։ Ուստի շատ հետաքրքրական է նրանց ֆիզիկական խմբերի գոյությունը։ Այդ խմբերի կառուցվածքը նույնպես անսովոր է. շատ հաճախ այդ խմբերում բացակայում է խտացումը դեպի համակարգի կենտրոն։

Մի քանի տասնյակից ավելի գալակտիկաներից կազմված ֆիզիկական խմբերը, սովորաբար, կոչվում են գալակտիկաների կույտեր։

Գալակտիկաների կույտերն ըստ ձևի լինում են գնդաձև և անկանոն։ Այդ անվանումները, ինչպես աստղակույտերի դեպքում, բնութագրում են գալակտիկաների կույտերի տարածական բաշխումը և ձևերը։ Սովորաբար, գալակտիկաների կույտերի չափերը Մեգապարսեկի կարգի են, իսկ գալակտիկաների ընդհանուր թիվը կույտերում՝ մի քանի հարյուրից մինչև մի քանի տասնյակ հազար։

Գալակտիկաների մեզ մոտակա կույտը (հեռավորությունը շուրջ 10 Մպս) անկանոն է և դիտվում է Կույսի համաստեղությու-

Նկ. 157. Գալակտիկաների կույտ, Վերոնիկայի Վարսեր համաստեղությունում։

նում։ Այն պարունակում է մի քանի հազար՝ մեծ մասամբ պարուրաձև գալակտիկաներ։ Գալակտիկաների այդ կույտի չափերը նրա հեռավորության կարգի են։

Գայակտիկաների զնդաձև կույտերից լավ հայտնի է Վերոնիկայի Վարսեր համաստեղության մեջ դիտվող շատ հարուստ կույտը (նկ. 157), որի հայտնի անդամների թիվն անցնում է մի քանի տասնյակ հազարից։ Այդ կույտը աչքի է ընկնում էլիպսաձև գալակտիկաների առատությամբ։ Նրա տրամագիծը շուրջ 15 Մպս, է, իսկ հեռավորությունը՝ մոտ 70 Մպս։

Գալակտիկաների կույտերը, սովորաբար, կազմում են ավելի բարձր կարգի համակարգեր՝ գալակտիկաների գերկույտեր։ Օրինակ, ենթադրվում է, թե գալակտիկաների Տեղական համակարգը, գալակտիկաների Կույսի համաստեղության կույտը գալակտիկաների մի քանի այլ կույտերի հետ կազմում են մի միասնական համակարգ, որը կոչվում է Գերգալակտիկա։ Նրա միջուկը գտնվում է գալակտիկաների Կույսի կույտում։ Գերգալակտիկայի տրամագիծը գնահատվում է շուրջ 30 Մպս, իսկ հեռավորությունն ընդունվում է հավասար միջուկի՝ Կույսի կույտի հեռավորությանը (15 Մպս)։ Գերգալակտիկայի անդամների թվի մասին մոտավոր գաղափար է տալիս նրա ընդհանուր զանգվածի գնահատականը՝ 10^{15} արեգակնային զանգված։ Այն շուրջ 10000 անգամ մեծ է մեր Գալակտիկայի զանգվածից։

Տիեզերքի մեր դիտումների համար մատչելի ծավալում բոլոր գալակտիկաները, նրանց կույտերն ու գերկույտերը մտնում են մեզ հայտնի ամենամեծ համակարգի մեջ, որը կոչվում է Մետագալակտիկա։ Ենթադրվում է, որ Մետագալակտիկան ամբողջապես չի ընդգրկված այդ ծավալում և տարածվում է նրա սահմաններից դուրս։

Անհրաժեշտ է ավելացնել, որ ինչպես աստղախմբերի դեպքում էր, բազմագալակտիկաներում և գալակտիկաների կույտերում ևս հանդիպում են դինամիկական տեսակետից անկայուն համակարգեր։ Մասնավորապես, Տրապեսցիայի տիպի անկայուն համակարգերը բազմագալակտիկաների մեջ շատ ավելի մեծ տոկոս են կազմում, քան աստղախմբերում։ Սակայն, նրանց քայքայման ժամանակամիջոցը, որ հավասար է համակարգի մի քանի պտույտի համար պահանջվող ժամանակամիջոցին, անհամեմատ մեծ է և հասնում է միլիարդավոր տարիների։ Կան որոշ վկայություններ այն մասին, որ գալակտիկաների կույտերի մի մասը նույնպես դինամիկական տեսակետից անկայուն է։

Գլուխ XI

ԵՐԿՆԱՅԻՆ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՈՒՄՆ ՈՒ ԷՎՈԼՅՈՒՑԻԱՆ

Երկնային մարմինները՝ մոլորակներն ու աստղերը, միգամածությունները և միջաստղային նյութը, գալակտիկաներն ու նրանց համակարգերը նյութի տիեզերական գոյաձևեր են։

Ուստի, երկնային մարմինների առաջացման ու էվոլյուցիայի հարցերը կազմում են ավելի ընդհանուր մի պրոբլեմի՝ Տիեզերքում նյութի էվոլյուցիայի պրոբլեմի մասը։ Սակայն, ինչպես արդեն նշվել է ներածությունում, տիեզերական նյութն իր զարգացման տարբեր, հատկապես ուժեղ ֆիզիկական անկայունության, փուլերում հաճախ գտնվում է երկրագնդի վրա անհասանելի ֆիզիկական վիճակներում, մասնակցում երկրային լաբորատորիաներում անմատչելի երևույթների։ Նման արտասովոր վիճակներում գտնվող նյութը հաճախ օժտված է լինում երկրային ֆիզիկայի համար նոր, անծանոթ հատկություններով։

Այդ տեսակետից, երկնային մարմինների էվոլյուցիայի պրոբլեմը սերտորեն առնչվում է ամբողջ բնագիտության կարևորագույն պրոբլեմի՝ նյութի կառուցվածքի և արմատական հատկությունների պրոբլեմի հետ։ Այդ իմաստով երկնային մարմինների առաջացման ու զարգացման հարցերը կարևոր են ոչ միայն Տիեզերքի ճանաչման, տիեզերական նյութի էվոլյուցիայի ուսումնասիրության, այլ նաև նյութի կառուցվածքի, նրա անծանոթ հատկությունների բացահայտման տեսակետից։ Ըստ որում, այդ երկու պրոբլեմները գտնվում են փոխադարձ կապի մեջ։ Նրանցից յուրաքանչյուրի բնագավառում ամեն մի նվաճում լրջորեն նպաստում է մյուսի առաջադիմությանը։

Անհրաժեշտ է նշել նաև, որ առաջացման և էվոլյուցիայի հարցերը շատ բարդ ու դժվարին են բոլոր գիտություններում ընդհանրապես, աստղագիտության մեջ՝ մասնավորապես։

Ստորև համառոտակի ծանոթանանք երկնային մարմինների առաջացման ու էվոլյուցիայի վերաբերյալ ժամանակակից պատկերացումների հետ։

§ 123. Մոլորակների ու աստղերի առաջացման ու զարգացման վերաբերյալ առաջին գիտական պատկերացումները

Ինչպես բնության մեջ ամեն ինչ, այնպես էլ երկնային մարմինները, որպես նյութի տիեզերական գոյաձևեր, ենթակա են փոփոխությունների: Բնականաբար, երկնային մարմինների այդ փոփոխությունները նրանց զարգացման դրսևորումներն են: Նրանք էլ ձևավորվելով նյութի ինչ-որ այլ գոյաձևերից, անցնում են զարգացման իրենց բնորոշ ուղին և վերջիվերջո փոխարկվում նյութի այլ գոյաձևերի:

Երկար ժամանակ այս հարցերի վերաբերյալ դատողությունները կրում էին միայն զուտ մտազննական բնույթ և չէին հիմնվում որևէ դիտողական փաստարկների վրա: Երկնային մարմինների էվոլյուցիայի, նրանց առաջացման և զարգացման վերաբերյալ այդպիսի մտազննական բացատրության առաջին փորձերը վերաբերում էին Արեգակնային համակարգության առաջացման բացատրությանը:

1755 թ. Կանտը պատմության մեջ առաջին անգամ փորձեց Արեգակնային համակարգության առաջացումը բացատրել այդ ճանապարհով՝ որպես նյութի օրինաչափ զարգացման արդյունք: Նա ելնում էր այն հիմնական ենթադրությունից, որ Արեգակը և մոլորակները ձևավորվել են նոսր գազա-փոշային ամպից՝ ամպի կենտրոնում՝ Արեգակը, իսկ նրա արտաքին մասերում՝ մոլորակները:

Կանտի այդ գաղափարը հետագայում (1796 թ.) որոշ ձևափոխումներով, մաթեմատիկական տեսակետից, մշակվեց Լապլասի վարկածում: Լապլասը ենթադրում էր, որ մոլորակային համակարգությունն առաջացել է ջերմ և պտտական շարժում ունեցող հսկայական գազային ամպից: Պտտման և գազի մասնիկների փոխադարձ ձգողության շնորհիվ ամպը հետզհետե սեղմվելով, ուռացել է գնդի ձև և խտացել դեպի կենտրոնը: Գազային այդ գունդը սեղմվելով և միաժամանակ սառչելով սկսել է աստիճանաբար ավելի արագ ու արագ պտտվել: Դրա հետևանքով աճել են կենտրոնախույս ուժերը, որոնց ազդեցության տակ՝ գազային սեղմվող գունդը ստացել է սկավառակի ձև: Պտտման արագության հետագա աճի շնորհիվ, երբ գազային սկավառակի հասարակածային գոտում կենտրոնախույս ուժը հավասարվել է ձգողական ուժին, սկավառակի ներքին, հիմնական մասը շարունակել է սեղմվել, իսկ հասարակածային գոտու ամենաարտաքին մասը՝ օղակաձև գոտին անջատվել է հիմնական զանգվածից: Հետագայում կենտրոնական գազային սկավառակից նույն ձևով հերթականորեն անջատվել են նոր օղակաձև գոտիներ: Գոտիներում գազային նյութի խտության անհավասարաչափ բաշխման պատճառով նրանք տրոհվել են: Գոտիների տրոհման հետևանքով առաջացած ավելի խիտ կտորների միացման և խտացման միջոցով ձևավորվել են մոլորակները՝ յուրաքանչյուր գոտում եղած նյութից մեկ մոլորակ: Այնուհետև նույն ձևով մոլորակներից անջատված գազային գոտիներից ձևավորվել են մոլորակների արբանյակները: Ինքը՝ Արեգակը ձևավորվել է գազային սկավառակի կենտրոնական, ամենամեծ խտացումից:

20-րդ դարում պարզվեց, որ Լապլասի վարկածը չի կարող բացատրել Արեգակնային համակարգության մի շարք կարևոր առանձնահատկություններ, մասնավորապես Արեգակի և մոլորակների պտտման մոմենտների դիտվող բաշխումը, որը խիստ հակասության մեջ է նրանց զանգվածների բաշխման հետ: Այդ է պատճառը, որ այն ներկայումս չի ընդունվում: Սակայն Լապլասի վարկածն ունի պատմական նշանակություն: Նա կարևոր դեր խաղաց որպես Արեգակնային համակարգության առաջացման գիտական բացատրության առաջին փորձ:

Աստղերի առաջացման ու զարգացման պրոբլեմի գծով առաջին լուրջ հետազոտությունները կապված են Ռասսելի և Ջինսի անունների հետ: Այդ հետազոտություններում էլակետային դրույթը նույնպես սեփական ձգողական դաշտում նոսր նյութի սեղմման Կանտի պատկերացումն է:

Ռասսելի կարծիքով բոլոր աստղերը ձևավորվել են նոսր նյութի խտացման հետևանքով և ձևավորման ժամանակ ունեցել են միևնույն ֆիզիկական հատկությունները (զանգված, սպեկտր, լուսատվություն և այլն): Զարգացման ընթացքում, սակայն, այդ հատկությունները աստիճանաբար փոփոխվել են, որի արդյունքը եղել է այն, որ աստղը սպեկտր-լուսատվության դիագրամի վրա տեղաշարժվելով անցել է որոշակի ուղի: Ռասսելը ենթադրում էր, թե այդ ուղին բոլոր աստղերի համար նույնն է: Իսկ այն փաստը, որ աստղերը ներկայումս գտնվում են այդ դիագրամի տարբեր մասերում, նրա կարծիքով, հետևանք է այն բանի, որ նրանք ձևավորվել են տարբեր ժամանակ և, հետևաբար անցել են զարգացման ընդհանուր ուղու տարբեր երկարության հատվածներ:

Ջինսն, ընդհակառակը, ընդունում էր, որ բոլոր աստղերը ձևավորվել են գործնականորեն, միաժամանակ: Սակայն ձևավոր-

ման պայմանների, առաջին հերթին զանգվածների, տարբերությունների հետևանքով տարբեր աստղեր անցել են զարգացման տարբեր ուղիներ։ Ըստ Ջինսի, հենց այդ բանի արդյունքն է նրանց դիտվող դասավորությունը սպեկտր-լուսատվություն դիագրամի վրա։

Հետագայում նոսր նյութի խտացման նույն պատկերացումը Ջինսն օգտագործեց գալակտիկաների առաջացման և զարգացման վարկած մշակելու նպատակով։

Աստղերի առաջացման Ջինսի վարկածի հիմքում ընկած է գրավիտացիոն անկայունության սկզբունքը, որի համաձայն մեծ զանգված ունեցող գազային գունդը զգալի չափով սեղմվելուց հետո չի կարող մնալ կայուն վիճակում և պետք է տրոհվի մասերի, որոնք այնուհետև դառնում են աստղեր։ Դրանով է բացատրվում այն հայտնի փաստը, որ շատ մեծ զանգվածների աստղեր գոյություն չունեն։ Գրավիտացիոն անկայունության Ջինսի այդ վարկածն է օգտագործվում նաև գազի սեղմման հետևանքով աստղերի առաջացման բոլոր հետագա վարկածներում։

Երկնային մարմինների առաջացման և զարգացման վերը նշված, ինչպես նաև հետագա հետազոտությունների մեծ մասը կրում է զուտ մտազննական բնույթ։ Նրանց հեղինակները ելնում են նոսր նյութի որևէ կամայական սկզբնավիճակից և մշակում մոլորակային համակարգության, աստղերի ու գալակտիկաների առաջացման ու զարգացման մտազննական, վարկածային սխեմաներ, որոնք շատ հաճախ բոլորովին կտրված են այդ մարմինների դիտումներից ստացված փաստական տվյալներից։ Այդ է պատճառը, որ մտազննական հետազոտությունների արդյունքները շատ հաճախ հակասության մեջ են գտնվում դիտումների հետ։

Այսպես, օրինակ, գազի սեղմման հետևանքով աստղերի ձևավորման ներկայումս գոյություն ունեցող վարկածներից ոչ մեկը ի վիճակի չի եղել կանխագուշակելու երիտասարդ աստղերի համար բնորոշ որևէ առանձնահատկություն, որը հետագայում հաստատվեր նրանց դիտումներով։ Այդ իմաստով, ընդհակառակը, երիտասարդ աստղերի ճառագայթման ամեն մի նոր առանձնահատկության բացահայտում ստիպողաբար բերել է այդ վարկածների համապատասխան փոփոխությունների։

Ավելին, հայտնի վարկածներից հետևում է, որ սպեկտր-լուսատվություն դիագրամի վրա նոր ձևավորված երիտասարդ աստղերը պետք է գտնվեն գլխավոր հաջորդականությունից վեր և աստիճանաբար իջնեն դեպի այն։ Մինչդեռ, ներկայումս հայտնի են զգալի թվով նոր ձևավորված աստղեր, որոնք գտնվում են գլխավոր հաջորդականությունից նկատելիորեն ցածր։ Այդ աստղերի դիտվող դասավորության բոլոր փորձերը, գազի սեղմման միջոցով աստղերի ձևավորման պատկերացման շրջանակներում, հեռու են ընդունելի լինելուց։

Աստղերի զարգացման վերաբերյալ առաջին հավաստի վկայություններն ստացվեցին աստղային էներգիայի հնարավոր ջերմամիջուկային աղբյուրների քննարկումից։ Ենթադրվում է, որ ճառագայթման այդ աղբյուրների ազդեցության տակ աստղերի զարգացումն սկսվում է ձևավորումից զգալի ժամանակ անց, երբ նրանք հասնում են հավասարակշիռ վիճակների։

§ 124. Աստղերի էներգիայի աղբյուրների մասին

Աստղերը ճառագայթման չափազանց հզոր աղբյուրներ են։ Արեգակի նման, սառն թզուկ աստղը մեկ վայրկյանում ճառագայթում է շուրջ միլիոն անգամ ավելի շատ էներգիա, քան մեկ տարում արտադրվում է երկրի վրա։

20-րդ դարի առաջին քառորդում պարզ դարձավ, որ Արեգակի ու աստղերի հզոր, և որ առանձնապես կարևոր է նրանց մեծամասնության համար միլիոնավոր տարիների ընթացքում գրեթե հաստատուն, ճառագայթումը հնարավոր չէ բացատրել էներգիայի առաջացման ու անջատման հայտնի երևույթներով (այրում, radioակտիվություն, ձգողական դաշտի ազդեցության տակ սեղմում)։

Որպես աստղերի էներգիայի հնարավոր աղբյուրներ դիտարկվեցին միջուկային ռեակցիաները։ Ցույց տրվեց, որ աստղերի ընդերքում, միլիոնավոր աստիճան ջերմության և ջրածնի միջուկների՝ պրոտոնների առատության պայմաններում հնարավոր են այնպիսի միջուկային ռեակցիաներ, որոնք ուղեկցվում են ջրածնի միջուկներից հելիումի միջուկների առաջացմամբ և էներգիայի հսկայական քանակների անջատմամբ։

Աստղերի ընդերքում այդպիսի բարձր ջերմաստիճանի մասին է վկայում հետևյալ փաստը։ Աստղերը, շիկացած գազային այդ գնդերը սեփական ձգողականության ազդեցության տակ պետք է աստիճանաբար սեղմվեն դեպի կենտրոն, սեղմմանը հակազդող ուժերի բացակայության դեպքում։ Սակայն այն հանգամանքը, որ Արեգակը ժամանակի ընթացքում չի սեղմվում և պահպանում է իր չափերը հիմք է տալիս ենթադրելու, որ նրա և, ընդհանրապես, հավասարակշիռ վիճակներում գտնվող բոլոր աստղերի ներսում

գազային ճնշումը հավասարակշռում է ծանրության ուժի ձգողական ազդեցությունը։

Հավասարակշռության այդ պայմանից ելնելով կարելի է հաշվել աստղի ընդերքում իշխող ջերմաստիճանը, որով պայմանավորված է գազային ճնշումը։ Այդ ջերմաստիճանը կախված է աստղի զանգվածից (M) ու շառավղից (R) և որոշվում է

$$T = k\frac{M}{R} \qquad (11.1)$$

բանաձևով, որտեղ՝ k-ն համեմատականության գործակիցն է։

(11.1) բանաձևից հետևում է, որ միևնույն զանգված ունեցող աստղերից ջերմաստիճանն ավելի բարձր է փոքր շառավիղ ունեցող աստղի ընդերքում, իսկ միևնույն շառավիղ ունեցող աստղերից՝ ավելի մեծ զանգված ունեցող աստղի ընդերքում։ Աստղերի մեծամասնության, այդ թվում Արեգակի ընդերքում, այդ ջերմաստիճանը հավասար է շուրջ 10—20 միլիոն աստիճանի, իսկ որոշ աստղերի մոտ՝ նույնիսկ ավելի բարձր է։

Աստղերի ընդերքում իշխող պայմաններում աստղանյութում ամբողջական ատոմներ չկան, այն գտնվում է լրիվ իոնացված վիճակում և կազմված է միայն ատոմական միջուկներից ու էլեկտրոններից։

Աստղերի ընդերքում շատ բարձր ջերմաստիճանը և ատոմների միջուկների, հատկապես ջրածնային միջուկների՝ պրոտոնների, առատությունը հարուցում են ջերմամիջուկային ռեակցիաներ։ Այդ ռեակցիաների ժամանակ պարզ միջուկների միացումից կազմավորվում են ավելի բարդ միջուկներ և անջատվում է մեծ քանակությամբ էներգիա։

Ամենապարզ ջերմամիջուկային ռեակցիաները պրոտոնների մասնակցությամբ ընթացող ռեակցիաներն են, որոնց հետևանքով ջրածնի յուրաքանչյուր չորս միջուկից առաջանում է հելիումի մեկ միջուկ։ Սակայն, ջրածնի չորս միջուկի ընդհանուր զանգվածը շուրջ մեկ տոկոսով գերազանցում է հելիումի մեկ միջուկի զանգվածը։ Զանգվածների այդ տարբերությունը կամ ավելցուկ-զանգվածը ջերմամիջուկային ռեակցիաների ժամանակ փոխարկվում է էներգիայի, էյնշտեյնի հարաբերականության տեսությունից հայտնի՝

$$\Delta E = \Delta m\, c^2 \qquad (11.2)$$

առնչության համապատասխան։ Այս բանաձևում ΔE-ն անջատվող էներգիան է, Δm-ը էներգիայի փոխարկվող զանգվածը, իսկ c-ն լույսի արագությունը։

Յուրաքանչյուր գրամ ջրածնի «այրման»՝ հելիումի փոխարկման ժամանակ, նրա շուրջ 1/140 մասը վեր է ածվում էներգիայի։ Համաձայն (11.2) բանաձևի ամեն մի գրամ ջրածնի «այրման» հետևանքով ազատվող էներգիան հավասար է $6{,}4 \cdot 10^{18}$ էրգի։

Ներկայումս լավ ուսումնասիրված են ջրածնի միջուկների մասնակցությամբ ընթացող երկու տիպի ջերմամիջուկային ռեակցիաներ՝ պրոտոն-պրոտոնային (p—p) և ածխածնա-ազոտական ցիկլի (CN)։

Պրոտոն-պրոտոնային ռեակցիան շատ արդյունավետ է մինչև 15 միլիոն ջերմաստիճանի դեպքում։ Այս ռեակցիան տեղի է ունենում միայն ջրածնային միջուկների ($_1H^1$) մասնակցությամբ[38]։ Նրանցից սկզբում առաջանում են դեյտերիումի միջուկներ ($_1D^2$), պոզիտրոնի և նեյտրինոյի ճառագայթմամբ, ապա դեյտերիումի միջուկներից՝ հելիումի իզոտոպի միջուկներ ($_2He^3$), հզոր γ-քվանտների ճառագայթմամբ։ Վերջապես, $_2He^3$ յուրաքանչյուր երկու միջուկի ընդհարումից առաջանում են սովորական հելիումի մեկ միջուկ՝ $_2He^4$ և երկու պրոտոններ, մեծ քանակությամբ էներգիայի անջատմամբ։

15 միլիոնից ավելի բարձր ջերմաստիճանի դեպքում (մեծ զանգվածի աստղերի մոտ) ավելի արդյունավետ է ածխածնա-ազոտական ցիկլը։ Այս դեպքում ևս չորս պրոտոնների ձուլման հետևանքով առաջանում է հելիումի մեկ միջուկ, սակայն այս ցիկլը ընթանում է ածխածնի միջուկի մասնակցությամբ, որը ցիկլի վերջում նորից վերականգնվում է։

Աստղերի ընդերքում հնարավոր ջերմամիջուկային ռեակցիաների ժամանակ անջատվող էներգիան ի վիճակի է ապահովելու աստղերի հաստատուն հզորությամբ ճառագայթումը միլիարդավոր տարիների ընթացքում։ Օրինակ, Արեգակի դիտվող ճառագայթումը ($4 \cdot 10^{33}$ էրգ մեկ վայրկյանում) այդ ձևով ապահովելու համար անհրաժեշտ է, որ նրա ընդերքում յուրաքանչյուր վայրկյան հելիումի փոխարկվի շուրջ $7 \cdot 10^8$ տոնն ջրածին և դրա հետևանքով ազատված էներգիան ջերմային ճառագայթման ձևով, աստիճանաբար դուրս գա նրա արտաքին շերտերը։ Այդպիսի հզորությամբ Արեգակի հաստատուն ճառագայթումը նրանում պարունակվող

[38] Քիմիական տարրի անվան աջից, վերևում բերված է նրա ատոմական կշիռը, իսկ ձախից, ներքևում՝ հերթական համարը Մենդելեևի աղյուսակում։ Նույն տարրի իզոտոպների համար հերթական համարը նույնն է։

ջրածնի քանակը կարող է ապահովել մի քանի տասնյակ միլիարդ տարի:

Ուստի, կարելի է բավականաչափ հիմնավորված համարել այն ենթադրությունը, որ աստղերի ճառագայթումը հարուցվում է նրանց ընդերքում ընթացող ջերմամիջուկային էներգիայի ազատման պրոցեսներով:

Ինչպես արդեն նշվել է, աստղերի ճառագայթումը ջերմամիջուկային ռեակցիաների շնորհիվ հավանական է միայն նրանց հավասարակշիռ վիճակներում, գլխավոր հաջորդականությանը հասնելուց հետո: Մինչ այդ, երբ աստղը գտնվում է անհավասարակշիռ վիճակներում, ջերմամիջուկային ռեակցիաների դերը՝ աստղի ճառագայթման մեջ պետք է գործնականում աննշան լինի:

Այսպես, օրինակ, 1953 թ. վ. Հ. Համբարձումյանը T Տուլի տիպի և բռնկվող անկայուն աստղերի ճառագայթման փոփոխությունների վերաբերող դիտողական փաստերի տեսական վերլուծության հիման վրա ցույց տվեց, որ այդ դեպքերում աստղերի ճառագայթումն անհնար է բացատրել ջերմամիջուկային ռեակցիաներով և պետք է գոյություն ունենան աստղային էներգիայի այլ աղբյուրներ:

Էներգիայի ջերմամիջուկային աղբյուրների գաղափարը, որը ծնվեց աստղերի ճառագայթումը բացատրելու փորձերից, հետագայում ունեցավ գործնական կիրառություն՝ հիմք հանդիսացավ ջերմամիջուկային էներգիայի ստացման համար: Կարելի է հուսալ, որ կառավարվող ջերմամիջուկային ռեակցիաների իրականացումից հետո նրանք ապագայում կդառնան Երկրի վրա էներգետիկայի հուսալի և գրեթե անսպառ աղբյուր:

§ 125. Աստղերի էվոլյուցիան ջերմամիջուկային ռեակցիաների ազդեցության տակ

Մենք տեսանք, որ աստղերի՝ երկարատև ժամանակամիջոցներում գրեթե հաստատուն, ճառագայթման հնարավոր բացատրությունը հիմնվում է նրանց ընդերքում ընթացող ջերմամիջուկային ռեակցիաների ընդունելության վրա: Ենթադրվում է, որ աստղի ընդերքում ջերմամիջուկային ռեակցիաներն արդյունավետ են հավասարակշիռ վիճակում, երբ նա սպեկտրալ-լուսատվության դիագրամի վրա հասնում է գլխավոր հաջորդականությանը:

Այդ դեպքում պետք է կարծել, որ գլխավոր հաջորդականության աստղերի զարգացումն ամբողջովին ընթանում է ջերմամիջուկային ռեակցիաների ազդեցության տակ, որոնք, բնականաբար, առաջ են բերում աստղի ներքին կառուցվածքի, նրա քիմիական բաղադրության և ճառագայթման անդարձելի փոփոխություններ: Հենց այս պատկերացումն է ընկած աստղերի էվոլյուցիայի ժամանակակից տեսությունների հիմքում:

Գլխավոր հաջորդականության վրա (հավասարակշիռ վիճակներում) գտնվող աստղերի ներսում գազային ճնշումը, որն ուղղված է դեպի դուրս, հավասարակշռվում է նրանց դեպի կենտրոնն ուղղված ձգողականությամբ: Մենք արդեն տեսանք, որ հավասարակշռության այդ պայմանից հետևում է, որ աստղերի ընդերքում ջերմաստիճանը շատ բարձր է՝ տաս միլիոն աստիճանի կարգի: Այդ պայմաններում աստղերի հզոր ճառագայթումն ապահովվում է նրանց կենտրոնական մասերում ընթացող ջերմամիջուկային ռեակցիաներով: 1,5 արեգակնային զանգվածից ավելի փոքր զանգված ունեցող աստղերի դեպքում, որոնց կենտրոնական մասերում ջերմաստիճանը չի անցնում 15 միլիոնից, դա պրոտոն-պրոտոնային ռեակցիաներն են, իսկ ավելի մեծ զանգված, հետևաբար, ընդերքի ավելի բարձր ջերմաստիճան ունեցող աստղերի դեպքում՝ ածխածնա-ազոտական ցիկլի ռեակցիաները:

Աստղերը զարգացման այս փուլում, որն ամենաերկարն է նրանց կյանքում, արտաքնապես չեն փոփոխվում: Նրանց հիմնական չափանիշները՝ շառավիղը, զանգվածը և լուսատվությունը գրեթե հաստատուն են և աստղը մնում է գլխավոր հաջորդականության վրա:

Ջերմամիջուկային ռեակցիաների հետևանքով աստղի ներսում գտնվող ջրածինն աստիճանաբար փոխարկվում է հելիումի: Այդ ռեակցիաների արագությունն այնքան ավելի մեծ է, որքան ավելի բարձր է աստղի ընդերքում ջերմաստիճանը: Իսկ վերջինս, ինչպես մենք տեսանք, հիմնականում կախված է աստղի զանգվածից: Մեծ զանգված ունեցող աստղերի ընդերքում ջերմաստիճանն ավելի բարձր է, հետևաբար ավելի մեծ է ջերմամիջուկային ռեակցիաների արագությունը: Այդ պատճառով ավելի մեծ զանգված ունեցող աստղերի ընդերքում ջերմամիջուկային էներգիան ավելի արագ է սպառվում: Ուստի, գլխավոր հաջորդականության վրա գտնվելու ժամանակամիջոցը կախված է աստղի զանգվածից: Այդ բանը լավ երևում է աղյուսակ 9-ի տվյալներից: Օրինակ, դրանք ցույց են տալիս, որ B0 սպեկտրալ դասի աստղերը գլխավոր հաջորդականության վրա մնում են ընդամենը մի քանի տասնյակ միլիոն տարի, մինչդեռ Արեգակի նման ուշ դասերի աստղերը գրե-

խավոր հաջորդականության վրա գտնվում են տասնյակ միլիարդավոր տարիներ։

Աղյուսակ 10

Աստղերի գլխավոր հաջորդականության վրա գտնվելու ժամանակամիջոցը (*t*)

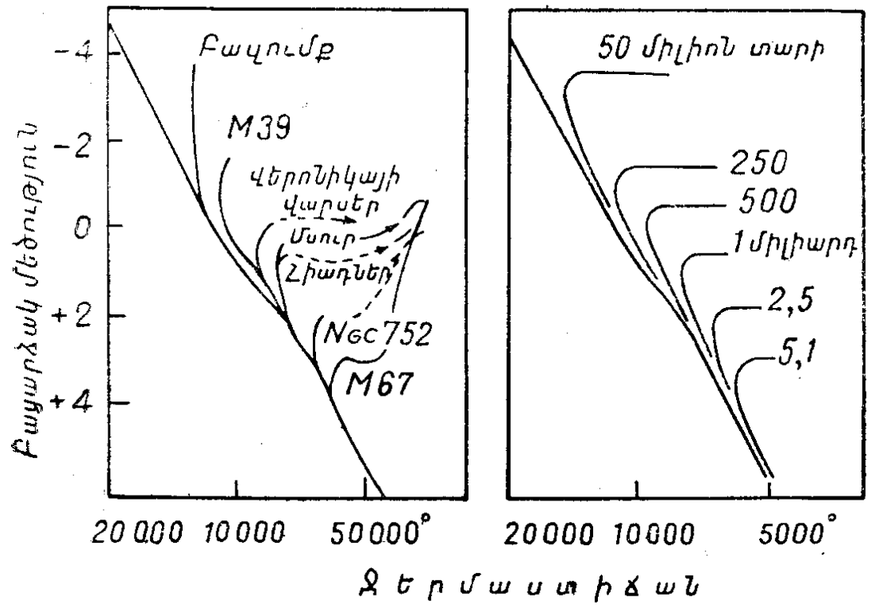
Սպեկտր	t (*միլիոն տարի*)	*Սպեկտր*	t (*միլիոն տարի*)
O7,5	12	A0	500
B0	50	A5	9 000
B2	100	F0	16 000
B5	400	F5	25 000
B8	1000	G0	40 000

Ակնհայտ է, որ ջերմամիջուկային ռեակցիաները կարող են ընթանալ միայն աստղի կենտրոնական, միջուկային մասում, որտեղ ջերմաստիճանը բավականաչափ բարձր է։ Աստղի միջուկային մասում նյութը գտնվում է անընդհատ շարժման մեջ և միշտ խառնվում է։ Ջերմամիջուկային ռեակցիաների ժամանակ ջրածնի «այրման» հետևանքով նրա քանակը աստղի ընդերքում աստիճանաբար պակասում է, իսկ հելիումինը՝ աճում։ Համապատասխանաբար նվազում են այդ միջուկային մասի կամ, այսպես կոչված, կոնվեկտիվ միջուկի շառավիղը և զանգվածը։ Այդ ընթացքում աստղը սպեկտր-լուսատվության դիագրամի վրա տեղափոխվում է դեպի աջ, ըստ որում այնքան ավելի արագ, որքան ավելի մեծ է նրա զանգվածը։ Դրա հետևանքով գլխավոր հաջորդականության վերին ծայրը աստիճանաբար շեղվում է դեպի աջ։ Այս ձևով ժամանակի ընթացքում փոխվում է համատեղ ձևավորված աստղերից կազմված ֆիզիկական համակարգի, օրինակ՝ աստղակույտի, գլխավոր հաջորդականության տեսքը սպեկտր-լուսատվության դիագրամի վրա (նկ. 158)։

Երբ աստղի միջուկում ամբողջ ջրածինը «այրվում», սպառվում է, ավարտվում է նրա զարգացման՝ ամենաերկար, գլխավոր հաջորդականությանը համապատասխանող փուլը։ Այդ փուլի տեվողությունը (աղ. 9) գրեթե հավասար է աստղի առավելագույն տարիքին։ Ենթադրվում է, որ այդ ժամանակ ջրածնի մասնակցությամբ ջերմամիջուկային ռեակցիաները դեռ շարունակվում են միջուկի արտաքին սահմանի մոտ։ Այդ ժամանակ միջուկը սեղմվում է, ներսից ճնշումը պակասելու հետևանքով, իսկ նյութի խտությունն ու ջերմաստիճանը՝ աճում։ Աճում են նաև աստղի շառավիղն ու լուսատվությունը, և այն աստիճանաբար հեռանա-

լով գլխավոր հաջորդականությունից անցնում է կարմիր հսկաների ճյուղը։

Կարմիր հսկայի փուլում, երբ աստղի ընդերքում ջերմաստիճանը հասնում է շուրջ հարյուր միլիոն աստիճանի, նրա միջուկում կարող են ընթանալ ջերմամիջուկային ռեակցիաներ հելիումի մասնակցությամբ, որի հետևանքով հելիումը փոխարկվում



Ջերմաստիճան

Նկ. 158. Բաց աստղակույտերի Հերցշպրունգ-Ռեսելի դիագրամները՝ դիտվող (ձախից) և տեսական։ Ուղղաձիգ առանցքի վրա տրված են աստղերի լուսատվությունները բնորոշող բացարձակ աստղային մեծությունները, իսկ հորիզոնական առանցքի վրա՝ սպեկտրը որոշող ջերմաստիճանները։ Երկու դիագրամի վրա էլ հոծ գծով նշված է գլխավոր հաջորդականությունը։ Տեսական դիագրամի վրա աջից տրված է աստղակույտի տարիքը, իսկ դիտվող դիագրամի վրա՝ անվանումը։

է ածխածնի։ Ջարգացման այս փուլի տևողությունն աստղի կյանքում շատ ավելի կարճ է։

Ենթադրվում է, որ աստղի հետագա զարգացումն ընթանում է առանց ջերմամիջուկային ռեակցիաների միջամտության։ Ջարգացման այդ փուլը, կախված աստղի զանգվածից, ավարտվում է կամ սպիտակ թզուկների փուլով, կամ Գերնոր աստղերի պայթյունների տիպի երևույթների հետևանքով աստղը անցնում է գերխիտ բաբախիչի (պուլսարի) փուլը։

Հարկ է ավելացնել, որ հավասարակշիռ վիճակներում գտնվող աստղերի ընդերքում ջերմամիջուկային ռեակցիաների հնարավորությունը կախված չէ այն բանից, թե ինչպես են ձևա-

վորվում աստղերը կամ ինչպիսին է նախաստղային նյութի բնույթը։

§ 126. Անկայուն օբյեկտները և երկնային մարմինների առաջացումն ու զարգացումը

Մինչև անցյալ դարի երկրորդ կեսը աստղագիտությունը գերազանցապես զբաղվում էր անփոփոխ երկնային մարմինների ուսումնասիրությամբ։ Իրականում այդ մարմինների նկատելի փոփոխությունները տեղի են ունենում այնքան դանդաղ, որ անմատչելի են նույնիսկ աստղագետների բազմաթիվ սերունդների կյանքի ընթացքում։ Միակ բացառությունը կազմում են Գերնոր ու Նոր աստղերը և գիսավորները, որոնք այդ շրջանում անհրաժեշտ ուշադրության չեն արժանացել։

Ժամանակակից աստղագիտությանը, սակայն, հաջողվել է բացահայտել տարբեր տեսակի շատ երկնային մարմիններ, որոնք արագ փոփոխություններ են ապրում անհամեմատ կարճ ժամանակամիջոցներում։ Այդ փոփոխությունները նրանց կյանքում երբեմն ճակատագրական են լինում։

Ներկայումս կարելի է հաստատված համարել այն տեսակետը, որ արագ և էական փոփոխությունները, ֆիզիկական և դինամիկական բնույթի անկայուն երևույթները խիստ բնորոշ են այն երկնային մարմիններին, որոնք գտնվում են իրենց զարգացման շրջադարձային փուլերում։

Մասնավորապես, աստղասփյուռների հայտնագործման ու ուսումնասիրության շնորհիվ աստղերում և նրանց համակարգերում բացահայտվել են դինամիկական ու ֆիզիկական բնույթի անկայունության բուռն դրսևորումներ (աստղերի ֆիզիկական խմբերի լայնացում ու քայքայում, աստղերի ճառագայթման անսովոր հզոր և արագ փոփոխություններ), որոնք սերտորեն կապված են նրանց վիճակների նկատելի փոփոխությունների, նրանց առաջացման և զարգացման հետ։

Անկայունության անհամեմատ ավելի մեծ մասշտաբների երևույթներ դիտվում են գալակտիկաների աշխարհում (դինամիկական տեսակետից անկայուն, քայքայվող համակարգեր, գալակտիկաների կորիզների ակտիվության դրսևորումներ, քվազարներ)։ Այդ երևույթները նույնպես կապված են հիշյալ օբյեկտների առաջացման ու էվոլյուցիայի հետ։

Հետևաբար, ֆիզիկական ու դինամիկական բնույթի բոլոր երևույթները ոչ թե հազվադեպ հանդիպող, պատահական, անո-

մալիաներ են աստղերի, գալակտիկաների ու նրանց համակարգերի կյանքում, ինչպես կարծում էին նախկինում, այլ օրինաչափ պրոցեսներ, վիճակների արագ կամ դանդաղ փոփոխությունների դրսևորումներ, որոնք արտացոլում են նրանց զարգացման ընթացքը։

Այդ տեսակետի օգտին են խոսում անկայուն աստղերի ու գալակտիկաների վերաբերյալ մեր քննարկած փաստերը, որոնք նոր լույս են սփռում երկնային մարմինների առաջացման պրոբլեմի վրա։

Նոր դիտողական արդյունքների ճնշման տակ, այսպիսով, հերքվեց աստղագիտության մեջ երկար ժամանակ իշխող այն պատկերացումը, թե բոլոր աստղերն ու գալակտիկաներն առաջացել են միաժամանակ, միլիարդավոր տարիներ առաջ, իսկ ներկայումս նրանք բոլորը գտնվում են անփոփոխ, կայուն վիճակներում։

Տիեզերական բնույթի անկայուն մարմինների ու երևույթների ուսումնասիրությունը վճռականորեն հաստատեց, որ աստղերի ու գալակտիկաների աշխարհում նոր օբյեկտների առաջացման, միլիարդավոր տարիներ առաջ սկսված պրոցեսները շարունակվում են նաև մեր դարաշրջանում։

Հանգիստ ու անփոփոխ Տիեզերքի վերաբերյալ պատկերացումը փոխվեց նոր, իրականությունը ճիշտ արտացոլող պատկերացմամբ, որի համաձայն անընդհատ փոփոխվող ու զարգացող Տիեզերքում մեր օրերում ևս ընթանում են նյութի տարբեր գոյաձևերի կազմավորման և զարգացման պրոցեսներ, որոնք ուղեկցվում են բուռն անկայունության տարբեր դրսևորումներով։

Ուստի, անկայուն օբյեկտները և երևույթները հսկայական նշանակություն ունեն երկնային մարմինների ու նրանց համակարգերի առաջացման և զարգացման օրինաչափությունների բացահայտման համար։

Աստղերի առաջացման պրոբլեմի լուծման համար նրանցից առանձնահատուկ նշանակություն ունեցան աստղասփյուռները։

§ 127. Աստղասփյուռներն ու աստղառաջացման պրոբլեմը

Երկնային մարմինների կյանքի փուլերի տևողությունը չափազանց մեծ է համեմատած մարդկության պատմության հետ։ Ուստի նրանց վիճակների արմատական փոփոխությունների (բացառյալ Գերնորերի և կարճպարբերական գիսավորների) անմիջական դիտումներն անհնարին են։

Երկնային մարմինների, մասնավորապես աստղերի առաջացման ու էվոլյուցիայի հարցերի ուսումնասիրության հետ կապված այս լուրջ դժվարության հաղթահարման հնարավորությունը ըստեղծվեց միայն այն բանից հետո, երբ պարզ դարձավ, որ Գալակտիկայում կան տարբեր տարիքի, հետևաբար իրենց զարգացման տարբեր փուլերում գտնվող աստղեր։ Աստղագիտական դիտումների համեմատությունից ընտրելով վիճակների կամ փուլերի այն հաջորդականությունը, որն աստղն անցնում է իր կյանքի ընթացքում, հնարավոր է որոշել նրա կյանքի ուղին, ինչպես նաև որոշակի եզրակացություններ անել աստղերի ձևավորման ու զարգացման օրինաչափությունների մասին։

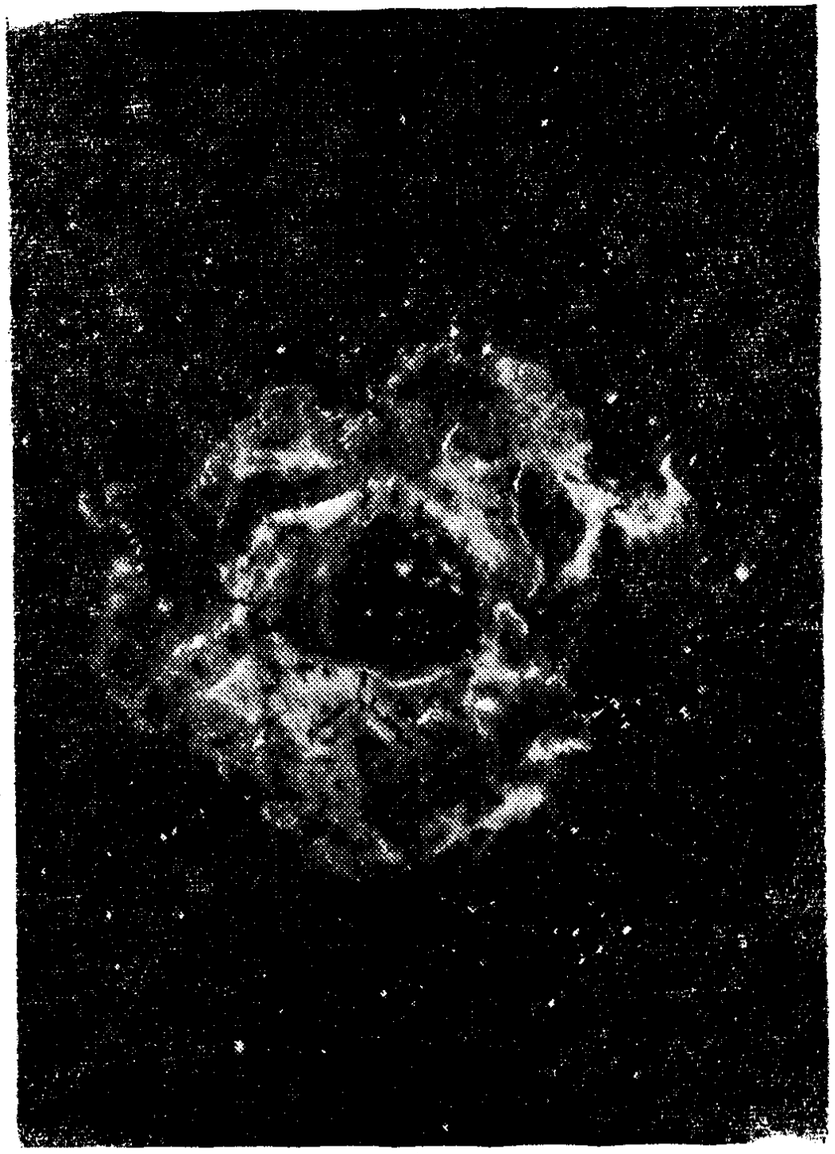
Այս գործում առաջին սկզբունքային հաջողությունը՝ Գալակտիկայում աստղերի զարգացման տարբեր փուլերի գոյության ապացույցը, կապված էր աստղաստղուների հայտնագործման հետ։

Ինչպես արդեն հայտնի է, աստղաստղուներն աստղերի դինամիկական տեսակետից անկայուն համակարգեր են, որոնք ներկայումս գտնվում են լայնացման ու քայքայման պրոցեսում։ Աստղաստղուների լայնացման միջին արագությունները (5—10 կմ/վրկ) վկայում են, որ նրանց տարիքը մի քանի տասնյակ միլիոն տարուց պակաս է։ Իսկ այդ ժամանակամիջոցը գրեթե հազար անգամ ավելի փոքր է Գալակտիկայի աստղերի մեծ մասի, այդ թվում Արեգակի, տարբեր եղանակներով գնահատված տարիքից, որը հաշվվում է միլիարդավոր տարիներով։ Հետևաբար պետք է ընդունել, որ աստղաստղուները շատ երիտասարդ գոյացումներ են Գալակտիկայում։

Մյուս կողմից, աստղերի ֆիզիկական խմբերում՝ բազմաստղերում, աստղակույտերում և աստղաստղուներում յուրաքանչյուր համակարգի բաղադրիչ աստղերն ունեն ընդհանուր ծագում, այսինքն՝ առաջացել են համատեղ։ Գալակտիկայում աստղային համակարգերը չեն կարող ձևավորվել նախկինում գոյություն ունեցող առանձին աստղերից, նրանց միավորման միջոցով։ Նույնիսկ երկու աստղերի պատահական հանդիպումների հավանականությունը Գալակտիկայում, նրանց փոխադարձ հսկայական հեռավորությունների պատճառով, չնչին է։

Ուստի պետք է ընդունել, որ տվյալ աստղաստղուի բոլոր աստղերը ձևավորվել են համատեղ և առնվազն նույնքան երիտասարդ են, որքան ինքը՝ աստղաստղուը։

Աստղաստղուներում աստղերի երիտասարդության վերաբերյալ այս եզրակացության օգտին անկախ վկայություն են այդ



Նկ. 159. Միեղջյուր I աստղաստղուը, որը տեղավորված է «Վարդակ» (Ռոզետ) դիֆուզ միգամածության մեջ։ Աստղաստղուի կորիզը NGC 2244 աստղակույտն է։

խմբերի որոշ աստղերից (P Կարապի, Վոլֆ-Ռայե տիպերի և սպեկտրներում պայծառ գծեր ունեցող ջերմ աստղեր) նյութի ուժեղ արտահոսքի և ջերմ հսկա ու գերհսկա աստղերի հզոր ճառագայթման հետևանքով նրանց զանգվածի կորստի գնահատականները։ Այդ գնահատականներից նույնպես հետևում է, որ հիշյալ

աստղերի տարիքը չի անցնում մի քանի տասնյակ միլիոն տարուց:

Գալակտիկայում Արեգակի նման ծեր աստղերի կողքին, վերջերս ձևավորված երիտասարդ աստղերի անկայուն խմբերի՝ աստղասփյուռների գոյության փաստից անխուսափելիորեն հետևում է, որ աստղառաջացման երևույթները, որոնք մեր աստղային համակարգում սկսվել են դեռևս միլիարդավոր տարիներ առաջ, շարունակվում են նաև նրա զարգացման արդի փուլում:

Աստղասփյուռների կառուցվածքի կարևոր առանձնահատկությունը նրանց մեջ բազմաստղերի, աստղաշղթաների և աստղակույտերի առատությունն է: Այդ աստղախմբերի մեծ մասը (Տրապեցիայի տիպի բազմաստղեր, աստղաշղթաներ և այլն) անկայուն է, որի հետևանքով քայքայվում է շատ ավելի արագ, քան մայր աստղասփյուռը: Աստղասփյուռներում անկայուն խմբերի առատության փաստը վկայում է այն մասին, որ աստղերը ծնվում են ոչ թե առանձին-առանձին, այլ խմբերով:

Այսպիսով, աստղասփյուռների ուսումնասիրությունից կարելի է անել հետևյալ երկու արմատական եզրակացությունը:

Աստղասփյուռները երիտասարդ համակարգեր են, աստղառաջացման օջախներ, որտեղ ձևավորվում են աստղերը:

Աստղերը ձևավորվում են խմբերով, բազմաստղերի, աստղաշղթաների և բաց աստղակույտերի ձևով, որոնց մեծ մասը, դինամիկական անկայունության հետևանքով, արագ քայքայվում է:

Աստղերի ու աստղային համակարգերի առաջացման հարցերի տեսակետից այդ եզրակացություններն ունեն սկզբունքային նշանակություն: Սակայն այդ հարցերի կոնկրետ լուծումը կարիք ունի աստղասփյուռների հետագա խորը և բազմակողմանի ուսումնասիրության:

§ 128. Արեգակնային համակարգության առաջացման մասին

Մեր մոլորակային համակարգությունը միակը չէ Գալակտիկայում: Կան վկայություններ այն մասին, որ Գալակտիկայում որոշ մոտակա աստղերի շուրջը նույնպես գոյություն ունեն մութ մարմիններ՝ մոլորակներ: Մոլորակային համակարգությունների ընդհանուր թիվը Գալակտիկայում պետք է շատ մեծ լինի (ամենազուսպ գնահատականների համաձայն մի քանի միլիոն): Սակայն դրանցից մեզ լավ հայտնի է միայն մեկը՝ Արեգակնային համակարգությունը: Մենք առայժմ, ոչինչ չգիտենք այլ, հավանաբար զարգացման տարբեր փուլերում գտնվող, մոլորակային համակարգությունների մասին, որոնց համեմատությունը թույլ տար գաղափար կազմելու նրանց զարգացման օրինաչափությունների մասին:

Դրանով պետք է բացատրել այն փաստը, որ մինչև օրս որոշակի գրեթե ոչինչ մեզ հայտնի չէ մեր մոլորակային համակարգության առաջացման ու զարգացման մասին և նրա էվոլյուցիայի հարցերը դեռևս դուրս չեն եկել մտազննական քննարկման շրջանակներից:

Արեգակնային համակարգության առաջացման վերաբերյալ մշակված վարկածներից մեկը՝ Կանտ-Լապլասի վարկածը, վերվում շարադրվել է:

Այդ վարկածի ամենալուրջ, անհաղթահարելի դժվարությունը նրա անկարողությունն է բացատրելու շարժման մոմենտի դիտվող խիստ անհավասարաչափ բաշխումը Արեգակնային համակարգությունում, երբ զանգվածի հիմնական մասը գտնվում է Արեգակում, իսկ շարժման մոմենտի առյուծի բաժինը՝ չնչին զանգված ունեցող մոլորակներում:

Վերջին շրջանում այդ դժվարությունը հաղթահարելու նպատակով քննարկվել են այն մեխանիզմները, որոնք կարող են ապահովել գազափոշային ամպի սեղմման ժամանակ շարժման մոմենտի զգալի մասի տեղափոխումը դեպի նրա արտաքին մասերը, որտեղ, վարկածի համաձայն, ձևավորվում են մոլորակները: Պարզվում է, որ դա սկզբունքորեն չի բացառվում մագնիսական դաշտի առկայության դեպքում: Սակայն, հարցի բազմակողմանի վերլուծությունից հետևում է, որ ջերմ գազային ամպի սեղմման միջոցով մոլորակների առաջացման վարկածը, ընդհանրապես, կապված է նաև այլ էական դժվարությունների հետ և ներկայումս չի լարող լրջորեն քննարկվել որպես Արեգակնային համակարգության առաջացման ընդունելի բացատրություն:

Արեգակնային համակարգության առաջացման նոր վարկածներից կարելի է հիշատակել սովետական գիտնական Օ. Յու. Շմիդտի վարկածը, որը լայն տարածում է ստացել հատկապես գեոֆիզիկոսների շրջանում: Նա ենթադրում է, որ մոլորակներն առաջացել են գերազանցապես փոշային սառն ամպի խտացման հետևանքով, երբ այն բռնագրավվել է Արեգակի կողմից: Այս վարկածի առաջին մասի համար բնորոշ են սեղմման միջոցով մոլորակների առաջացման վերաբերյալ բոլոր նախկին վարկածների դժվարությունները: Վարկածի երկրորդ, Արեգակի կողմից նախնական ամպի բռնագրավմանը վերաբերող մասը շատ ա-

վելի արհեստական է՝ բոնագրավման հավանականությունը գալակտիկայում գրեթե չի տարբերվում զրոյից։

Այսպիսով, Արեգակնային համակարգության առաջացման պրոբլեմը մտազննական վարկածների միջոցով մինչև այժմ չի հաջողվել լուծել։ Ինչ վերաբերում է դիտողական տվյալների հիման վրա նրա քննարկմանը, ապա այդ բանը առայժմ հնարավոր չէ, այլ մոլորակային համակարգերի վերաբերյալ դիտողական փաստերի բացակայության պատճառով։

Սակայն, անկասկած է, որ մոլորակային համակարգը և Արեգակը ձևավորվել են համատեղ և Արեգակնային համակարգությունը ոչնչով էապես չի տարբերվում բազմաստղերից։ Այդ տեսակետից, Արեգակնային համակարգության առաջացման լուծումը պետք է փնտրել բազմաստղերի առաջացման պատկերացումների շրջանակներում։

§ 129. Գալակտիկաների և նրանց համակարգերի առաջացման մասին

Գալակտիկաների աշխարհում անկայուն օբյեկտների, դինամիկական ու ֆիզիկական բնույթի անկայունության հայտնագործման շնորհիվ նրանց էվոլյուցիայի հարցերը ներկայումս արդեն կարելի է քննարկել փաստացի դիտողական նյութի օգնությամբ։

Դիտումները վկայում են, որ գալակտիկաների ու նրանց համակարգերի ձևավորումը չի ավարտվել միլիարդավոր տարիներ առաջ։ Ներկայումս գալակտիկաների համակարգերում և առանձին գալակտիկաներում ընթանում են նոր կառուցվածքային բաղադրիչների ձևավորման և զարգացման պրոցեսներ, որոնք ուղեկցվում են ինչպես դինամիկական (լայնացման ու քայքայման), այնպես էլ ֆիզիկական (պայթյուններ, հզոր ռադիո, ուլտրամանուշակագույն և ինֆրակարմիր ճառագայթումներ, լիցքավորված մասնիկների սինխրոտրոնային ճառագայթում և այլն) անկայունության դրսևորումներով։

Ջափազանց կարևոր է այն փաստը, որ հիշյալ երևույթներում վճռական դեր են խաղում գալակտիկաների կորիզները, որոնք օժտված են արտասովոր հատկություններով. բոլոր հայտնի դեպքերում ունեն շատ փոքր չափեր, սակայն զանգվածի և էներգիայի հսկայական պաշարներ։

Գալակտիկաների կորիզների և, հավանաբար, միևնույն բնույթ ունեցող քվազարների արտասովոր հատկությունները (փոխականություն, պայթյուններ, հզոր ճառագայթում և այլն) անհնար է բացատրել այն ենթադրության դեպքերում, թե նրանք կազմված են միայն աստղերից և դիֆուզ գազա-փոշային նյութից։ Մասնավորապես, նրանց հզոր ճառագայթումը չի կարելի բացատրել, եթե նույնիսկ ընդունենք, որ այդ օբյեկտների ամբողջ զանգվածը մասնակցում է ջերմամիջուկային ռեակցիաների և զանգված-էներգիա հայտնի առնչության համապատասխան փոխարկվում էներգիայի։

Հետևաբար պետք է ենթադրել, որ գալակտիկաների կորիզների ակտիվությունը հարուցվում է, թերևս, էներգիայի միանգամայն նոր, դիտությանն առայժմ անհայտ աղբյուրների կողմից, որոնք իրենց հերթին կապված են նյութի անծանոթ վիճակների հետ։

Գալակտիկաների ու նրանց համակարգերի առաջացման կարևոր հարցերը ներկայումս ուսումնասիրվում են ամենատարբեր տեսակետներից, սակայն նրանց վերջնական լուծումից մենք դեռ շատ հեռու ենք։ Առայժմ, թերևս, անվիճելի է այն, որ առաջացման ու զարգացման այդ պրոցեսների համար ընդհանուր ուղղությունը համընկնում է նյութի մեծ զանգվածների արտանետումների, արտահոսքի և ցրման երևույթների հետ, որոնց մեջ կարևոր դեր են խաղում գալակտիկաների կորիզները։

§ 130. Նյութի նախաստղային վիճակի մասին

Մինչև աստղաստվությունների հայտնագործումը գիտության մեջ անվերապահորեն իշխում էր այն պատկերացումը, որ աստղերը ձևավորվում են նոսր, դիֆուզ նյութի խտացման հետևանքով։ Ենթադրվում է, որ այդ պատկերացման օգտին շատ ծանրակշիռ փաստարկ է այն իրողությունը, որ զգալի քանակներով դիֆուզ նյութ սովորաբար դիտվում է Գալակտիկայի հենց այն տիրույթներում, որտեղ աստղառաջացման երևույթները ներկայումս շարունակվում են։

Հսկայական դիֆուզ միգամածությունները շատ հաճախ կապված են բաց աստղակույտերի և աստղաստվությունների հետ։ Օրինակ, Օրիոնի և «Վարդակ» (նկ. 159) միգամածությունները համապատասխանաբար կապված են Օրիոնի և Միեղջյուրի (NGC 2244) աստղաստվությունների հետ, որոնք հարուստ են ջերմ հսկա ու գերհսկա, ինչպես նաև T Ցուլի տիպի աստղերով։ Շատ ավելի փոքր գիսավորաձև միգամածությունները, որպես կանոն, կապված են T Ցուլի տիպի և նրանց հարող փոփոխական աստղերի հետ։

Այս և նման փաստերը վկայում են, որ երիտասարդ աստղերն ու դիֆուզ նյութի մեծ քանակներն իրար հետ կապված են ի ծնե։ Սակայն, այդ փաստը չի կարելի դիտարկել որպես ապացույց այն բանի, թե աստղերը ձևավորվում են գազանյութից՝ նրա խտացման հետևանքով։ Այդ փաստի նման բացատրությունը միակ հնարավորը չէ։

Աստղաստյուների կառուցվածքի, նրանց դինամիկական անկայունության հետ կապված մի շարք դիտողական փաստերի մեկնաբանությունը, դիֆուզ նյութի խտացման միջոցով աստղերի առաջացման վարկածի շրջանակներում, հանդիպում է շատ լուրջ դժվարությունների։

Այսպես, գազային նյութից աստղերի ձևավորման պրոցեսը շատ հանգիստ պրոցես է և ի վիճակի չէ բացատրելու աստղերից զանգվածի զգալի քանակների արտավիժման և արտահոսքի երևույթները, որոնք կապված են էներգիայի մեծ պաշարների ազատման հետ։ Մյուս կողմից, դիֆուզ նյութի չնչին քանակը Գալակտիկայում՝ նրա ընդհանուր զանգվածի շուրջ 1/100 մասը, գազի խտացման միջոցով աստղերի ձևավորման վարկածի իրավացիության դեպքում կվկայեր աստղառաջացման երևույթների մարման մասին։ Մինչդեռ Գալակտիկայում աստղաստյուների բազմաքանակության փաստից հետևում է, որ աստղառաջացման երևույթները ներկայումս ընթանում են գրեթե նույն թափով, ինչ որ հեռավոր անցյալում։

Ավելին, մենք արդեն գիտենք, որ որոշ աստղեր (Նոր և Գերնոր աստղեր, P Կարապի, T Ցուլի, Վոլֆ-Ռայե տիպերի ու սպեկտրներում պայծառ գծեր ունեցող այլ դասերի աստղեր) իրենք են արտավիժում գազանյութի զգալի քանակներ։ Սակայն դիտումները վկայում են, որ Գալակտիկայում դիտվող գազանյութի մի մասն է միայն առաջացել այդ ձևով։ Աստղերից գազանյութի արտահոսքի միջոցով հնարավոր չէ բացատրել, օրինակ, հսկայական գազային միգամածությունների առաջացումը։

Ուստի պետք է ընդունել, որ ո՛չ աստղերն են ձևավորվում գազանյութից և ո՛չ էլ Գալակտիկայում եղած ամբողջ գազանյութն է դուրս եկել աստղերից։ Մնում է միայն ենթադրել, որ աստղերը և դիֆուզ նյութը ձևավորվում են համատեղ, նյութի մեզ անծանոթ գոյաձևերից։

Այս ենթադրությունից է ելնում նախաստղային գերխիտ նյութի վարկածը, որը մշակվել է Բյուրականի աստղադիտարանում և որի համաձայն աստղերն ու դիֆուզ նյութը ձևավորվում են փոքր

չափերի գերխիտ մարմինների՝ նախաստղերի տրոհման հետևանքով։

Նախաստղային գերխիտ նյութի վարկածը աստղաստյուների տեսության տրամաբանական շարունակությունն է և որակապես բացատրում է երիտասարդ աստղերի այդ համակարգերի կառուցվածքը և զարգացման օրինաչափությունները։ Նոր վարկածը հաջողությամբ բացատրում է, մասնավորապես, աստղաստյուներում աստղերի և գազանյութի շարժումներին վերաբերող դիտողական փաստերը։ Այդ կապակցությամբ հարց է ծագում, թե արդյոք, սկզբունքորեն հնարավո՞ր է գերխիտ նյութից կազմված գանգվածների գոյությունը, որոնց տրոհման հետևանքով կարող են ձևավորվել աստղերն ու միգամածությունները։ Բացի մեծ խտությունից այդ մարմինները պետք է օժտված լինեն նաև ներքին էներգիայի հսկայական պաշարներով։ Այդ էներգիան, որը մեծ քանակներով ազատվում է գերխիտ նյութի տրոհման ժամանակ, մենք անմիջականորեն դիտում ենք երիտասարդ աստղախմբերի լայնացման շարժումների էներգիաների ձևով։

Մինչև վերջերս մեզ հայտնի ամենախիտ տիեզերական մարմինները սպիտակ թզուկներն էին, որոնց նյութի միջին խտությունը հասնում է տասնյակ և ավելի տոննի մեկ խորանարդ սանտիմետրում։ Այդ աստղերի նյութը կազմված է միայն տարրական մասնիկներից՝ ատոմների մերկացած միջուկներից և ազատ էլեկտրոններից։ Սակայն տեսությունից հայտնի է, որ սկզբունքորեն հնարավոր է հիմնականում նեյտրոններից կազմված շատ ավելի մեծ խտություն ունեցող աստղերի գոյությունը (նեյտրոնային աստղեր)։ Ներկայումս արդեն հիմքեր կան կարծելու, որ բաբախիչները հենց նեյտրոնային աստղեր են։

Տեսականորեն հիմնավորված է նաև այնպիսի աստղերի գոյության հնարավորությունը, որոնց նյութի միջին խտությունը կարող է գերազանցել ատոմական միջուկների խտությանը (շուրջ միլիարդ տոնն մեկ խորանարդ սանտիմետրում)։ Այդ դեպքում գերխիտ աստղը պետք է կազմված լինի, հիմնականում, ծանր տարրական մասնիկներից՝ հիպերոններից (հիպերոնային աստղեր), որոնք երկրային պայմաններում չափազանց անկայուն են (նրանց կյանքի տևողությունը վայրկյանի միլիարդերորդ մասից ավելի կարճ է), սակայն գերխիտ գազում կայունանում են։

Պարզվել է, որ նյութի այդպիսի մեծ խտություն ունեցող գանգվածները պետք է օժտված լինեն ներքին էներգիայի մեծ

պաշարներով, որը պայմանավորված է նրանց ուժեղ սեփական ձգողական դաշտի ազդեցությամբ։

Նախաստղային գերխիտ մարմինների անմիջական դիտումներ հայտնի օպտիկական և ռադիո մեթոդներով մինչև այժմ չի հաջողվել իրականացնել։ Այդ տեսակետից, առանձնահատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում Տիեզերքում գերխիտ նյութի գոյության անուղղակի վկայությունների հայտնաբերումը երիտասարդ, անկայուն աստղերում, որոնց ընդերքում, հավանաբար, դեռ պահպանվել են նախաստղային գերխիտ նյութի մնացուկները։

T Ցուլի տիպի և բռնկվող աստղերի դիտումներն արդեն տվել են այդ ենթադրության օգտին որոշ հաստատումներ։ Օրինակ, նրանց ճառագայթման անսովոր փոփոխությունները կարող են հաջողությամբ բացատրվել գերխիտ նախաստղային նյութի վարկածի միջոցով։

Այդ վարկածի օգտին որպես լուրջ փաստարկներ կարող են քննարկվել նաև գալակտիկաների կորիզների ակտիվության երևույթի ուսումնասիրության արդյունքները։ Մասնավորապես, նրանք վկայում են, թե գալակտիկաների կորիզների ակտիվության պատճառը նրանց մեջ շատ փոքր չափերի և անհայտ բնույթի զանգվածային մարմինների առկայությունն է, որոնք և հանդիսանում են նյութի ու էներգիայի արտասովոր հզորության աղբյուրներ։

ՀԱՎԵԼՎԱԾՆԵՐ

1. ՄՈԼՈՐԱԿՆԵՐԻ ՈՒՂԵԾՐԵՐԻ ՏԱՐՐԵՐԸ

Մոլորակ	Ուղեծրի մեծ կիսառանցքը		Պտտման սիդերիկ ժամանակաշրջանը օրերով	Պտտման սինոդիկ ժամանակաշրջանը օրերով	Ուղեծրի էքսցենտրիսիտետը	Ուղեծրի թեքումը խավարածիրի նկատմամբ
	աստղագիտական միավորներով	միլիոն կմ				
Մերկուրի	0,39	57,91	87,97	115,88	0,21	7° 0°
Վեներա	0,72	108,21	224,70	583,92	0,01	3 24
Երկիր	1,00	365,26	365,26	—	0,02	0 00
Մարս	1,52	227,84	686,98	779,94	0,09	1 51
Յուպիտեր	5,20	778,34	4332,59	398,88	0,05	1 18
Սատուրն	9,54	1427,20	10759,21	378,09	0,06	2 29
Ուրան	19,18	2869,30	30685	369,66	0,05	0 46
Նեպտուն	30,07	4498,50	60188	365,49	0,01	1 46
Պլուտոն	39,44	5899,10	90700	366,74	0,25	17 08

2. ՄՈԼՈՐԱԿՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԸ

Մոլորակ	Հասարակածային տրամագիծը (Երկրինը ընդունված է 1-ի)	Զանգվածը (Երկրինը ընդունված է 1-ի)	Առանցքային պտտման տևողությունը	Ալբեդոն	Սեղմվածությունը բևեռներից	Պարաբոլական արագությունը կմ/վրկ
Մերկուրի	0,38	0,06	58,6 օր	0,07	0,000	4,3
Վեներա	0,95	0,81	243,2 օր	0,76	0,000	10,4
Երկիր	1,00	1,00	23,93 ժ.	0,36	0,003	11,2
Մարս	0,53	0,11	24,62 ժ.	0,16	0,005	5,0
Յուպիտեր	11,2	318,4	9,83 ժ.	0,73	0,062	61
Սատուրն	9,4	95,1	10,23 ժ.	0,76	0,103	36
Ուրան	4,2	14,6	10,82 ժ.	0,93	0,07	22
Նեպտուն	3,9	17,2	15,80 ժ.	0,84	0,02	24
Պլուտոն	1	0,9	6,4 օր	0,15	—	—

3. ՄՈԼՈՐԱԿՆԵՐԻ ԱՐԲԱՆՅԱԿՆԵՐԻ ՏՎՅԱԼՆԵՐԸ

Մոլորակ	Արբանյակ	Միջին հեռավորությունը մոլորակի կենտրոնից (հազար կմ)	Պտտման պարբերությունը (օրերով)	Շառավիղը (կմ)	Զանգվածը (10^{21} կգ)	Ատոպային ուժությունը
1	2	3	4	5	6	7
Երկիր	Լուսին	384,4	27,3	1740	73,8	—12,7
Մարս	Ֆոբոս	9,4	0,3	11		+11,5
	Դեյմոս	43,5	1,3	6		12,5
Յուպիտեր	Իո	421,8	1,8	1660	79	5,5
	Եվրոպա	671,4	3,6	1440	47,8	5,7
	Հանիմեդ	1071	7,2	2470	153	5,1
	Կալիստո	1884	16,7	2340	90	6,3
	Ամալտեյա	181	0,5	80		13,0
	Հիմալիա	11500	250,6	60		13,7
	Էլարա	11750	259,8	20		16,2
	Պասիֆե	23500	738,9	20		16,2
	Սինոպե	23700	755	11		17,7
	Լիպխտեյա	11750	260	10		17,9
	Կարմե	22500	696	12		17,5
	Անանկե	21000	625	10		18,1
	Լեդա	12400	282			20,0
	14	10800	230			21,0
Սատուրն	Միմաս	185,7	0,9	260	0,04	12,1
	Էնցելադ	238,2	1,4	300	0,07	11,7
	Տեֆիա	294,8	1,9	600	0,65	10,6
	Դիոնա	377,7	2,7	650	1,03	10,7
	Ռեյա	527,5	4,5	900	2,3	10,0
	Տիտան	1223	15,9	2900	137	8,3
	Հիպերիոն	1484	21,3	200	0,11	14
	Յապետ	3563	79,3	600	5	11
	Ֆեբա	12950	550,5	150		14,5
	Ջանուս	157,5	0,7	300		14
Ուրան	Արիել	191,8	2,5	300		15,5
	Ումբրիել	267,3	4,1	200		16,0
	Տիտանիա	438,7	8,7	500		14,0
	Օբերոն	586,6	13,5	400		14,2
	Միրանդա	130,1	1,4			17
Նեպտուն	Տրիտոն	353,6	5,9	2000	150	13,6
	Ներեիդա	6000	500	150	0,05	19,5

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Էջ

Ներածություն 3

§ 1. Աստղագիտության առարկան և բաժինները (3)։ § 2. Աստղագիտության նշանակությունը (6)։ § 3. Աստղագիտությունը գիտողական գիտություն է (8)։ § 4. Աստղագիտության տեղը բնական գիտությունների շարքում (9)։ § 5. Տիեզերքի կառուցվածքի համառոտ ուրվագիծ (10)։

ԳԼՈՒԽ I. ԵՐԿՆՈԼՈՐՏԻ ՏԵՍԱՆԵԼԻ ՇԱՐԺՈՒՄԸ 12

§ 6. Երկնոլորտ (12)։ § 7. Երկնային կոորդինատներ (13)։ § 8. Բևեռի բարձրության կախումը աշխարհագրական լայնությունից (16)։ § 9. Երկնոլորտի տեսանելի օրապտույտը տարբեր աշխարհագրական լայնություններում (16)։ § 10. Արեգակի տեսանելի շարժումը։ Խավարածիր (18)։ § 11. Կոորդինատների խավարածրային (էկլիպտիկական) համակարգ (22)։ § 12. Հիմնական տեղեկություններ ոլորտային (սֆերիկական) եռանկյունաչափությունից (23)։ § 13. Պարալակտիկ եռանկյուն (26)։ § 14. Ռեֆրակցիա (29)։ § 15. Տեղի աշխարհադրական լայնության որոշելը (53)։ § 16. Տեղի աշխարհագրական երկայնության որոշելը (34)։ § 17. Ժամանակի չափումը (35)։ § 18. Աստղային և արեգակնային ժամանակներ (35)։ § 19. Տեղական, գոտիական և դեկրետային ժամանակներ (37)։ § 20. Ամսաթվի փոփոխման գիծ (39)։ § 21. Օրացույցներ (39)։ § 22. Դարագլուխներ (էրաներ) (41)։

ԳԼՈՒԽ II. ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԱՆ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐ, ԴԻՏՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ 43

§ 23. Էլեկտրամագնիսական ճառագայթում (43)։ § 24. Օպտիկական աստղադիտակներ (45)։ § 25. Ռադիոաստղադիտակներ (49)։ § 26. Աստղադիտակների հատարակածային տեղակայք (52)։ § 27. Ճառագայթման ընդունիչներ (54)։ § 28. Աստղադիտարաններ (54)։ § 29. Աստղալուսաչափություն և սպեկտրալուսաչափություն (56)։ § 30. Սպեկտրների առաջացումը (58)։ § 31. Երկնային մարմինների սպեկտրները (61)։ § 32. Ճառագայթման օրենքները (63)։ § 33. Դոպլերի սկզբունքը (64)։

ԳԼՈՒԽ III. ԱՐԵԳԱԿՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒԹՅԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ ԵՎ ՆՐԱ ԱՆԴԱՄՆԵՐԻ ՇԱՐԺՈՒՄԸ 68

§ 34. Աշխարհայացքների զարգացումը Արեգակնային համակարգության մասին (68)։ § 35. Կեպլերի օրենքները (76)։ § 36. Տիեզերական ձգողականության օրենքը (77)։ § 37. Կեպլերի ընդհանրացված օրենքները (83)։ § 38. Արեգակնային համակարգության անդամների զանգվածների որոշելը (88)։ § 39. Էֆեմերիդների որոշելը (91)։ § 40. Դաղափար մոլորակների ու Լուսնի շարժումների խանգարումների մասին (95)։ § 41. Մակընթացություններ և տեղատվություններ (98)։

ԳԼՈՒԽ IV. ԵՐԿՆԱՅԻՆ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ՀԵՌԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐ ՉԱՓԵՐԻ ՈՐՈՇԵԼԸ 102

§ 42. Երկրի ձևը և չափերը (102)։ § 43. Երկնային մարմինների հեռավորությունների որոշելը օրական պարալաքս (106)։ § 44. Սկավառակի տեսքով երևվացող լուսատուների չափերի որոշելը (111)։ § 45. Աստղերի հեռավորությունների որոշելը եռանկյունաչափական մեթոդով։ Տարեկան պարալաքս (112)։ § 46. Հեռավորությունների միավորները աստղագիտության մեջ (113)։

ԳԼՈՒԽ V. ԵՐԿՐԻ ԵՎ ՎՈՒՄՆԻ ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐԸ . . . 115

§ 47. Երկրի պտույտն իր առանցքի շուրջը (115)։ § 48. Պրեցեսիա և նուտացիա (116)։ § 49. Աբերացիայի երևույթը (119)։ § 50. Լուսնի ուղեծիրը (121)։ § 51. Լուսնային ամիսներ (122)։ § 52. Լուսնի փուլերը (123)։ § 53. Լուսնի պտույտը և ճոճումները (լիբրացիաներ) (124)։ § 54. Արեգակի և Լուսնի խավարումները (126)։

ԳԼՈՒԽ VI. ԱՐԵԳԱԿՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒԹՅԱՆ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԸ 133

§ 55. Մերկուրի (Փայլածու) (133)։ § 56. Վեներա (Արուսյակ) (135)։ § 57. Երկիր, Լուսին (138)։ § 58. Մարս (Հրատ) (143)։ § 59. Փոքր մոլորակներ (149)։ § 60. Յուպիտեր (Լուսնթագ) (151)։ § 61. Սատուրն (Երևակ) (154)։ § 62. Ուրան (156)։ § 63. Նեպտուն (157)։ § 64. Պլուտոն (158)։ § 65. Գիսավոր ներ (159)։ § 66. Աստղեր և բոլիդներ (163)։ § 67։ Արհեստական երկնային մարմիններ (169)։

ԳԼՈՒԽ VII. ԱՐԵԳԱԿ 180

§ 68. Արեգակը որպես ուսումնասիրության օբյեկտ (180)։ § 69. Արեգակի արտաքին տեսքը (181)։ § 70. Արեգակի առանցքային պտույտը (184)։ § 71. Արեգակի դանդվածը, շառավիղը և խտությունը (186)։ § 72. Արեգակի լուսատվությունը։ Արեգակնային հաստատուն (187)։ § 73. Արեգակի լուսոլորտը (188)։ § 74. Արեգակի գունոլորտը (189)։ § 75. Արևապսակ (190)։ § 76. Արեգակի ակտիվությունը (192)։ § 77. Արեգակի սպեկտրը (196)։ § 78. Արեգակի ռադիոճառագայթումը (197)։ § 79. Արեգակի ճառագայթման ազդեցությունը Երկրագնդի վրա (199)։

ԳԼՈՒԽ VIII. ԱՍՏՂԵՐ 202

§ 80. Աստղերի տեսանելի մեծությունները (202)։ § 81. Աստղերի բացարձակ մեծություններ և լուսատվություններ (205)։ § 82. Աստղերի չերմաստիճաններն ու գույները։ Գույնի ցուցիչներ (207)։ § 83. Աստղերի սպեկտրները (208)։ § 84. Սպեկտր-լուսատվություն դիագրամը (213)։ § 85. Աստղերի քիմիական բաղադրությունը (215)։ § 86. Կրկնակի աստղեր (217)։ § 87. Աստղերի չափերը (220)։ § 88. Աստղերի զանգվածները (221)։ § 89. Սպիտակ թզուկներ (224)։ § 90. Բաբախիչներ (226)։ § 91. Աստղերի մթնոլորտները (227)։ § 92. Փոփոխական աստղեր (228)։ § 93. Ցեֆեիդներ և RR Քնարի տիպի փոփոխական աստղեր (229)։ § 94. Այլ տիպերի բաբախող փոփոխական աստղեր (231)։ § 95. Նոր աստղեր (233)։ § 96. Գերնոր աստղեր (235)։ § 97. Աստղային սպեկտրներում պայծառ գծերի և շերտերի առաջացման հնարավոր բացատրությունը (237)։ § 98. P Կարապի և Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղեր (238)։ § 99. T Ցուլի տիպի փոփոխական աստղեր (240)։ § 100. Բռնկվող աստղեր (241)։ § 101. Ֆուորներ (242)։ § 102. U Երկվորյակների տիպի փոփոխական աստղեր (244)։

ԳԼՈՒԽ IX. ՄԵՐ ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆ 245

§ 103. Գալակտիկայի բնակչությունը (245)։ § 104. Աստղերի տարածական դիրքի որոշումը Գալակտիկայում (245)։ § 105. Բազմաստղեր։ Աստղակույտեր։ (248)։ § 106. Աստղասփյուռներ (251)։ § 107. Միգամածություններ (254)։ § 108. Միջաստղային նյութը և լույսի կլանման երևույթը (257)։ § 109. Լույսի բևեռացման երևույթը (261)։ § 110. Գալակտիկայի կառուցվածքը (263)։ § 111. Աստղերի տարածական շարժումները (267)։ § 112. Արեգակի տարածական շարժումը (269)։ § 113. Գալակտիկայի պտույտը (271)։ § 114. Աստղերի շարժումները աստղախմբերում։ Դինամիկական տեսակետից անկայուն աստղախմբեր (275)։ § 115. Աստղասփյուռների լայնացումը (278)։ § 116. Գալակտիկայի ռադիոճառագայթումը (280)։

ԳԼՈՒԽ X. ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐ 284

§ 117. Գալակտիկանների դասակարգումը (284)։ § 118. Գալակտիկանների հեռավորությունները։ Կարմիր շեղման երևույթը (289)։ § 119. Գալակտիկանների չափերը, լուսատվությունները և զանգվածները (293)։ § 120. Ռադիոգալակտիկաններ և քվազարներ (297)։ § 121. Գալակտիկանների կորիզները. նրանց ակտիվությունը (303)։ § 122. Գալակտիկանների ֆիզիկական խմբեր (306)։

ԳԼՈՒԽ XI. ԵՐԿՆԱՅԻՆ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՈՒՄՆ ՈՒ ԷՎՈԼՅՈՒՑԻԱՆ 311

§ 123. Մոլորակների ու աստղերի առաջացման ու զարգացման վերաբերյալ առաջին գիտական պատկերացումները (312)։ § 124. Աստղերի էներգիայի աղբյուրների մասին (315)։ § 125. Աստղերի էվոլյուցիան չերմամիջուկային ռեակցիաների ազդեցության տակ (318)։ § 126. Անկայուն օբյեկտները և երկնային մարմինների առաջացումն ու զարգացումը (322)։ § 127. Աստղասփյուռներն ու աստղառաջացման պրոբլեմը (323)։ § 128. Արեգակնային համակարգության առաջացման մասին (326)։ § 129. Գալակտիկանների և նրանց համակարգերի առաջացման մասին (328)։ § 130. Նյութի նախաստղային վիճակի մասին (329)։

ՀԱՎԵԼՎԱԾՆԵՐ 332

ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ ԲՆՆԻԿ ԵՍԱՅԻ,
ՄԻՐՋՈՅԱՆ ԼՅՈՒԴՎԻԿ ՎԱՍԻԼԻ

ԱՍՏՂԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Հրատարակության է ներկայացրել համալսարանի աստղաֆիզիկայի ամբիոնը

Նկատված վրիպակներ

էջ	տող	տպված է	պետք է լինի
15	6 վ.	1	1h
15	7 վ.	4	4s
15	7 ն.	V	γ
36	23 վ.	15	16
131	11 ն.	U_6	6
138	11 ն.	6.10^{72}	6.10^{27}
333	հավ. 1.	0^0	0′
	VII սյուն.		
	I տող		

պ. 446

Խմբագիր՝ Հ. Մ. Թովմասյան
Հրատ. խմբագիր՝ Օ. Պ. Համբարձումյան
Նկարիչ՝ Հ. Կ. Մնացականյան
Գեղ. խմբագիր՝ Ն. Ա. Թովմասյան
Տեխն. խմբագիր՝ Տ. Գ. Տոնոյան
Վերատ. սրբագրիչ՝ Մ. Գ. Յավրյան

ՎՖ 08802 պատվեր 446, տպաքանակ 3000։ Հանձնված է արտադրության 1/III 1977 թ.։ Ստորագրված է տպագրության 3/I 1978 թ.։ Թուղթ՝ 60×90¹/₁₆։ Հրատ. 17,1 մամուլ։ Տպագր. 21,125 մամուլ։

Գինը՝ 80 կոպ.։

Երևանի համալսարանի հրատարակչություն, Երևան, Մովսես Խորենացու փող. № 1։

ВФ 08802. Зак. 446. Тираж 3000. Сдано в производство 1/III-1977 г. Подписано к печати 3/I-1978 г. Бумага 60×90¹/₁₆. Изд. л. 17,1. Печ. 21,125 л. Цена 80 коп.

Издательство Ереванского университета, Ереван, ул. Мравяна № 1.

Երևանի համալսարանի տպարան։ Երևան, Աբովյան փող. № 52։

Типография Ереванского университета. Ереван, ул. Абовяна № 52.