

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым Министрлігі
Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

К. М. Шаймерденова

АСТРОНОМИЯ

Оқу құралы

Қарағанды
2019

ӘОЖ 52
КБЖ 22.6
Ш18

Абай атындағы ҚазҰПУ жанындағы Республикалық оқу-әдістемелік Кеңесінде ұсынылды

Пікір жазғандар:

Көкетай Т.А. – физика-математика ғылымдарының докторы,
Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университетінің профессоры;

Саулебеков А.О. – физика-математика ғылымдарының докторы, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Қазақстан филиалы профессоры;

Мусенова Э.К. – физика-математика ғылымдарының кандидаты, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университетінің доценті.

Шаймерденова К.М. Астрономия: Оқу құралы –
Қарағанды: «Типография Арко» баспасы, 2019. - 148б.

ISBN 978-601-204-483-3

Оқу құралы аспан денелерінің құрылымы, шығу тегі, дамуы және қозғалысы жөнінде жалпы ұғымдар қарастырған. Сфералы және тәжірибелі астрономияның негіздері, әртүрлі ғылымдардың жүйелендірілген теориялық және тәжірибелік білімдері, әлемнің бейнесін қалыптастыру, іргелі физикалық заңдар, құбылыстар мен үдерістердің физикалық мәнін игеру, бақылау жүргізе білу, аспан жұлдыздарын бақылау туралы мағлұматтар берілген. Студенттерге астрономия ғылымының даму жолдарын зерттеу арқылы ғылымның рөлін түсіндіру негізделген.

Оқу құралы мемлекеттік жалпыға міндетті білім беру стандартының типтік оқу бағдарламасына сәйкес жазылған.

ӘОЖ 52
КБЖ 22.6

ISBN 978-601-204-483-3

© Шаймерденова К.М., 2019

Алғы сөз

Адамзат қабылдаған жыл санауға сәйкес басқа барлық ғылымдар сияқты астрономия да үшінші мың жылдыққа кірді. Адамдардың дүние танымын шаршамастан жетілдіре отырып және ой өрісін үнемі кеңейте отырып, соңғы жүз жылда Әлем жайлы ғылым орасан зор жетістіктерге жетті. Егер алғашқы адам пайда болғаннан бастап табиғат заңдылығына бас иген болса, кейін дами түсе адамның қабілеті жетіле түсіп, адамның ойлау қабілеті жарық жылдамдығынан да асып түсетіндей дәрежеге жетті. Алайда көріп отырғанымыздай, XX-XXI ғасырда адамдар әлемді тану барысында ғарышқа шығып, Күн жүйесі төңірегінде ғарыш кеңістігін тану арқылы теңдесіз үлкен қадам жасады. Сонымен қатар, Жер эволюциясының биологиялық даму тарихының түрлері мен геологиялық нәтижелері галактика мен жұлдыздар эволюциясы бақыланып отырған әлемнің «алғашқы даму сәттері» мен сансыз алыс дәуірде пайда болуының жалпы бөлігі болып табылады. Енді ең жар бақылаудан астрономия ең ірі масштабты, уақыт кеңістігімізде не? қашан? қайда? деген сұрақтарды белсенді қоюға көшті.

Астрономия физика және математиканың жаңа жетістіктерін пайдалана отырып, техниканың соңғы үлгілерін сәтті енгізе отырып, қолданбалы ғылымға өзінің іргелі үлесін қосуда. Дегенмен де ол бұрынғысынша, ең ауқымды тәжірибе нәтижелерін көре алатын ірі зертханалардың монополиясы болып қала береді. Тек басқа бөлшектермен соқтығыспай өте қатты қозғалатын атомдармен жұмыс істей аламыз, осы кезде ғана алхимиктердің арманы жүзеге асады. Себебі, тек осы жерде ғана жаңа нысанның қалыптасуына әкелетін химиялық элементтердің айналуларын сол сәтте өз көзімізбен көре аламыз. Тек осы жерде ғана гравитация деп аталатын ең танымал және ең көп түсініксіз құбылыспен байланысатын, көрінбейтін толқындарды табуға мүмкіндік бар. Адамдардың ғарышпен байланысы оның дүниетанымына ғана әсер етпей қоймайды, сол себепті адам өмірі үшін де астрономияның маңызы өте зор.

Кіріспе

Астрономия – ғалам жөніндегі ғылым. Астрономия сөзі гректің *астрон-жұлдыз және номос-заң* деген екі сөзінен құралады. Астрономия аспан денелерінің қозғалысын олардың табиғатын, шығу тегі мен дамуын зерттейді. Ғаламда аспан денелері күрделілігі түрліше жүйелерді құрайды. Мысалы, Күн мен оны айнала қозғалатын аспан денелері Күн жүйесін құрайды. Жер – оның ғаламшарларының бірі. Ғаламшарлар Күн сәулесіне шағылысып көрінеді. Күннің олардан айырмасы – ол өзінен жарық шығаратын аспан денесі, Күн жүйесіндегі жұлдыз болып табылады.

Құралсыз жай көзге көрінетін жұлдыздар біздің Галактиканың құрамына енетін жұлдыздардың кішігірім бір бөлігі ғана. Жақын галактиканың өзінен жарық бізге миллиондаған жылдардан кейін ғана жетеді.

Аспан денелері үнемі қозғалыста, өзгерісте, дамуда болады. Ғаламшарлар, жұлдыздар мен галактиканың әрқайсының миллиардтаған жылдармен есептелетін өз тарихы бар. Біз олармен толығырақ кейін танысамыз. Астрономия – табиғат жөніндегі ең бір қызықты және тамаша ғылым, ол тек осы күнгіні ғана зерттеп қоймайды, бізді қоршаған мегадүниенің алыс өткенін де зерттейді, сондай-ақ болашақ ғаламның ғылыми суреттемесін жасауға мүмкіндік береді.

Бақылау – ғаламда болып жататын үрдістер мен құбылыстардың, аспан денелері жөніндегі мәліметтердің негізгі қайнар көзі болып табылады. Бақылау жүргізу үшін көптеген елдерде арнайы ғылыми-зерттеу мекемелері салынған. Ол мекемелер осы заманға сай күрделі және белгілі дәрежеде автоматтандырылған құралдармен – ірі оптикалық телескоптармен жабдықталған. Телескоп аспан денелері көрінетін көру бұрышын ұлғайтады және адамның көзіне қарағанда, ол аспан шырақтарынан келетін жарықты әлдеқайда мол жинайды. Телескоп арқылы Жерге жақын аспан денелерінің бетіндегі көзге көрінбейтін бөлшектерді және көптеген көмескі жұлдыздарды көруге болады.

Астрономияда аспандағы денелердің ара қашықтығын бақылаудан объектілерге түсетін сәулелердің таралу бұрышымен өлшейді. Мұндай қашықтықты *бұрыштық* деп атайды, және де ол градус және градус үлестерімен өрнектеледі.

Оптикалық телескоптың бірнеше түрі қолданылады. Жарықтың сынуын пайдаланатын телескоп-рефракторларда аспан шырақтарынан келіп жететін сәулелерді линза жинайды. Телескоп – рефракторда шағылысқан сәулелерді фокустауға қажетті ойыс айна қолданылады. Айналмалы-линзалы телескоптарда айна мен линза қатар пайдаланылады. Телескоптар арқылы тек көзбен бақылау және бақылап тұрып суретке түсіру ғана емес, сонымен бірге жоғары дәлдіктегі фотоэлектрлік және спектрлік бақылауларда жүргізіледі. Аспан объектілерін суретке түсіруге арналған телескоптарды *астрографтар* деп атайды. Фотографиялық бақылаулардың құралсыз көзбен бақылауға қарағанда көп артықшылықтары бар. Олардың негізгілері:

- *құжаттылығы* – өтіп жатқан құбылыс пен үдерістерді бейнелеп алу және алынған мәліметтерді көп уақыт бойына сақтау қабілеті;

- *лездігі* – қысқа құбылысты сол сәтінде тіркеп қалатындығы;

- *қамтығыштығы* – бір мезетте бірнеше нысанды және олардың өзара орналасуын фотопластинкаға түсіріп алатындығы;

- *біріктіргіштігі* – көмескі шырақтардың жарықтығын жинақтап көбейте алатындығы және алынған бейненің *айқындығы*.

Аспан денелері, жарықтан басқа, жарыққа қарағанда аса ұзын толқынды (инфрақызыл сәуле шығару, радиотолқындар) немесе қысқа толқынды (ультракүлгін рентгендік сәуле шығару немесе гамма-сәулелер) электромагниттік толқындар шығады. Аспан денелерінің көрінбейтін сәулелерінің негізгі бөлігі Жер атмосферасында жұтылады және Жердің бетіне дейін жетпейді. Сондықтан да, Жерден жүргізілетін бақылауды атмосферадан тыс кеңістіктен жүргізумен толықтыруға тура келеді. Ол бүгінде Жердің жасанды серіктері, ғаламшараралық автоматты бекеттер және орбиталық ғылыми бекеттер арқылы жүзеге асырылуда.

Бүгінгі астрономия – дамуы ғылыми техникалық прогреспен тығыз байланысты іргелі физика-математикалық ғылым. Өткен ғасырда фотография мен спектрлік талдау пайда болғанға дейін, аспан денесінің табиғаты жөнінде мәлімет өте аз болды. Бүгінде Жер бетінде және атмосферадан тыс кеңістікте жүргізілетін мақалалар Жер төңірегіндегі ғарыш кеңістігінде жасалатын тәжірбиелер мен Айдағы, Шолпан мен Марстағы зерттеулермен толықтырылып, алынған мәліметтер өңделіп, физика-математикалық және басқа да ғылымдар жетістіктері ескеріліп, аса қарқынды түрде дамып отыр. Ғаламда бақыланатын нысандар, құбылыстар мен үрдістерді ой елесінен өткізу микродүние мен мегадүниенің күрделі өзара байланыстылығын дұрыс түсініп, дүниенің бүгінгі астрономиялық суреттемесін ойша құрастыру үшін қажет. Аспан мәселелерін шешу математикалық маңызды салаларының пайда болуы мен жетілуіне жағдай тудырды. Аспан механикасының заңдары ғарыш құрылысының қозғалыс траекториялық негізіне алынған.

Ғарыш денелерінің Жерге үлкен қауіп туғызуы мүмкін екені белгілі және бұған мән беру керектігі үлкен өзекті мәселе. Сондықтан, оның алдын алу немесе Жер шарына, адамзатқа қандай пайда әкелетіндігін зерттейтін ұйымдар ашылуда.

Астрономия – ежелгі ғылымның бірі. Астрономиялық бақылаулар бүгін де халық шаруашылыққа маңызды, көкейкесті мәселелерді шешуге қолданылады. Олардың қатарына: уақытты өлшеу, дәл географиялық карталарды жасау, әр түрлі геодезиялық жұмыстарды орындау, теңізде, әуеде, ғарыш кеңістігінде аспан шырақтары бойына бағдар алу жатады. Дегенмен, бүгін де астрономияның мәні бұлармен шектесіп қала алмайды. Ай мен Күн жүйесін, ғаламшарларды зерттеу өзіміздің Жерімізді жақсырақ білуге мүмкіндік тудырады. Болашақты, ғарышты игеру адам баласының өмір сүру ортасын кеңейтеді, дәлірек айтқанда, экологиялық көкейкесті мәселелерді шешуді жеңілдетеді.

1-тарау. СФЕРАЛЫ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕЛІ АСТРОНОМИЯНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

1.1 Жұлдызды аспан. Шоқжұлдыздар

Бұлтсыз және ай жарық түнде көз алдымызға жұлдызды аспанның ғаламат көрінісі көрінеді. Бір қарағанда жұлдыздар шашырандысын ажыратып білу мүмкін емес сияқты, ал бұл көптеген адамдардың қызығушылығын тудырады. Жұлдызды аспанды танып-білу қызық, әрі пайдалы. Ол ежелден-ақ адамдардың назарын өзіне аударған. Мыңдаған жылдар бұрын адамдар неғұрлым жарық жұлдыздарды неше түрлі фигураларға (шоқжұлдыздарға) топтап, оларды ежелгі мифтер мен аңыздардың кейіпкерлерінің есімдерімен, жануарлардың немесе заттардың аттарымен атады.

Жұлдыздар туралы әр халықтың өз мифі мен аңыздары, өздері қойған аттары бар, оған қоса шоқжұлдыздар саны әр түрлі болды.

Бүгінде аспан әлемі шартты түрде нақты, белгілі шекарасы бар 88 бөлікке бөлінген. Бұл бөліктер *шоқжұлдыздар* деп аталады, ол шоқжұлдыздарға оның шекарасының ішіндегі барлық жұлдыздар жатады. Мысалы Үлкен Аю шоқжұлдызына «ожауды» елестететін жұлдыздар ғана емес, сонымен бірге көптеген көмескі жұлдыздар да кіреді.

Әрбір шоқжұлдыздардың жұлдызы грек алфавитінің әрпімен белгіленген. Олардың алғашқысымен (α - альфа) ең жарық жұлдызы белгіленді, онан кейін β , γ , δ , ε және т.б. Ең жарық жұлдыздардың жеке аттары бар.

Басты шоқжұлдыздар. Жұлдызды аспанның жылжымалы картасын пайдалана отырып, әуелі Үлкен Аюдың β және α жұлдыздары арасындағы Кіші Аюдың α жұлдызын табамыз. Бұл *Темірқазық*, осы жұлдызбен Кіші Аю шоқжұлдыздары «ожауының» сабы аяқталады. Темірқазықтың астыңғы тұсында көкжиекте солтүстіктің нүктесі бар. Мұны білу арқылы қай жерде тұрғаныңды, әлемдегі елдерді оңай табуға болады. Егер де Үлкен Аюдың ε жұлдызы арқылы Кіші Аюға қарай кететін сызықты

ойша одан әрі жалғастыратын болсақ, онда жарық жұлдыздары М әрпін елестететін шоқжұлдыздарды көреміз. Бұл Қаракұрт (Кассиопея) шоқжұлдызы.

Орта ендікте Үлкен Аю, Кіші Аю және Қаракұрт шоқжұлдыздары жыл бойы батпай көрініп тұрады. Сондықтан да жұлдызды аспанмен танысуды біз осы шоқжұлдыздардан іздеуден бастадық. Бізді қызықтыратын басқа шоқжұлдыздардың көпшілігін жылдың белгілі бір мерзімінде бақылаған дұрыс. Мысалы, жазғы және күзгі кешкі аспанда алғашқылардың біреуі болып Вега (Лирадағы α), Денеб (Аққудағы α), Альтаир (Бүркіттегі α) көрінеді, олар үлкен үшбұрыш құрайды. Бұл *жазғы үшбұрыш*, ол аспанда күзде де көрінеді. Веганың айналасында (аспан әлемінің солтүстік жартышарындағы ең жарық жұлдызы) Лира шоқжұлдызының төрт жұлдызы кішкентай параллелограм құрайды. Аққу шоқжұлдызының неғұрлым жарық жұлдыздары крест түрінде орналасқан, оның бір ұшында Денеб жұлдызы бар.

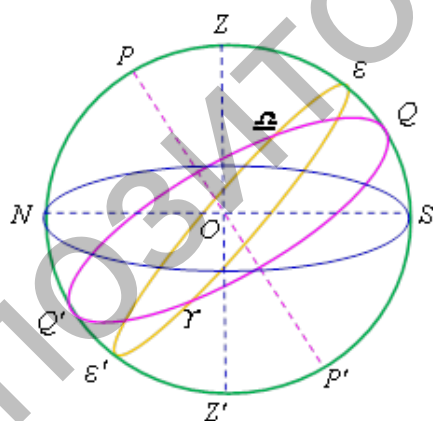
Күз – Пегас пен Андромеда шоқжұлдызын бақылауға қолайлы уақыт. Оларды аспанда Қаракұрт шоқжұлдызы арқылы табуға болады. Пегастың жарық жұлдыздары Үлкен Аюдың жеті жұлдызынан біршама үлкен ожауды құрайды. Пегас шаршысы осы шоқжұлдыздардың 3 жұлдызы (α , β , γ) және Андромеданың α жұлдызынан тұрады. Бұлар *күзгі үшбұрышты* құрайды.

Қысқы кешкі аспанда бір топ шоқжұлдыздар әсемдейді, солардың ішінен сұлу шоқжұлдыз Үшарқар –Таразы ерекше көзге түседі. Үшарқар – Таразының (Орионның) «белдеуінде» (δ , ϵ , ξ жұлдыздары) Бетельгейзе жұлдызы жылтылдайды, ал белдеуден төменіректе – Ригель жұлдызы. Үшарқар –Таразының δ жұлдызынан басталып α , β , γ жұлдыздары арқылы өтетін спираль сызығын көзге елестетейік. Біз мынадай жарық жұлдыздарды көреміз: Альдебаранды (Торпақтағы α), Капелланы (Жетекшідегі α), Поллуксты (Егіздегі β), Проционды (Кіші Арландағы α) және аспанның ең жарық жұлдызы Сүмбілені (Үлкен Арландағы α) кезіктіреміз. Бетельгейзе, Процион мен Сүмбіле *қысқы үшбұрыш* құрайды.

Көктемде өзімізге таныс шоқжұлдыздарға Сиыршыны, Бикешті, Арыстанды қоса аламыз. Сиыршы мен Бикештің жарық жұлдыздарына Үлкен Аю шоқжұлдызының сабы бағыт сілтейді, содан әрі қарай біз Арктур (Сиыршыдағы α) мен Спиканы (Бикештегі α) табамыз. Жарық жұлдыздары үлкен трапецияны көзге елестейтін Арыстан шоқжұлдызын аспаннан оңай табуға болады. Трапецияның батыс оңтүстігіндегі жұлдызы – Регул (Арыстандағы α), сол жақ төменгі тұсындағы Денебола. Үш жұлдыз (Арктур, Спика, Денебола) *көктемгі үшбұрышты* құрайды.

1.2 Аспан сферасы. Аспан сферасындағы нүктелер мен сызықтар

Аспан сферасы – радиусы анықталмаған жорамал сфера. Аспан сферасының бақыланатын тәуліктік айналысы (ол шығыстан батысқа қарай айналады) – бұл Жер шарының өз осінен туындайтын көрінісі. Аспан сферасының көрінерлік айналасының осі *дүние осі* деп аталады. Дүние осі Жер осіне параллель. Дүние осі аспан сферасын екі нүктеде P және P' –



1.1-сурет. Аспан сферасы

дүние полюстерінде кесіп өтеді. (1.1-сурет). Бүгінде дүниенің солтүстік полюсіне жуық маңда Кіші Аю шоқжұлдызының жұлдызы – Темірқазық тұр.

Аспан сферасын тәжірибеге пайдалану үшін мына суретті сызықтармен және нүктелермен толықтырамыз. Жерде тұрған бақылаушы қай кезде де тік сызықтың бағытын анықтай алады. Бұл сызық аспан сферасын диаметрге қатысты

алғанда қарама-қарсы екі нүктеде – зенитте Z және надирде Z'

нүктелерін қиып өтеді. Аспан сферасының орталығы арқылы өтетін және тік сызыққа перпендикуляр жүргізілген жазықтық аспан сферасын үлкен дөңгелек бойымен қиып өтеді. Ол *математикалық (ақиқат) көкжиек* деп аталады. P, Z, Q, S, Z', Q', N, P арқылы аспан сферасын *аспан меридианы* деп аталатын үлкен дөңгелекпен қиып өтетін жазықтықты өткізуге болады. Аспан көкжиегі мен меридианның жазықтықтары NS сызығы бойымен қиылысады (N және S – солтүстік және оңтүстік нүктелері). Оны *талтүстік сызық* деп атайды (тал түсте көлеңке Күн сәулесінен осы бағытқа қарай түседі). Зенит Z , надир Z' және осы сәтте M шырағы тұрған нүкте арқылы *биіктік дөңгелегі* немесе *вертикаль* деп аталатын аспан сферасының үлкен жарты шеңберін жүргізуге болады.

Аспан сферасының орталығы арқылы өтетін және дүние осіне перпендикуляр жазықтық аспан сферасын үлкен дөңгелегі – *аспан экваторы* бойымен қиып өтеді. Аспан экваторы көкжиекпен шығыс E және батыс W нүктелерінде қиылысады. Барлық тәуліктік параллельдер аспан экваторына параллель орналасқан.

1.3 Горизонтальды және экваторлық координаталар жүйелері

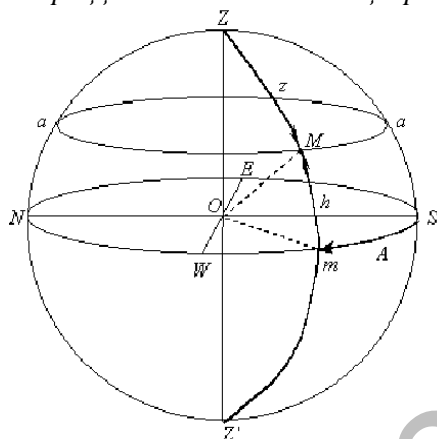
Горизонтальды координаталар жүйесі. Бұл жүйедегі басты жазықтық $NWSE$ математикалық көкжиек жазықтығы болып табылады, ал санақ зениттен және математикалық көкжиектің бір нүктесінен басталады (1.2-сурет).

Шырақтың *зениттік ара қашықтығы* z немесе *биіктігі* h горизонтальды координаталары болып табылады.

h әрпі шырақтың зениттен бұрыштық қашықтығын көрсететін онымен шамалас z (зениттік ара қашықтық) координатамен алмастырылады. M шырағының *биіктігі* h деп *математикалық көкжиектен шыраққа дейінгі mM тік шеңберінің доғасы немесе mOM орталық бұрышы.*

Биіктік 0° пен $+90^\circ$ аралығында зенитке қарай және 0° -тан -90° аралығында надирге қарай, градуспен, минутпен және секундпен өлшенеді.

M шырағының зениттік ара қашықтығы z деп зениттен шыраққа дейінгі *ZM* тік шеңберінің доғасы немесе *zOM* орталық



бұрышы. Зениттік ара қашықтық 0° пен 180° аралығында зениттен надирге қарай өлшенеді. Аспан сферасының көрінетін бөлігінде орналасқан шырақтың $z \leq 90^\circ$, ал көрінбейтін бөлікте $z > 90^\circ$.

Бір шырақтың зениттік ара қашықтығы мен биіктігінің арасында келесі қатынас орындалады:

1.2-сурет. Горизонтальды координаталар жүйесі

$$z + h = 90^\circ \quad (1.1)$$

Математикалық көкжиек жазықтығына параллель жатқан жазықтық, *M* шырағы арқылы өтетін аспан сферасының *aMa* кіші дөңгелегі шырақтың *альмукуантараты* деп аталады.

Бір альмукуантаратта орналасқан шырақтардың биіктігі мен зениттік ара қашықтықтары бірдей болады.

Биіктік және зениттік ара қашықтық тік шеңбердегі шырақтың орнын анықтайды.

Тік шеңбердің аспан сферасындағы орнын *азимут* *A* анықтайды. *M* шырағының *A* азимуты деп шырақ арқылы өтетін *S* оңтүстік нүктесінен *вертикаль* шеңберге дейінгі *математикалық көкжиектің* *Sm* нүктесі немесе *SOM* орталық бұрышы.

Азимуттар аспан сферасының тәуліктік қозғалысының бағытымен анықталады, яғни 0° мен 360° аралығында оңтүстік *S* нүктесінен батысқа қарай, кейде азимуттар батысқа қарай 0° мен

+180° аралығында, шығысқа қарай 0° мен –180° аралығында өлшенеді.

Геодезияда азимуттар N солтүстік нүктесінен немесе 0°-тан 360°-қа дейін шығысқа қарай өлшенеді. Оңтүстік нүктесінен есептелетін астрономиялық азимуттарға қарағанда, мұндай азимуттар геодезиялық деп аталады.

Геодезиялық және астрономиялық A азимуттар қарапайым қатынас арқылы байланысқан:

$$A' = A \pm 180^\circ \quad (1.2)$$

«+» таңбасы $A < 180^\circ$ жағдайында немесе шығыстық азимуттар үшін алынады; «-» таңбасы $A > 180^\circ$ немесе батыстық азимуттар үшін алынады.

Бір тік шеңберде орналасқан шырақтардың азимуттары бірдей болады.

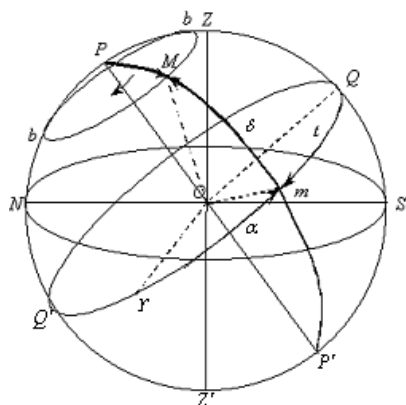
Бірінші экваторлық координаталар жүйесі. Бұл жүйедегі басты жазықтық QQ' аспан экваторының жазықтығы болып табылады, ал санақ басы – аспан экваторының Q нүктесі (1.3-сурет).

Тағы бір координата шырақтың еңістігі – δ . M шырағының еңістігі δ деп $PMtP'$ сағаттық шеңберінің аспан экваторынан шыраққа дейінгі tM доғасы немесе аспан экваторының жазықтығы мен шыраққа дейінгі бағыт аралығы tOM орталық бұрышы аталады.

Шырақтың еңістігі 0° мен +90° аралығы әлемнің солтүстік полюсіне қарай және 0°-тан –90° аралығында әлемнің оңтүстік полюсіне қарай өлшенеді.

Кейде шырақтың еңістігі δ полярлық ара қашықтықпен p алмастырылады, яғни әлемнің солтүстік полюсінен шыраққа дейінгі сағаттық шеңбердің PM доғасымен немесе әлем осінен шыраққа дейінгі бағыттың аралығы POM орталық бұрышымен анықталады. Полярлық ара қашықтық әлемнің солтүстік полюсінен оңтүстік полюске қарай 0° мен 180° аралығында өлшенеді. Аспан сферасының солтүстік жартышарында орналасқан шырақтардың $p < 90^\circ$, ал оңтүстік жартышарында

$p > 90^\circ$ болады. Бір шырақтың полярлық ара қашықтығы мен еңістігінің арасында (1.3) қатынас орынды:



1.3-сурет. Экваторлық координаталар жүйесі

$$p + \delta = 90^\circ \quad (1.3)$$

Бір тәуліктік параллельде орналасқан шырақтардың еңістігі δ мен полярлық ара қашықтықтары p бірдей болады.

Шырақтың еңістігі немесе полярлық ара қашықтығы шырақтың сағаттық шеңбердегі орнын анықтайды. Ал сағаттық шеңбердің аспан сферасындағы орнын сағаттық бұрыш t координатасымен анықтайды.

M шырағының t сағаттық бұрышы деп шырақ арқылы өтетін аспан экваторының жоғарғы Q нүктесінен $PMmP'$ сағаттық шеңберіне дейінгі доғаны немесе аспан меридианы мен шырақтың сағаттық шеңбері аралығы бұрышты есептейтін QOm орталық бұрышын айтамыз.

Сағаттық бұрыш (t) аспан сферасының тәуліктік айналу бағытымен бағыттас, яғни аспан экваторының ең жоғарғы нүктесінен батысқа қарай $0 \div 360^\circ$ градуспен өлшенеді. Кейде, сағаттық бұрыш $0 \div 180^\circ$ немесе $0 \div 12$ сағ. батысқа қарай, $0^\circ \div (-180^\circ)$ немесе $0 \div (-12)$ сағ. шығысқа қарай өлшенеді.

Бір еңістік шеңберінде орналасқан шырақтардың сағаттық бұрыштары бірдей болады.

Екінші экваторлық координаталар жүйесі. Бұл жүйедегі басты жазықтық аспан экваторының жазықтығы, ал бір координатасы шырақтың еңістігі δ (кейде $-p$ полярлық ара қашықтық) болып табылады.

Шырақтың сағаттық шеңберінің орнын анықтайтын келесі координата *тік көтерілу* α болып табылады.

М шырағының α тік көтерілуі деп көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінен М шырақ арқылы өтетін сағаттық шеңберге дейінгі аспан экваторының үт доғасын немесе аспан экваторы жазықтығындағы γ От орталық бұрышын айтамыз (1.3-сурет).

Шырақтың α тік көтерілулері аспан сферасының тәуліктік қозғалысына қарама-қарсы бағытта 0° пен 360° аралығында немесе $0^{\text{сағ}}$ пен $24^{\text{сағ}}$ аралығында анықталады. Тік көтерілу доғалық градуспен, минутпен және секундпен өрнектеледі. Яғни, 0-ден 24 сағатқа дейін сағаттық өлшем пайдаланылады, өйткені, аспан сферасы 24 сағат ішінде толық бір айналым 360° жасайды, бұл жағдайда 1сағат ($1^{\text{сағ}}$) – 15° , 1мин ($1^{\text{М}}$) – $15'$, 1сек ($1^{\text{с}}$) – $15''$ доғаға сәйкес келеді.

Бір сағаттық шеңберде орналасқан шырақтардың тік көтерілулері бірдей болады.

Горизонтальды координаттар (z, h, A) мен шырақтың сағаттық бұрышы t аспан сферасының тәуліктік қозғалысы нәтижесінде бұл қозғалысқа қатыспайтын қозғалмайтын нүктелерден санау болатындықтан үздіксіз өзгереді.

Шырақтың экваторлық координаттары аспан сферасының тәуліктік қозғалысы әсерінен өзгермейді, олар аспан экваторының нүктелерінен есептелетіндіктен, сәйкесінше шырақтың орналасуы осы нүктелерге қатысты өзгермейді.

Горизонтальды координаттар жүйесі өлшеу құралдарының көмегімен шырақтың көрінерлік орнын анықтау үшін қолданады.

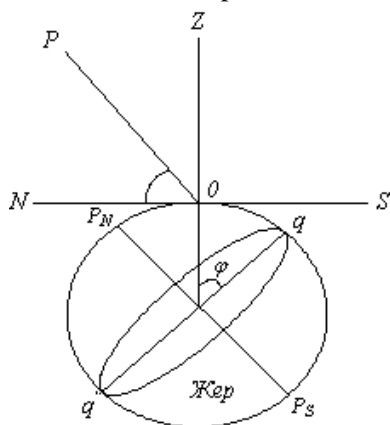
Бірінші экваториалды жүйе (еңістік мен сағаттық бұрыш) практикалық астрономияның негізгі есептерінің бірін, нақты уақытты анықтау үшін қолданылады.

Екінші экваториалды жүйе фундаменталды астрометрияның есептерін шешуде маңызды болып табылады. Бұл жүйеде жұлдыздардың орнының тізімі (жұлдыздық каталогтар) мен жұлдыздық карталар құрылады.

1.4 Аспан сферасының әр ендіктегі айналуы. Шарықтау

Аспанның айналуы мүмкін болатын құбылыс және аспанның тәуліктік қозғалысына қарама-қарсы бағытта, яғни батыстан

шығысқа осьтің айналасында Жердің шынайы қозғалысын бейнелейді. Сондықтан бақылаушы Жердің қандай нүктесінде болмасын ол әрқашан аспан сферасының дүние осі Жер қозғалысының тік, параллель осі айналасындағы қозғалысын көреді.



Тік сызықтың бағыты бақылаушының Жер бетіндегі қозғалысы барысында өзгереді және айналу осімен бірге әр түрлі бұрыштарға ие болады.

Дүние полюсі биіктігі мен географиялық ендіктің байланысы, аспан сферасының шеңберлері мен нүктелерінің өзара орналасуы 1.4-суретте көрсетілген.

1.4-сурет. Дүние полюсі биіктігі мен географиялық ендіктің байланысы теорема түрінде қалыптасады: «көкжиек бойындағы дүние полюсінің биіктігі h_p әрқашан бақылау орнының астрономиялық ендігіне φ -ға тең».

$$h_p = \varphi .$$

Оны дәлелдеу үшін мына суретті қарастырайық:

$$\begin{aligned} \angle PON &= h_p , \\ \angle OTq &= \varphi \end{aligned}$$

Осы теоремадан бақылайтын орынның астрономиялық ендігі мыналарға тең:

1. зениттің еністігі $\delta_z = \varphi$;
2. солтүстік нүктенің полярлық ара қашықтығы $p_N = \varphi$;

3. экватордың жоғарғы нүктесінің зениттік ара қашықтығы $z_Q = \varphi$.

(1.1) қатынасына сәйкес дүние полюсінің зениттік ара қашықтығы:

$$z_p = 90^\circ - h_p = 90^\circ - \varphi; z + h = 90^\circ.$$

Сәйкесінше, $(90^\circ - \varphi)$ мәніне келесілер тең:

1. зениттік полярлық ара қашықтығы $p_z = 90^\circ - \varphi$;
2. солтүстік нүктенің еңістігі $\delta_N = 90^\circ - \varphi$;
3. экватордың жоғарғы нүктесінің биіктігі $h_Q = 90^\circ - \varphi$.

Әр шырақтың тәуліктік параллелі аспан меридианының параллель жатқан диаметрінің екі нүктесінде қиылысады.

Аспан меридианын шырақтың қиып өту құбылысы *шырақтың шарықтауы* деп аталады.

Егер шырақ $PZQSP'$ нүктелері арқылы аспан меридианының жоғарғы бөлігімен қиылысса жоғарғы шарықтау, ал $PNQZ'P'$ нүктелері арқылы аспан меридианының төменгі бөлігімен қиылысса төменгі шарықтау деп аталады.

Жоғарғы шарықтау кезінде шырақтың зениттік ара қашықтығы – минимал, биіктік – максимал, ал азимут $A=0^\circ$ немесе $A=180^\circ$ мәндерін қабылдайды.

Төменгі шарықтау кезінде шырақтың зениттік ара қашықтығы – максимал, биіктік – минимал, ал азимут $A=180^\circ$ немесе $A=0^\circ$ мәндеріне ие болады.

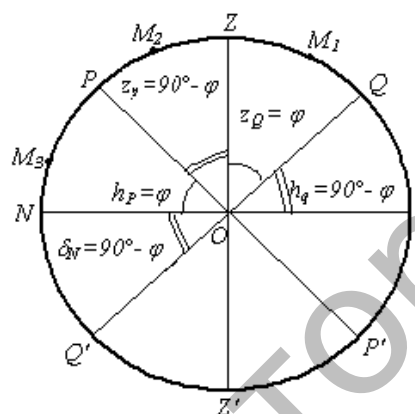
Сәйкесінше, төменгі шарықтаудан жоғарыға дейін шырақтың зениттік ара қашықтығы азаяды, ал биіктігі көбейеді; жоғарыдан төменгі шарықтауда, керісінше, зениттік ара қашықтық көбейеді, биіктік азаяды. Осымен қоса, шырақтың t сағаттық бұрышы (бірінші экваториалдық координат жүйесінде) A азимуты сияқты, үздіксіз өзгереді. Шырақтың жоғарғы шарықтау кезінде сағаттық бұрышы $t=0$, төменгі шарықтау кезінде сағаттық бұрышы $t=180^\circ$ немесе $12^{\text{сағ}}$.

Сағаттық бұрыштардың өзгерісінің бірқалыптылығы уақытты өлшеу барысында өте маңызды.

Шырақтың биіктігі h немесе зениттік ара қашықтығы z шарықтау кезінде шырақтың еңістігі δ мен бақылаушы орнының ендігінен φ -дан тәуелді.

Аспан сферасының аспан меридианына проекциясы 1.5-суретте келтірілген. Содан көрінетіндей:

1. Егер M_1 шырағының еңістігі $\delta < \varphi$ болса, онда ол зениттен оңтүстікке қарай келесі зениттік ара қашықтықта шарықтайды:



1.5-сурет. Аспан сферасының аспан меридианына проекциясы

$$z = \varphi - \delta \quad (1.4)$$

немесе биіктігі

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta \quad (1.5)$$

2. Егер $\delta = \varphi$ болса, онда шырақ зенитте шарықтайды:

$$z = 0 \quad (1.6)$$

және

$$h = +90^\circ \quad (1.7)$$

3. Егер $\delta > \varphi$ болса, онда M_2 шырағы жоғары шарықтауда зениттен солтүстікке қарай келесі зениттік ара қашықтықта орналасады:

$$z = \delta - \varphi \quad (1.8)$$

немесе биіктігі

$$h = 90^\circ + \varphi - \delta \quad (1.9)$$

4. Төменгі шарықтау шегінде M_3 шырағының зениттік ара қашықтығы:

$$z = 180^\circ - \varphi - \delta \quad (1.10)$$

ал биіктігі

$$h = \delta - (90^\circ - \varphi) = \varphi + \delta - 90^\circ \quad (1.11)$$

Бақылаулардан көрінетіндей, берілген φ ендігінде әр жұлдыз көкжиектің бір ғана нүктесінде атады (немесе батады), оның меридиандағы биіктігі әрқашан бірдей. Осыдан көретініміз, жұлдыздардың еңістігі уақыттың өтуімен өзгермейді.

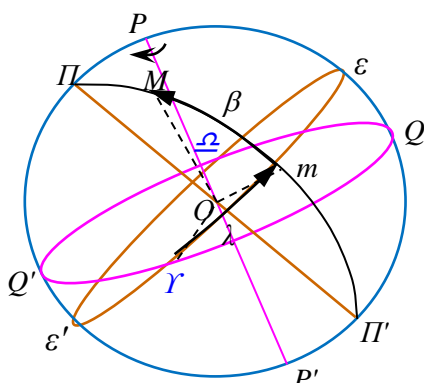
Күннің, Айдың және ғаламшарлардың атып, бату нүктелері, сонымен қоса, жылдың әр түрлі күйіндегі олардың меридиандағы биіктігі әр түрлі болады. Сәйкесінше, бұл шырақтардың еңістігі уақыт өтуімен байланысты үздіксіз өзгереді.

1.5 Эклиптика. Эклиптикалық координаталар жүйесі

Бір географиялық ендікте, түс ауған уақытта (яғни, оның жоғарғы шарықтау шегі кезінде) Күннің зениттік ара қашықтығын немесе биіктігін өлшеулерден Күннің еңістігі жыл ішінде $+23^\circ 26'$ -тан $-23^\circ 26'$ дейінгі шектерде өзгертіндігі байқалған. Түнгі аспан бейнесінің өзгерісін бақылауда, Күннің тік көтерілуі жыл бойында 0° -ден 360° , немесе 0^h -ден 24^h дейінгі шектерде жайлап өзгертіндігі көрінеді. Нақтысында, түнде, жоғарғы шарықтау шегі кезінде Күннің тік көтерілуінен 180° немесе 12^h -қа ерекшеленетін жұлдыздардың тік көтерілулері болады. Бақылау көрсеткендей, әр күн өткен сайын түнде жұлдыздар өте үлкен тік көтерілумен шарықталады, сәйкесінше, Күннің де тік көтерілуі әр күн сайын ұлғая түседі.

Күннің екі координатасының үздіксіз өзгерісін қарастыра отырып, ол аспан сферасындағы үлкен шеңберде батыстан шығысқа қарай жұлдыздар арасында *эклиптика* деп аталатын

жазықтықта қозғалатынын түсіну қиын емес. *Эклиптика* – Күннің зодиак шоқжұлдыздары бойымен жылдық қозғалысы. Күннің эклиптика бойымен қозғалуы Жердің Күнді айналуынан туындайды.



1.6-сурет. Эклиптикалық координаталар жүйесі

Эклиптика жазықтығы $E'UE$ аспан экваторының жазықтығына $\varepsilon=23^{\circ}26'$ бұрышпен иілген (1.6-сурет). Эклиптика жазықтығына перпендикуляр PP' диаметрі *эклиптика осі* деп аталады және *эклиптиканың оңтүстік полюсінде* P' (оңтүстік жартышарында) және *эклиптиканың солтүстік полюсінде* P (солтүстік жартышарында) аспан ортасының жоғары қабатында қиылысады.

Эклиптика аспан экваторымен екі нүктеде қиылысады: көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінде γ және күзгі күн мен түннің теңелу нүктесінде ω . Көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінде γ Күн солтүстік жартышарынан оңтүстікке өту кезінде, күзгі күн мен түннің теңелу нүктесінде ω Күн солтүстік жартышарынан оңтүстікке өту кезінде аспан экваторымен қиылысады.

Күн мен түннің теңелу нүктелеріне 90° құрайтын эклиптика нүктелері *жазғы күннің тоқырау нүктесі* (солтүстік жартышарында) және *қысқы күннің тоқырау нүктесі* (оңтүстік жартышарында) деп аталады.

Эклиптика полюстары және M шырағы арқылы өтетін аспан сферасының mMP үлкен жарты шеңбер шырақтың *ендік шеңбері* β деп аталады. Эклиптика және көктемгі күн мен түннің теңелу нүктелері аспан координаттарының эклиптикалық жүйесінің негізінде болады. Бұл жүйедегі бір координат болып, M шырақтың *эклиптикалық ендігі* β табылады, яғни ол

эклиптикадан шыраққа дейін ендік шеңберінің доғасы mM деп немесе шырақ M бағыты мен эклиптика жазықтығы арасындағы орталық бұрыш mOM деп аталады (1.6-сурет).

Эклиптикалық ендіктер 0° -ден $(-90)^\circ$ шекте оңтүстік полюске ($П'$) және 0° -ден $(+90)^\circ$ дейінгі шекте солтүстік полюске ($П$) есептелінеді. Эклиптика жазықтығына параллель жазықтықтағы бір кіші шеңберде болатын шырақта бірыңғай эклиптикалық ендіктер болады.

Эклиптика ендіктері ендік шеңберінде шырақтың орнын анықтайды. Аспан сферасындағы ендік шеңберінің орны басқа координатамен, яғни эклиптикалық бойлықпен λ анықталады. Эклиптикалық бойлықтар Күннің эклиптика бойынша жылдық қозғалысымен есептеледі, яғни батыстан шығысқа қарай 0° -ден 360° дейінгі шекте болады. Бір шеңбердің ендігінде болатын шырақтар бірыңғай эклиптикалық бойлықтарға ие болады. Эклиптикалық координаталар жүйесі аспан денелерінің орбиталарын анықтау кезінде теориялық астрономияға қолданылады.

1.6 Күннің эклиптика бойынша жылдық қозғалысы

Эклиптика бойынша Күннің экваторлық координаталарының өзгеруі оның қозғалысы бойынша келесідей негізде жүргізіледі. Егер Күн көктемгі күн мен түннің теңелу $Υ$ нүктесінде орналасса, онда оның тік көтерілуі (α) мен еңістігі (δ) нөлге тең. Одан кейін, әр күн сайын Күннің тік көтерілуі мен еңістігі ұлғаяды, ал Күн жазғы күннің тоқырау нүктесіне келгенде оның тік көтерілуі (α) 90° немесе 6^h тең болады, ал еңістігі (δ) $+23^\circ 26'$ шекті мәнге жетеді. Осыдан кейін Күннің еңістігі күзгі күн мен түннің теңелу нүктесіне $\underline{\delta}$ келеді, оның тік көтерілуі $\alpha = 180^\circ$ немесе 12^h , ал еңістігі $\delta = 0^\circ$. Әрі қарай, Күннің тік көтерілуі ұлғая отырып, қысқы күннің тоқырау нүктесінде 270° немесе 18^h теңеледі, ал еңістігі өзінің шекті мәні $-23^\circ 26'$ жетеді. Осыдан кейін, Күннің еңістігі өсе бастайды және енді Күн көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесіне келеді, оның еңістігі

қайтадан нөлге тең болады, ал тік көтерілуі 360° немесе 24^h мәнге жеткеннен кейін нөлге айналады.

Күннің экваторлық координатының бұл өзгерістері жыл ішінде тепе-тең негізде жүргізілмейді. Еңістік Күннің барлық қозғалысында күн мен түннің теңелу нүктелеріне жақындағанда тез өзгереді және күннің тоқырау нүктелеріне қарай жай өзгереді. Ал тік көтерілу, керісінше, күн мен түннің теңелу нүктелерінде жай өзгереді, ал күннің тоқырау нүктелерінде тез өзгереді. Сондықтан Күннің тік көтерілу өзгерісінің жылдамдығы жазғы күннің тоқырау нүктесіне жақындағанда қысқы күннің тоқырау нүктелеріне қарағанда азаяды. Эклиптика бойынша Күннің көрінерлік қозғалыстары Жердің нақты қозғалысының салдары, яғни, Жердің Күнді айналуы болып табылады.

Күн айналасындағы Жердің қозғалысы да сол бағытта жүргізіледі, ось айналасындағы Жердің айналуы тепе-тең болмайды. Осыдан, Жердің айналу осі әрқашанда $66^\circ 34'$ бұрышпен Жер орбиталарының жазықтығына еңкейеді. Сондықтан, бізге Күн де жұлдыздар ортасында аспан мәліметі бойынша батыстан шығысқа қарай тепе-тең айналмайтындай көрінеді, бірақ эклиптика бойынша, оның жазықтығы аспан экваторының жазықтығына $\varepsilon = 23^\circ 26' = 90^\circ - 66^\circ 34'$ бұрышпен еңкейген.

Егер Күн көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінде болса, онда ол барлық Жер қабатының географиялық ендігіндегі шығыс E нүктесінен шығады және батыс W нүктесіне кіреді. Оның тәуліктік жолының жартысы көкжиекте, жартысы көкжиек астында болады. Сәйкесінше, барлық Жер шарында полюстерден басқа, бұл күннің ұзақтығы түннің ұзақтығына тең болады. Бұл күн көктемгі күн мен түннің теңелу күні деп аталады (21 наурыз) және Жердің солтүстік жартышарында көктем басталды деп есептеледі (оңтүстік жартышарда бұл кезең күздің басына сәйкес келеді).

Берілген солтүстік ендікте көктемгі күн мен түннің теңелуінде Күннің талтүстегі биіктігі мына формулаға сәйкес (1.5):

$$h_0 = 90^\circ - \varphi.$$

Егер Күн жазғы күннің тоқырау нүктесінде болса ($\delta = +23^\circ 26'$), онда ол солтүстік ендікте солтүстік шығыстан шығады, ал солтүстік батысқа батады. Оның тәуліктік жолдарының үлкен бөлігі көкжиекте болады. Жердің солтүстік жартышарындағы күннің ұзақтығы – максималды, түні – минималды, ал оңтүстікте керісінше болады. Бұл күн жазғы күннің тоқырау күні (22 маусымға қарай) деп аталады және Жердің солтүстік жартышарында жаздың басталуын білдіреді (оңтүстікте бұл кезең қыстың басталуына сәйкес келеді).

Жазғы күннің тоқырауында берілген солтүстік ендікте Күннің талтүстік биіктігі максималды мәнге жетеді:

$$h_{\max} = 90^\circ - \varphi + 23^\circ 26'.$$

Егер Күн күзгі күн мен түн теңелу нүктесінде болса, онда ол қайтадан Жердің барлығында шығыс нүктесінен шығады және батыс нүктесіне батады, полостерден басқа барлық ендікте күн ұзақтығы түн ұзақтығына тең болады. Бұл күн күзгі күн мен түннің теңелу күні (23 қыркүйек) деп аталады және Жердің солтүстік жартышарында күздің басталғанын білдіреді (оңтүстік жартышарда көктемнің басталуы).

Аталған ендікте күндіз Күннің биіктігі күзгі күн мен түннің теңелу күнінде қайтадан 90° -қа тең. Сонымен, егер Күн қысқы күннің тоқырау нүктесінде ($\delta = -23^\circ 26'$) болса, онда ол оңтүстік шығыстан шығып, оңтүстік батыста батады.

1.7 Уақыттың өлшеу бірліктері

Уақытты өлшеу. «Уақыт дегеніміз не?» деген сұраққа жауап беру өте қиын. Ең қарапайым түрде уақыт – бұл үзіліссіз өзгеретін құбылыстар. Уақыттың ең басты ерекшелігі – оның үздіксіз жүретінінде, тоқсаусыз ағатындығында. Кеңістікті қоршауға болады, бірақ уақытты тоқтатуға болмайды. Уақытты

қайтаруға, және де өткенге қайту мүмкін емес. Гераклиттің айтуынша: «Бір кірген көлге екінші рет кіре алмайсың».

Бір тәулікте 24 сағат, бір сағатта 60 минут бар. Мыңдаған жыл бұрын адамдар күн шығыстан шығып, батыстан бататынын, сондай-ақ жаздың қыспен алмасатынын байқаған.

Уақыттың негізгі бірліктері – астрономиялық бақылау бойынша анықталған тәулік, ай және жыл. Тәулік күн мен түннің алмасуына, ай – ай фазасының өзгеруіне, ал жыл болса, жыл мезгілдерінің ретті түрде алмасуына байланысты. Бұлардың әрқайсысы, әрине, аспан денелерінің қозғалысына нақты негізделген.

Ең қарапайым астрономиялық құралдар арқылы, бір жылда 365 тәулік және шамамен 30 күн ішінде айдың толуын байқаған. Сол себептен, сол заманның ғалымдары бір тәулікті 12 сағат күнге және 12 сағат түнге бөлді, айналу бұрышы 360° -қа тең. Әрбір сағат және әрбір градус – 60 минуттан және әрбір минут – 60 секундтан тұрады. Бірақ бұл өлшеу дәл болмай шығуына байланысты Жер Күнді 365 тәулік 5 сағат 48 минут 46 секунд ішінде толықтай айналатыны дәлелденді. Айдың Жерді толық бір айналым жасауына 29,25-тен 29,85 тәулік қажет.

Кез келген жұлдызды таңдап алып, оның аспандағы орнын Жердегі қозғалмайтын бір нәрсе (үй бұрышы, бағана) көмегімен белгілеп алып, жұлдыз нақ сол орынға 23сағ 56мин өткенде қайтып оралатындығы дәлелденді. Осылайша, жұлдыздарға қатысты өлшенетін тәулік *жұлдыздық тәулік* деп аталады. Дәлірек, жұлдыздық тәулік – көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінде қатарынан екі рет жоғары шарықтауына қажет уақыт мөлшері. Ал 4 минут қайда кетті? Жердің Күнді айнала қозғалуы себебінен, Күннің аспандағы орны Жер бетіндегі бақылаушы жұлдыздарға қатысты тәулігіне аспан сферасының айналу бағытына қарама-қарсы 1° -қа ығысып отырады. Жердің Күнді айнала қозғалысы кезінде, Жерді қуып жету үшін оған 4 минут қажет. Сонымен, Жердің өз осінен айналып шығуына 23 сағат 56 минут кетеді екен. Ал 24 сағат - осы айналыстың күнге қатысты уақыты. Адам күн сағаты бойынша өмір сүреді, ал астрономдар өз бақылау жұмыстарын ұйымдастыруда жұлдыз уақытын

пайдаланады. Күнді айнала қозғалған Жердің тәуліктері *күндік тәуліктер* деп аталады. Олар төменгі шарықтау кезінде күн меридианында басталады. Күндік тәуліктер орбитаның эксцентриситетіне байланысты солтүстік жартышарда жазға қарағанда ұзаққа созылады, ал оңтүстік жартышарда керісінше болады.

Ежелгі Делиде орналасқан расытханада, Күн сағаттың рөлін орындады. Біздің уақытымыз және күнтізбеміз Күнге және Айға қатысты алынған, бірақ ол дәл өлшемін бермеген. Жер мен Ай өз орбиталарында бірқалыпсыз қозғалады, Жердің айналу жылдамдығы бірте-бірте судың көтерілуіне байланысты азая береді. Ежелден бері дәл уақытты өлшеу үшін күмдық және су сағаттары қолданылды. Ең алғашқы механикалық сағаттар XI ғасырда пайда болды, бірақ оларды күніне бірнеше рет күн сағаттарына бұруды қажет етті. XVII ғасырдың ортасында Галилео Галилей маятниктің тербеліс заңын ашты, сол арқылы ол механикалық сағаттарды дәлдік дәрежесіне жеткізді. Бұл сағаттар да дәл уақытты көрсете алмады, себебі оған сыртқы факторлар әсер етті, мысал үшін, температураның өзгеруі, олардың асығуы немесе қалуы. 1939 жылы астрономдар механикалық сағатты кварцтық сағатқа алмастырды, соған орай оның дәлдік өлшемі $10^{-4} - 10^{-6}$ тәулікке өзгерді. 20 жыл өткен соң атомдық сағаттар пайда болды, олардың дәлдігі $10^{-10}-10^{-11}$ секундты құрайды.

Күндік және жұлдыздық сағаттар. Адам баласы уақытты күн сағатымен ежелден өлшеген. Оның қалай, қашан пайда болуына жауап беру өте қиын. Күн сағаттары ең ғажайып ашылулардың бірі болған. Сол себепті астрономдар жоғарғы технологиялық сағат емес, ең қарапайым күндік сағатты жасап шығаруды жөн көрген.

Күндік сағаттың үш түрі бар: экваторлы, вертикальды, горизонтальды. Экваторлы сағаттар – ең қарапайым сағаттардың бірі. Оның тік көтерілуі аспан экваторының тік көтерілуінде орналасқан (яғни, $90^\circ - f$ орналасқан, f – географиялық бойлық) 1 сағат 15 градусты құрайды, бұл оның шкаласын көрсетеді. Экваторлы сағаттарды жасап шығару еш қиындықты тудырмайды, бірақ солтүстік жартышарда оның жұмыс істеуі көктемгі және күзгі күн мен түннің тенелу кезіне байланысты.

Қыс кезінде сағаттың тек төменгі бөлігіне қарау керек, ал бұл өте қолайсыз.

Вертикальды сағаттың түр сипаты өте әдемі. Бірақ, оның қолайсыз жақтары да көрсетілген. Біріншіден, оның математикалық моделі өте қиын, екіншіден, орналасатын үйдің қабырғасында азимуттық өлшем керек. Бұл шарттарды орындауға болады. Бірақ, ең қолайлы сағаттар горизонтальды орналасқан сағаттар. Күн сағатының ерекшелігі өте қарапайым, жасап шығару қиындық тудырмайды. Мұндай сағаттар әр-түрлі пішінде болуы мүмкін: диаметрі 10-20 см жылжымалы және диаметрі 1-2 м жылжымайтын стационарлы. Горизонтальды күн сағаттары екі бөлімнен тұрады: 1) горизонттың орналасқан циферблат; 2) оның бір бұрышы географиялық ендікке тең. Сағат тілі аспан меридианы жазықтығында орналасқан (солтүстік - оңтүстік). Үшбұрыш бұрышы орналасқан Жердің тік көтерілуіне тең, солтүстікке қаратылған (дүние полюсы), сағат сызықтары (минуттар) циферблаттағы оңтүстікке қарай жылжиды - күн сағатының жүру тәртібі болып табылады.

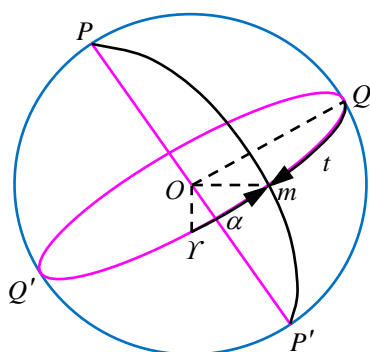
1.8 Күндік және жұлдыздық уақыт

Бір меридианда көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінде қатарынан екі рет жоғары шарықтауына қажет уақыт аралығы *жұлдыздық тәуліктер* деп аталады. Көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінің жоғарғы шарықтау шегінен жұлдыздық тәулік үлесінде көрсетілген, оның кез келген орнына дейінгі өткен уақыты *жұлдыздық уақыт* s деп аталады.

Көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінің жоғарғы шарықтау шегі сәтінен бастап, қандай да бір басқа уақытқа дейінгі Жердің айналу бұрышы, осы кезеңдегі көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінің сағаттық бұрышына тең болады. Сәйкесінше, аталған меридиандағы жұлдыздық сағат кез-келген уақытта, сағат өлшемінде көрсетілген, көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінің сағаттық бұрышына t_γ тең болады, яғни

$$s = t_\gamma \quad (1.12)$$

Аспанда көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі ешқандай белгімен белгіленбеген. Оның сағаттық бұрышын тікелей өлшеп, немесе оның меридиан арқылы өткен сәтін анықтауға болмайды (1.7-сурет). Сондықтан, қандай да бір кезеңде жұлдыздық тәуліктің немесе жұлдыздық уақыттың басталуын тұрақтандыру үшін тік көтерілуі α белгілі қандай да бір M шырақтың сағаттық



1.7-сурет. Жұлдыздық уақыт

бұрышын t өлшеу керек. Онда $t = Qm$, $\alpha = \gamma m$, ал көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінің сағаттық бұрышы $t_\gamma = Q\gamma$ жұлдыздық уақытқа s тең:

$$s = t_\gamma = \alpha + t \quad (1.13)$$

яғни, жұлдыздық уақыт кез-келген сәтте қандай да бір шырақтың тік көтерілуіне және оның сағаттық бұрышына тең.

Шырақтың жоғарғы шарықтау шегі кезінде оның сағаттық бұрышы $t=0$, сонда:

$$s = \alpha \quad (1.14)$$

Шырақтың төменгі шарықтауы кезінде оның сағаттық бұрышы $t=12^h$ тең, және жұлдыздық уақыт:

$$s = \alpha + 12^h \quad (1.15)$$

Жұлдыздық тәуліктер мен олардың үлестері бойынша уақытты өлшеу қарапайым, сондықтан көптеген астрономиялық міндеттерді шешуде аса ыңғайлы. Егер Күн көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі арқылы өтсе, оның тік көтерілуі $\alpha=0^h$ болады, яғни, ол 0^h жұлдыздық уақытта көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесімен бірге талтүсте шарықтау шегіне жетеді. Бір

жұлдыздық тәуліктен кейін көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі қайтадан жоғарғы шарықтауда болады, ал Күн меридианға тек шамамен 4 минуттан соң келеді. Себебі, бір жұлдыздық тәулікте ол шығысқа қарай көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесіне салыстырмалы 1° -қа жуық болады, оның тік көтерілуі $\alpha \approx 0^h4^m$ тең болады. Тағы бір жұлдыздық тәулік өткеннен кейін, Күннің тік көтерілуі 4^m -қа қайтадан ұлғаяды, яғни талтүс, жұлдыздық уақыт бойынша 0^h8^m -та болады. Осылайша, Күннің шарықтау шегінің жұлдыздық уақыты үздіксіз өсуде, және талтүс жұлдыздық тәуліктің әртүрлі сәттерінде пайда болады.

1.9 Шынайы және орташа күндік уақыт. Уақыттың теңдеуі

Күн орталығының жоғарғы шарықтау шегіндегі сәті *шынайы тал түс*, ал төменгісі – *түн ортасы* деп аталады. Күн орталығының бір шарықтау шегінен екінші шарықтау шегіне дейінгі аралықтағы уақыты *шынайы күн тәуліктері* деп аталады. Жыл бойында олардың ұзақтығы біркелкі болмайды. Сондықтан да, күнделікті өмірде шынайы күн тәуліктері емес, ұзақтығы тұрақты деп қабылданған *орташа күн тәуліктері* пайдаланылады.

Аспан сферасының кез келген нүктесінің шарықтау шегі әр түрлі уақытта Жер шарының әр түрлі меридиандарында өтеді. Оның үстіне ол неғұрлым ертерек болса, онда бақылау пункті соғұрлым шығысқа таман орналасады. Бұдан, Жердің осы орнында уақыт географиялық бойлыққа байланысты деген қорытынды шығады. Егер айтылған уақытта нөлдік меридианда орташа уақыт T_0 (мұны бүкіләлемдік уақыт дейді) болса, онда географиялық бойлығы λ болатын орында ол T_λ болады, оның үстіне T_λ -ның T_0 -ден саны λ -ға тең:

$$T_\lambda = T_0 + \lambda \quad (1.16)$$

Осы формуланы географиялық бойлықтарда орналасқан Жер бетіндегі екі пункт үшін жазайық:

$$T_{\lambda_1} = T_0 + \lambda_1$$

$$T_{\lambda_2} = T_0 + \lambda_2$$

Бұдан бақылау орнындағы географиялық бойлықты анықтауға мүмкіндік беретін маңызды қатынас шығады:

$$T_{\lambda_1} - T_{\lambda_2} = \lambda_1 - \lambda_2 \quad (1.17)$$

Қатаң ережеге салып айтсақ, уақыт барлық жерде, тек аймақ көлемінде ғана емес, тіпті үлкен қала аймағы ішінде әртүрлі болады. Осыдан келіп, география курсынан белгілі, *белдеулік уақыт* есебін енгізу қажеттігі туды (бұрынғы уақыт аумағында белдеулік уақыт 1919 жылдың 1 шілдесінен бастап енгізілді). Әрбір сағаттық белдеу бойлық бойымен 15°-қа, немесе 1 сағатқа созылып жатыр. Олай болса, 24 сағаттық белдеу бар. Бұрынғы одақ территориясынан 11 сағаттық белдеу өтеді. Қазақстан 4 және 5 сағаттық белдеулерді алып жатыр. Нөлдік белдеулік – гринвичтік. Әрбір белдеудің ішінде оның орталық меридианының уақыты алынады, ал белдеулердің шекаралары мемлекеттік және әкімшілік шекаралар бойынша, немесе табиғи аймақтармен (өзендер, тау жоталары) бөлінген. Бүкіләлемдік уақытты (T_0) және аталған орынның белдеуінің нөмірін (n) біле отырып, белдеулік уақытты табу оңай:

$$T_n = T_0 + n \quad (1.18)$$

(1.16) және (1.18) формуладан

$$T_b - T_\lambda = n - \lambda \quad (1.19)$$

Қазақстан Республикасы аумағында және Ресей Федерациясы аумағында 1992 жылдың 19 қаңтарынан бастап уақытты есептеудің мынадай тәртібі белгіленген. Біріншіден, белдеулік уақытқа 1 сағат қосылады. Екіншіден, жыл сайын

наурыз айының соңғы жексенбісінде түнгі сағат 2-де сағат тілдері 1 сағатқа ілгері жылжытылады (осылайша $T_{ж}$ жазғы уақыт енгізіледі), ал қазан айының соңғы жексенбісінде (түнгі сағат 3-те) сағат тілдері 1 сағатқа кейін жылжытылады. Осылайша, жазғы уақыт белдеулік уақыттан 2 сағатқа ілгері жүреді:

$$T_{ж} = T_n + 1^{cae} \quad (1.20)$$

Жазғы уақыт әдеттегі өмір ырғағын бұзбайды, ол жарықтандыруға жұмсалатын электр энергиясын айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді.

Астана уақыты – бұл 3 сағаттық белдеуде ($n=3$) тұрған Қазақстан Республикасы астанасының жергілікті уақыты. Мәскеу уақыты – бұл Ресей астанасының 2 сағаттық белдеудегі ($n=2$) жергілікті уақыты. Ол Ресей Федерациясы үшін бірыңғай уақыт есебінде алынған. Бұл елдің аумағындағы көп бөлігінде уақыттың Мәскеу уақытынан айырмашылығы бар, бірақ бұл айырмашылық қай кезде де бүтін санға еселенген және жергілікті тұрғындарға жақсы мәлім.

Күннің тізбектей екі шарықтау арасындағы уақыт аралығы (нақтырақ, күн шарасының ортасы) бір және сол географиялық меридианда *шынайы күн тәуліктері* деп аталады. Аталған меридианда шынайы күн тәуліктерінің басталуына Күннің төменгі шарықтауының сәттері алынады. Күннің төменгі шарықтау шегінің кез келген оның басқа орнына дейінгі уақыты шынайы күн уақыты T_0 деп аталады.

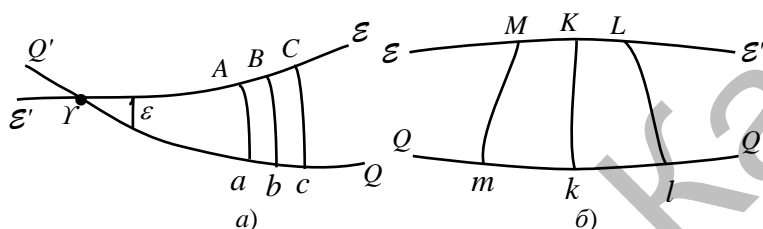
Шынайы күн уақыты T_0 аталған меридианда кез келген уақытта, сағаттық өлшемде көрсетілген, Күннің сағаттық бұрышы t_0+12^h санына тең, яғни

$$T_0 = t_0 + 12^h \quad (1.21)$$

Егер Күн көкжиекте болып, бұлттармен жабылмаса, Күннің сағаттық бұрышын әрқашан тікелей өлшеуге болады. Күннің

жоғары шарықтауы кезінде $t_0 = 0^h$, сәйкесінше шынайы күннің уақыты талтүсте әрқашанда 12^h -қа тең болады.

Шынайы күн тәуліктерін уақытпен өлшеу қиын емес, бірақ күнделікті өмірде пайдалану ыңғайсыз. Ыңғайсыздық, шынайы



1.8-сурет. Шынайы күн тәуліктерінің теңсіздігі

күн тәуліктерінің ұзақтығы тұрақты шама еместігінен туындайды. Күннің жоғары шарықтауының кешігу шамасы жылдың әр түрлі күндерінде жұлдыздық уақытқа сәйкес әр түрлі болып келеді. Сәйкесінше, шынайы күн тәуліктерінің айырмашылығы мен ұзақтығына да байланысты. Ол тұрақты болуы үшін, Күннің тік көтерілуінің тәуліктік өсімшесі тұрақты болуы керек (1.8-сурет). Бірақ, бұл екі себепке байланысты:

1) Күн аспан экваторы бойынша емес, аспан экваторына $\varepsilon = 23^\circ 26'$ бұрышпен еңкейген эклиптика бойынша қозғалады.

2) Эклиптика бойынша Күннің қозғалысы бірқалыпсыз. Алғашқы себептің салдарынан, егер Күн эклиптикада бір қалыпты қозғалса да, оның ұзақтығының тәуліктік өсімшесі қашан да бірдей болып қалса да, шынайы күн тәуліктері бірдей болмас еді. Шындығында, аспан экваторына QQ' жобаланған күн мен түннің теңелу нүктелеріне жақын доғасы $AB=BC=\Delta\lambda$ -ға тең эклиптиканың $\varepsilon\varepsilon'$ сәйкесінше аз қиындыларына Күннің тік көтерілу өсімшесін $\Delta\alpha$ береді, яғни $\Delta\alpha \leq \Delta\lambda$. Күннің тоқырау нүктелеріне жақындау, керісінше, $\Delta\alpha \geq \Delta\lambda$.

Екі себептің әрекетінің нәтижесінде шынайы күн тәуліктері, мысалы, 22 желтоқсан 23 қыркүйекке қарағанда 50-51 секундқа ұзағырақ. Шынайы күн тәуліктерінің тұрақсыз ұзақтығы оларды тәжірибеде уақытты есептеу үшін қолдануға мүмкіндік бермейді.

Тұрақты ұзақтықтағы және сол уақытта Күн қозғалысымен байланысты тәуліктерді алу үшін астрономияға екі жалған нүктелер – орташа эклиптикалық және орташа экваторлық күн түсініктері енгізілген. Орташа эклиптикалық күн эклиптика бойынша Күннің орташа жылдамдығымен бірқалыпты қозғалады және оған 3 қаңтар мен 4 шілде аралықтары сәйкес келеді.

Орташа экваторлық күн орташа эклиптикалық күннің тұрақты жылдамдығымен аспан экваторы бойынша бірқалыпты қозғалады және онымен бірге бір уақытта көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінен өтеді.

Сәйкесінше, уақыттың әр сәтінде орташа экваторлық күннің тік көтерілуі орташа эклиптикалық күннің ұзақтығына тең болады. Олардың тік көтерілулері тек жылына төрт рет, яғни, күн мен түннің теңелу нүктелерінен және күннің тоқырау нүктелерінде орташа эклиптикалық күннен өту кезеңдерінде ғана бірдей болады.

Бірдей географиялық меридиандағы орташа экваторлық күннің екі тізбектей шарықтау арасындағы уақыт аралығы *орташа күн тәуліктері* немесе *орташа тәуліктер* деп аталады. Орташа экваторлық күннің анықтамасынан, орташа күн тәулігінің ұзақтығы бір жылдағы шынайы күн тәулігінің ұзақтығының орташа мәніне тең болатындығын көруге болады.

Аталған меридианда орташа күн тәуліктерінің басталуына орташа экваторлық күннің төменгі шарықтау кезеңдері алынады. Орташа экваторлық күннің төменгі шарықтауынан оның кез келген басқа орнына дейінгі өткен уақыт *орташа күн уақыттары* немесе *орташа уақыт* T_m деп аталады.

Бұл меридиандағы орташа уақыт T_m кез келген уақытта сағаттық өлшемде көрсетілген, орташа экваторлық күннің сағаттық бұрышына t_m+12^h тең болады, яғни

$$T_m = t_m + 12^h \quad (1.22)$$

Аспанда орташа экваторлық күн ешқандай белгімен белгіленбеген, сондықтан оның сағаттық бұрышын өлшеуге болмайды. Орташа күн уақыты шынайы күндік немесе

жұлдыздық уақытты бақылауды анықтау бойынша есептеу жолымен алынады.

Қай кез болмасын, орташа уақыт пен шынайы күн уақытының арасындағы айырмашылық уақыттың теңдеуі η деп аталады. (1.21), (1.22), (1.17) негізінде уақыттың теңдеуі:

$$\eta = T_m - T_0 = t_m - t_0 = \alpha_0 - \alpha_m \quad (1.23)$$

(1.23) қатынасынан шығатыны:

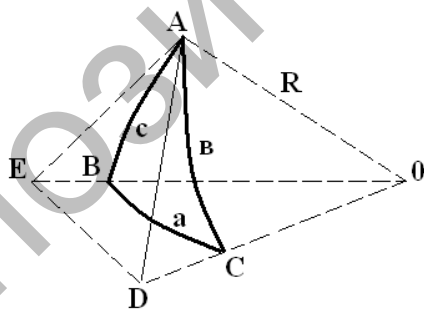
$$T_m = T_0 + \eta \quad (1.24)$$

Яғни, орташа күн уақыты кез келген сәтте шынайы күн уақытына қосылған уақыт теңдеуіне тең.

1.10 Сфералық үшбұрыш және сфералық тригонометрияның негізгі формулалары

Астрономияның көп есептері аспан денелерінің көрінерлік орындары және олардың қозғалыстарымен байланысты сфералық үшбұрыштарды шешуге әкеледі.

Сфералық үшбұрыш деп үш үлкен шеңбердің доғаларымен түзілетін сфера бетіндегі ABC фигурасы айтылады (1.9-сурет).



1.9-сурет. Сфералық үшбұрыш

Сфералық үшбұрыштың бұрыштары деп сфералық үшбұрышты түзетін үлкен шеңберлер жазықтықтары арасындағы екі қабырғалы бұрыштар айтылады. Бұл бұрыштар оның жақтарына өткізілген жанамалар арасындағы жазық бұрыштармен өлшенеді.

Кәдімгі жағдайда, бұрыштары мен жақтары 180° -тан кіші болатын үшбұрыштар қарастырылады. Мұнда әрқашан бұрыштар мен қабырғаларының қосындысы 180° -тан үлкен, ал 540° -тан кіші, ал жақтардың қосындысы әрқашан 360° -тан кіші болатын сфералық үшбұрыштар қолданылады. Сфералық үшбұрыштың үш бұрыштарының қосындысы мен 180° арасындағы айырымды *сфералық асқындық* σ деп атайды:

$$\sigma = \angle A + \angle B + \angle C - 180^\circ$$

Сфералық үшбұрыштың ауданы S былай анықталады:

$$S = \sigma \frac{\pi R^2}{180^\circ},$$

мұндағы R - бетінде үшбұрыш түзілген сфера радиусы.

Осылайша сфералық үшбұрыш өзінің жазықтық қасиетімен ерекшеленеді, және оған жазықтыққа арналған тригонометрия теориясы қолданылмайды.

Сфераның R радиусында және O центр нүктесінде түзелген ABC үшбұрышын қарастырайық.

Бір жазықтықта сәйкес жанамамен жатқан A төбесінен a және b қабырғаларына AD және AE жанамасын OC және OB радиустарының жалғасымен қиылысқанша жүргіземіз. O және E нүктелерінің қиылысуын қосып, ортақ DE қабырғасы бар екі тік қиғаш ADE және ODE бұрыштарын аламыз. Осыған геометрияның үшбұрыштар теоремасына қолдана отырып, аламыз:

$$DE^2 = OD^2 + OE^2 - 2OD \cdot OE \cdot \cos \alpha,$$

$$DE^2 = AD^2 + AE^2 - 2AD \cdot AE \cdot \cos A.$$

Бірінші теңдіктен екінші теңдікті азайтамыз:

$$2OD \cdot OE \cdot \cos \alpha = OD^2 - AD^2 + OE^2 - AE^2 + 2AD \cdot AE \cdot \cos A \quad (1.25)$$

OAE және OAD жазық тікбұрышты үшбұрыштардан келесідей формуланы аламыз:

$$OD^2 - AD^2 = R^2, \quad OE^2 - AE^2 = R^2,$$

$$AD = R \cdot \operatorname{tg} b, \quad AE = R \cdot \operatorname{tg} c,$$

$$OD = \frac{R}{\cos b}, \quad OE = \frac{R}{\cos c}.$$

Осы қатынастарды (1.25) формуласына қойып, сәйкес қысқартулар мен ауыстырылымдар жасаймыз:

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A, \quad (1.26)$$

Сфералық үшбұрыштың қабырғаларының косинусы басқа қабырғаларының косинусының көбейтіндісіне және сол қабырғаларының синусының көбейтінділері арасындағы бұрыштарының косинусының қосындысына тең.

(1.26) формуласын үшбұрыштың кез келген қабырғаларына жазуға болады. Мысалы, b қабырғасына жазамыз :

$$\cos b = \cos c \cdot \cos a + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B.$$

Оған (1.26) формуласындағы $\cos a$ қоямыз:

$$\cos b = \cos c (\cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A) + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B.$$

Жақшаны аша отырып , бірінші жақтың оң жағын сол жаққа қоямыз:

$$\cos b \cdot (1 - \cos^2 c) = \sin b \cdot \sin c \cdot \cos c \cdot \cos A + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B.$$

$(1 - \cos^2 c)$ -ны $\sin^2 c$ ауыстыра отырып, барлық жағын $\sin c$ қысқартамыз, сонда алатынымыз:

$$\sin a \cdot \cos B = \sin c \cdot \cos b - \cos c \sin b \cdot \cos A, \quad (1.27)$$

Қабырғаларының синусының іргелес бұрыштың косинусына көбейтіндісі, үшінші қабырғаның косинусына іргелес бұрышты шектейтін басқа қабырғаларының синусы көбейтіндісінен, үшінші қабырғаның синусына іргелес бұрышты шектейтін қабырғаларының косинусы және бірінші қабырғаға қарсы жатқан бұрыштың косинусына көбейтіндісін азайтқанға тең.

(1.27) өрнегі бес элементтер формуласы деп аталады. Оны ұқсастығына қарай, $\sin a \cdot \cos C$, $\sin b \cdot \cos A$, $\sin b \cdot \cos C$, $\sin c \cdot \cos A$, $\sin c \cdot \cos B$ көбейтінділері үшін жазуға болады.

$\cos A$ - ға салыстырмалы (1.26) теңдігін шешеміз:

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

Екі жағын квадраттап, 1-ден азайтамыз, сонда:

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

немесе

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

Жақшаны ашып, екі жағын $\sin^2 a$ бөлеміз:

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

Алынған мән a, b, c қабырғаларына симметриялы. А нүктесін B -ға, a -ны b -ға, немесе A -ны C -ға және a -ны c -ға ауыстыра отырып, былай жазуға болады:

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

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

осыдан

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

немесе

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B}, \quad (1.28)$$

яғни, сфералық үшбұрыш қабырғаларының синусы қарама-қарсы жатқан бұрыштардың синусына пропорционал немесе сфералық үшбұрыштың қабырғаларының синусының қарама-қарсы жатқан бұрыштардың синусына қатынасы тұрақты шама болып табылады.

Үш алынған қатынастар (1.26), (1.27), (1.28) сфералық үшбұрыштардың қабырғалары мен бұрыштары үшін негізгі болып табылады. Бұдан сфералық тригонометрияның басқа да көп формулаларын алуға болады. Біз тікбұрышты сфералық үшбұрыш үшін бір ғана формуланың нәтижесімен шектелдік. Егер $A=90^\circ$ қойсақ, онда

$$\sin a \cdot \cos B = \sin c \cdot \cos b.$$

Осы теңдіктің екі жағын $\sin b$ -ға бөліп, $\sin a/\sin b$ -ны $\sin A/\sin B = 1/\sin B$ -мен алмастырып, (1.28) өрнекке сәйкес, мынаны аламыз:

$$\operatorname{ctg} B = \sin c \cdot \operatorname{ctg} b$$

немесе

$$\frac{\operatorname{tg} b}{\operatorname{tg} B} = \sin c, \quad (1.29)$$

Тік бұрышты сфералық үшбұрыш тангенсі катетының қарама қарсы жатқан бұрыштың тангенсіне қатынасы басқа катеттің синусына тең.

1-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Аспан сферасы ұғымына өз анықтамаңызды беріңіз?
2. Жылдың әр мезгілінде үшбұрыш жасайтын шоқжұлдыздарды жұлдызды аспанның жылжымалы картасы арқылы көрсетіңіз?
3. Аспан сферасындағы ең негізгі жазықтықтар мен сызықтарды жұлдызды аспанның жылжымалы картасын пайдалана отырып, түсіндіріңіз?
4. Аспан экваторы жазықтығы мен математикалық көкжиек қандай бұрышпен қиылысады?
5. Эклиптика математикалық көкжиек жазықтығымен қашан және қай кезде сәйкес келеді?
6. Неге және қаншалықты жиі (орташа есеппен) көктемгі күн мен түннің теңелуі бір шоқжұлдыздардан келесі шоқжұлдыздарға өтеді?

7. Егер эклиптика шығыс нүктесі арқылы өтсе, онда ол батыс нүктесі арқылы да өтетіндігін дәлелдеңіз. Ол қашан болуы мүмкін?
8. Бақылау орнының ені 90° -қа дейінгі ауытқитын аспан сферасынан геомертиялық орын нүктесін анықтаныз?
9. Аспан сферасында тік көтерілудің эклиптика бойлығына тең екендігін қайдан көруге болады?
10. Күн мен түннің тенелуі мен күн тоқырауының (маусым ұзақтылығы) арасындағы уақыт интервалын бағаландар. Не себептен олар бірдей емес?
11. Бір бақылаушы күн сайын бірдей жұлдыздық уақытта үйден шығып көкжиектен Күнді көрді. Ол қай жерде тұрды және жергілікті жұлдыздық уақыт бойынша сағат неше болды?
12. Егер де Жердің осі эклиптикаға перпендикуляр болса, шынайы күндік уақыт орташа уақыттан қанша уақытқа ерекшеленеді?
13. Үшбұрыштың сфералық ауданының формуласын қорытып шығарыңыз?

2-тарау. ӘЛЕМНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ ТҰРАЛЫ КӨЗҚАРАСТАРДЫҢ ДАМУЫ. КҮН ЖҮЙЕСІНІҢ КИНЕМАТИКАСЫ

2.1 Птолемей жүйесінің әлемі

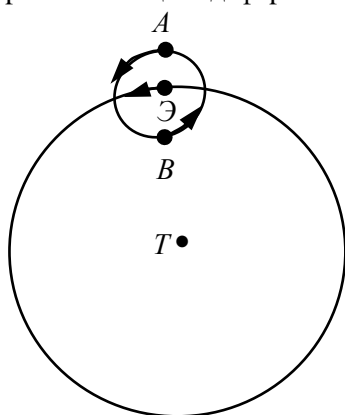
Ғаламшарлардың және басқа да аспан денелерінің көрінерлік қозғалысы оны Жерден бақылайтындықтан қиындайды, осы бақылаулардың ешқайсысы Жердің өзінің қозғалатындығын немесе қозғалмайтындығын көрсете алмайды. Сондықтан да, ежелгі астроном ғалымдар осы мәселеге байланысты екі көзқараста болды. Тікелей әсерлерге негізделген бірінші көзқарас бойынша, Жер қозғалмайды және әлем орталығында орналасқан. Байқалған әсерлерге сүйене отырып, екінші көзқарасы бойынша, Жер өз осінен айналады және әлем орталығындағы Күнді айнала қозғалады. Бірақ Жердің бұл қозғалысы сол кездегі діни көзқарасқа қайшы келді. Сондықтан екінші көзқарас математикалық мүмкіндікке ие болмады және астрономияда көп уақыт бойы Жердің қозғалмайтындығы туралы пікір бекітілді.

Ежелгі астрономдардың Әлем құрылысы туралы ойлары Клавдия Птолемейдің (б.з.б. 87-165жж.) «Мегале синтаксис» (Ұлы құрылым) еңбегінде көрсетілген. Птолемей еңбегінің араб тіліндегі аудармасы «Альмагест» атымен белгілі.

Птолемей әлемінің жүйесі негізінде 4 негізгі болжам жатыр: 1) Жер шар тәріздес және ол Әлем орталығында орналасқан; 2) Жер қозғалмайды; 3) барлық аспан денелері Жерді айнала қозғалады; 4) аспан денелерінің қозғалысы шеңбер бойымен тұрақты жылдамдықпен, яғни бірқалыпты болып табылады.

Птолемей әлемінің жүйесі *геоцентрлік* деп аталады және келесі қарапайым түрде көрсетуге болады: ғаламшарлар, ортасында Жер орналасқан *деферент* бойымен қозғалатын, *эпицикл* шеңберін бірқалыпты айнала қозғалады. Күн және Ай Жерді айнала деферент бойымен қозғалады (эпициклсіз). Күн мен Айдың деференттері, ғаламшарлардың деференттері мен эпициклдері бетінде «қозғалмайтын» жұлдыздар орналасқан сфераның ішінде жатыр.

Барлық шырақтардың тәуліктік қозғалысы бүкіл әлемнің қозғалмайтын Жерді айнала қозғалуымен түсіндірілді. Ғаламшарлардың түзу және кері қозғалыстары келесі түрде түсіндіріледі. Егер ғаламшар өз эпициклында A нүктесінде орналасса (2.1-сурет), онда оның қозғалмайтын Жерден T бақыланатын қозғалысының бұрыштық жылдамдығы эпицикл орталығының деферент бойынша қозғалысымен және ғаламшарлардың эпицикл бойымен қозғалысымен түсіндіріледі. Бұл жағдайда ғаламшар тік қозғалыспен үлкен жылдамдықпен қозғалатын секілді көрінеді. Ғаламшар B нүктесінде орналасқан жағдайда оның эпицикл бойымен қозғалысы эпицикл орталығына қарама-қарсы бағытта болады және оның Жерден бақыланатын бұрыштық жылдамдығы аз мәнге ие болады. Егер осы жағдайда ғаламшардың эпицикл бойымен қозғалысының жылдамдығы эпицикл орталығының жылдамдығынан аз болса, ғаламшар бұл бағытта тік, бірақ баяу қозғалыспен қозғалатын сияқты көрінеді. Егер оның эпицикл бойымен қозғалысының жылдамдығы эпицикл орталығының жылдамдығынан артық болса, ғаламшар кері қозғалыспен қозғалатын сияқты көрінеді.



2.1-сурет. Деферент және эпицикл

Птолемей әрбір ғаламшар үшін эпицикл мен деференттерінің радиусын, ғаламшарлардың эпицикл бойымен қозғалысын және T нүктесінен бақылағанда неғұрлым жақынырақ болатын эпициклдің деферент бойынша орталығының сәйкес өлшемдерін анықтады. Бұл жағдай Птолемей постулат ретінде дәлелдеусіз қабылдаған кейбір шарттардың орындалуы арқасында жүзеге асады. Олар келесі мәлімдемелерге сәйкес келеді: 1) Меркурий мен Шолпан эпициклдарының орталығы Жер мен Күнді байланыстыратын түзу бойында жатыр;

2) басқа барлық ғаламшарлардың орны арқылы өтетін эпицикл радиусы бұл бағытқа параллель; 3) эпицикл орталығының деферент бойымен айналуының бұрыштық жылдамдықтарының қосындысы және ғаламшарлардың эпицикл бойымен айналуы Күн қозғалысының бұрыштық жылдамдығына тең. Птолемей жүйесінің осы маңызды қасиеті 2.4-параграфында келтірілген (2.1) қатынасқа эквивалентті болып табылады.

Птолемей әлемінің жүйесі ғаламшарлардың көрінетін қозғалысының негізгі ерекшеліктерін ескерді, ал Күнге бағыты іс жүзінде басым болып табылады.

Птолемей әлемінің жүйесі ғаламшарлардың көрінерлік қозғалысын түсіндіреді және олардың орындарын құралсыз көзбен бақылаған жағдайда да нақты есептеуге болады.

Бақылау теориясының бақылау дәлдігін арттыру кезінде байқалған келіспеушілігі жүйені қиындату жолымен шешілді. Мысалға, кейінірек бақылған ғаламшарлардың көрінерлік қозғалысының кейбір қателіктері 1-ші эпицикл орталығының айналасында ғаламшар емес, айналасында ғаламшар қозғалатын 2-ші эпициклдың орталығы орналасатындығымен түсіндіріледі. Қандай да бір ғаламшар үшін осындай құрылым жеткіліксіз болған жағдайда ғаламшарлардың соңғы эпицикл бойындағы жағдайы қанағаттандырылатын шешім бермейінше 3-ші, 4-ші, т.б. эпициклдар енгізіледі.

XVI ғасырдың басында Птолемейдің геоцентрлік жүйесінің соншалықты қиындауына байланысты тәжірибелік талаптарға, ең бірінші кезекте теңіз сапарларында қолдануға сәйкес келмеді. Ғаламшарлардың орнын есептейтін қарапайым әдістер керек болды. Қазіргі заманғы астрономия пайда болған және дамыған жаңа астрономияның негізін данышпан поляк ғалымы Николай Коперник осындай әдістерді ойлап тапты.

2.2 Коперник әлемінің жүйесі

Ұлы польша астрономы Николай Коперник (1473-1543) Птолемейдің еңбектерін мұқият зерттеп, әлемнің геоцентрлік жүйесінің негізі қате деген қорытындыға келді. Оның бүкіл

өмірлік еңбегі – «Аспан сфераларының айналуы туралы» кітабы 1543 жылы ғалымның өмірден кетуінен аз уақыт бұрын жарияланды. Осы еңбегінде Коперник Жердің қозғалысы туралы идеяны математикалық тұрғыдан есептеп шығарып, жаңа астрономиялық бағыттың негізін қалады. Оның жасаған әлем жүйесі *гелиоцентрлік* деп аталады. Бұл жүйенің негізінде келесі қағидалар жатыр:

1) Әлемнің орталығында Жер емес, Күн тұрады (грекше – гелиос);

2) Шартәрізді Жер өз осі бойынша айналады және осы айналым барлық шырақтардың айқын тәуліктік қозғалысын түсіндіреді;

3) Жер басқа ғаламшарлар сияқты Күнді айнала қозғалады және осы айналым жұлдыздар арасындағы Күннің көрінерлік қозғалысын түсіндіреді;

4) Барлық қозғалыстар бірқалыпты айналмалы қозғалыстардың жиіні ретінде көрінеді;

5) Ғаламшарлардың түзу және кері айқын қозғалыстары өздеріне емес, Жерге тиесілі.

Сонымен қатар, Коперник Ай Жердің серігі ретінде Жерді айнала қозғалып, Жермен бірге Күнді айнала қозғалады деп санады.

Зерттеу барысында алынған нәтижелерден Коперник Птолемей секілді барлық ғаламшарлар, Жермен қоса, Күнді айнала бірдей жазықтықта қозғалады деген қорытындыға келді. Осы шартқа байланысты ғана басқа ғаламшарлардың Жерден көрінерлік жолы аспанда эклиптикаға жақын орналасуы мүмкін.

Меркурий және Шолпан өздерінің көрінерлік қозғалысында Күннен алшақтамайтындығынан, олардың кеңістіктегі жолы немесе орбитасы Күнге Жердің орбитасына қарағанда жақынырақ орналасқан. Осыған қарамастан, Шолпанның Күннен көрінерлік ауытқуы артық болғандықтан, ол Меркурийға қарағанда Күннен алысырақ орналасқан. Қалған ғаламшарлар Күнді Жерге қарағанда алыс қашықтықта айналады. Жерге ең жақын орналасқан Марс, себебі ол басқа ғаламшарларға

қарағанда жылдамырақ қозғалады. Одан кейін «баяуырық» Юпитер және «өте баяу» Сатурн орналасқан.

Коперник астрономияда ең алғаш болып ғаламшарлардың Күннен салыстырмалы қашықтығын (Жер мен Күннің арақашықтығы бірлік ретінде) және олардың Күнді айналу периоды есептеу арқылы Күн жүйесі құрылысының сызбасын дұрыс көрсетті. Коперниктің ғаламшарлардың көрінерлік қозғалысының анықтамасы қарапайым, және соның негізінде қазіргі астрономияның осы құбылыстарға беретін анықтамасына қайшы келмейді.

Коперник аспандағы барлық шырақтардың тәуліктік қозғалысын айқын құбылыс деп дұрыс есептеді, оны Жердің өз осі бойымен қозғалысымен түсіндірді. Коперник Күннің эклиптика бойынша жылдық қозғалысын да Жердің Күн айналасы кеңістігіндегі нағыз қозғалысы нәтижесінде пайда болатын көрінетін қозғалыс деп есептеді. Жұлдыздар Жерге қарағанда Күннен алыс арақашықтықта орналасқандықтан, Жердің Күнді айнала қозғалысы бізге қозғалмайтын жұлдыздар арасында әрқашан бір бағытта қозғалатын болып көрінеді. Ең соңында, қиын көрінетін түзу және кері қозғалыстарды Коперник екі нақты қозғалыс – ғаламшарлардың қозғалысы және Жердің орбита бойынша Күнді айнала қозғалыстары арқылы түсіндірді.

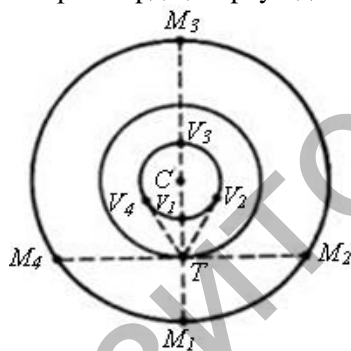
2.3 Ғаламшарлардың көрінерлік қозғалысы

Құралсыз жай көзбен бес ғаламшарларды: Меркурийді, Шолпанды, Марсты, Юпитерді және Сатурнды көруге болады. Сыртқы түрі бойынша ғаламшарды жұлдыздардан айыру оңай емес, және олар жұлдыздардан жарық болмайды. Ғаламшарлар аспан сферасының тәуліктік айналысына қатысып қоймай, зодиақтық шоқжұлдыздар реңкінде де араласып жүретін шырақтар қатарына жатады. Оның ғаламшар аталуының өзі де осындай ерекшелігіне байланысты, ертедегі гректер «адасқан» шырақ дегенді осылай атаған. Орбиталары Жер орбитасының ішкі жағында орналасқан ғаламшарды *ішкі*, ал орбиталары Жер орбитасының сыртқы жағында жататын ғаламшарды *сыртқы*

ғаламшарлар деп атайды. Ғаламшарлардың Күн мен Жерге қатысты өзара орналасу сипатын *ғаламшарлар конфигурациялары* деп атайды. Ішкі және сыртқы ғаламшарлардың конфигурациялары әр түрлі болады. Ішкі ғаламшарда - қосылыстар (ішкі және сыртқы) және элонгациялар (шығыстық және батыстық, бұл ғаламшардың Күннен мейлінше бұрыштық алыстауы). Сыртқы ғаламшарларда бұлар – *квадратуралар* (шығыстық және батыстық, квадратура сөзі-дөңгелектің төрттен бірі деген сөз), *қосылыс және қарсы тұру*.

Ғаламшарлар өзінің орбита бойымен қозғалысы кезінде Күн мен Жерге қатысты әртүрлі жағдайда болады (2.2 - сурет). Жердің T Күнге C қатысты орбитасы көрсетілген. Бұл кезде сыртқы және ішкі ғаламшар өз орбитасының кез келген нүктесінде орналасуы мүмкін.

Егер ішкі ғаламшар V сызбада көрсетілген V_1, V_2, V_3 немесе V_4 нүктелердің біреуінде орналасса, онда ол жерден Күннен төменгі (V_1) немесе жоғарғы (V_3) қосылысында, батыстық (V_2) немесе шығыстық (V_4) элонгациясында көрінеді. Егер сыртқы ғаламшар M өз орбитасының M_1, M_2, M_3 немесе M_4 нүктесінде орналасса, онда Жерден қарсы тұру (M_1), қосылыс (M_3), батыстық (M_2) немесе шығыстық (M_4) квадратурасында көрінеді.

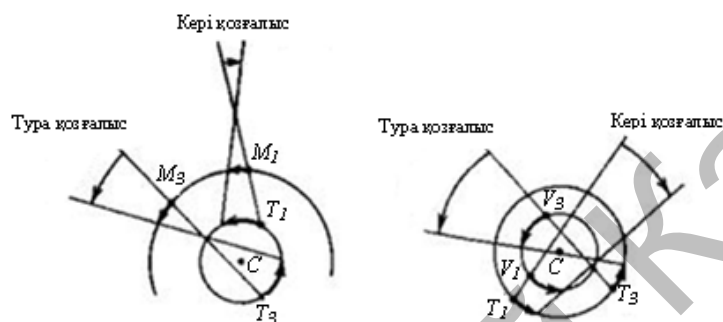


2.2-сурет. Ғаламшарлардың конфигурациясы

Ішкі ғаламшар ішкі қосылыс кезінде Жерге өте жақын және сыртқы қосылыс кезінде одан алыс орналасқан. Сыртқы ғаламшар қарсы тұру кезінде Күнге ең кіші ара қашықтықпен жақындайды және қосылыс кезінде одан максималды ара қашықтықпен алыстайды, ғаламшарлар конфигурациясы осылай түсіндіріледі.

Ғаламшарлар мен Жердің сызықтық емес орбитальдық жылдамдықтары ғаламшардың тура және қарсы қозғалыстарымен

салыстыра отырып түсіндіріледі. Сыртқы ғаламшар қосылыстың (M_3) жанында орналасса, онда оның жылдамдығы Жер (T_3) жылдамдығына қарсы бағытталады (2.3 - сурет).



2.3-сурет. Ішкі және сыртқы ғаламшарлардың тура, қарсы қозғалыстары

Жерден ғаламшар тура қозғалыспен қозғалғандай болып көрінеді, оның шын қозғалысы оңнан солға қарай бағытталған. Бұдан оның жылдамдығы көбейгендей болып көрінеді. Сыртқы ғаламшар қарсы тұру (M_1) орналасса да, онда оның жылдамдығы және Жердің жылдамдығы бір бағытқа қарай бағытталады. Бірақ Күннің сызықтық жылдамдығы сыртқы ғаламшардың сызықтық жылдамдығынан артық болады, сондықтан Жерден ғаламшар қарсы бағытқа қозғалғандай болып көрінеді, яғни қарсы қозғалыс солдан оңға бағытталған.

Ішкі ғаламшар жұлдыздар арасында ішкі қосылыс жанында (V_1) қарсы қозғалыспен, ал жоғарғы қосылыс жанында (V_3) тура қозғалыспен қозғалады.

2.4 Ғаламшарлардың синодтық және сидерлік айналу периодтары

Ғаламшарлардың сидерлік (жұлдыздық) және синодтық периодтарын қарастырайық. Екі бірдей конфигурациялар арасындағы уақыт аралығы *синодтық айналу периоды* (S) деп аталады.

Ғаламшарлар өзінің орбитасы бойынша Күнді толық бір айналым жасауға кететін уақыт аралығы ғаламшардың *сидерлік* немесе *жұлдыздың айналу периоды* (T) деп аталады.

Ғаламшарлар Күнді айнала бір бағытта қозғалады және әрбіреуі өзінің сидерлік периодына тең уақыт аралығында Күнді айнала толық бір айналым жасайды. Мысалы, Жердің ($T_{\text{Ж}}$) сидерлік периодына тең уақыт аралығы өткенде ішкі ғаламшар Жерден озып кетеді, ал сыртқы ғаламшар одан қалып қояды, яғни ғаламшардың алғашқы конфигурациясы қалпына келмейді. Ендеше синодтық период сидерлік периодқа тең емес. Екі периодтың арасында тәуелділік бар, оны анықтауға болады. Ол үшін тәулік бойында қандай да бір ғаламшар ($360^\circ/T$) мен ($360^\circ/T_{\text{Ж}}$) орбита бойымен ойысатын доғаларды салыстырамыз. Осы орташа орын ауыстырулар айырмасы ғаламшардың бақыланатын тәуліктік орын өзгертуі ($360^\circ/S$) болып табылады. Демек, өз орбитасында Жерден жылдам қозғалатын ішкі ғаламшарлар үшін мына төмендегі формулаларды жазуға болады:

$$\left(\frac{360^\circ}{S} \right) = \left(\frac{360^\circ}{T_{\oplus}} \right) - \left(\frac{360^\circ}{T_{\text{Ж}}} \right)$$

немесе

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{\text{Ж}}} \quad (2.1)$$

ал Жерден баяуырақ қозғалатын сыртқы ғаламшарлар үшін –

$$\frac{360^\circ}{S} = \frac{360^\circ}{T_{\text{Ж}}} - \frac{1}{T_{\oplus}} \quad (2.2)$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\text{Ж}}} - \frac{1}{T_{\oplus}}$$

(2.1) және (2.2) - формулалары *синодтық қозғалыс теңдеулері* деп аталады. Олардағы $T = 1$ жыл (немесе 365,26 тәулік). Тікелей

бақылау, тек ғана ғаламшардың синодтық айналу периоды S және Жердің сидерлік айналу периоды, яғни жұлдыздық жыл T_0 кезінде анықталады. Ғаламшардың сидерлік айналу периоды T сәйкесінше синодтық қозғалыс теңдеуімен анықталады.

2.5 Кеплер заңдары

Кеплер Иоганн Коперник ғылымының жақтаушысы болған және дат астрономы Тихо Браге (1546 - 1601) 20 жыл бойы Марсты зерттеген бақылау жүйесін жетілдіруді өз алдына міндет етіп қойды.

Басында Кеплер аспан денесі тек қана шеңбер бойымен қозғалады деді, сондықтан Марс үшін шеңбер орбита таңдау үшін көп уақытын жоғалтты.

Көп жылдық еңбегінен кейін Кеплер ғаламшарлар қозғалысының үш заңын ашты. Олар:

1. Барлық ғаламшарлар эллипс бойымен қозғалады, оның бір фокусында Күн тұрады (барлық ғаламшарлар үшін).

2. Ғаламшардың радиус-векторы бірдей уақыт аралықтарында тең аудандар сызады.

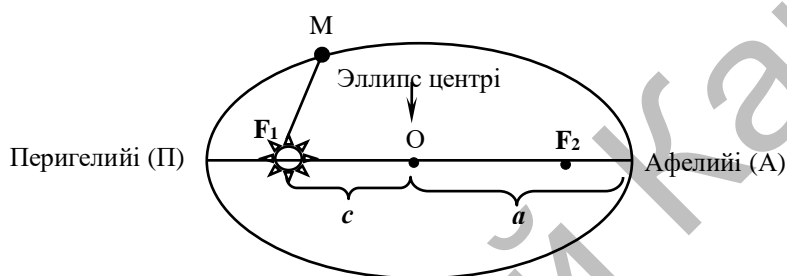
3. Күннің айналасындағы ғаламшарлардың сидерлік айналу периодтарының квадраты оның эллипстік орбитасының үлкен жарты осьтерінің кубына пропорционал.

Эллипстің ара қашықтығының қосындысы F_1 және F_2 жылжымайтын екі нүктеден тұратын, оның АП осінде жататын және фокусы деп аталатын тұрақты шамасы бар, АП үлкен осіне тең екені белгілі (2.4 - сурет). ПО (немесе ОА) ара қашықтығы, мұндағы О – эллипс орталығы үлкен жарты ось a , ал e қатынасы эллипстің эксцентриситеті деп аталады. $e = 0$ болғанда эллипс шеңберге ауытқиды.

Ғаламшар орбитасының шеңберден айырмашылығы аз, яғни оның эксцентриситеті аз. Шолпан орбитасының эксцентриситеті ең аз ($e = 0.007$), Плутон орбитасынікі ең көп ($e = 0.249$). Жер орбитасының эксцентриситеті $e = 0.017$ - ге тең.

Ғаламшарлардың эллипстік орбитасының бір фокусында Күн жатыр деген Кеплердің I заңымен келісеміз. Ал бұл F_1

фокусы (С-Күн). Сонда Күнге ең жақын орбитасының нүктесі Π *перигелий*, ал Күннен ең ұзақ нүкте A – *афелий* деп аталады. Орбитаның үлкен осі AP – апсид сызығы деп аталады, ал Күнмен ғаламшардың P оның орбитасымен қосылысқан F_1P сызығы – ғаламшардың радиус – векторы.



2.4-сурет. Кеплердің 1заңы

Перигелийдегі ғаламшардың Күннен ара қашықтығы:

$$q = a(1 - e) \quad (2.3)$$

афелийге дейінгі

$$Q = a(1 + e) \quad (2.4)$$

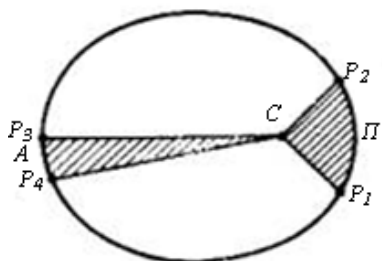
Күннен ғаламшарға дейінгі орташа үлкен жарты осьтің орбитасын құрайды:

$$a = \frac{q + Q}{2}$$

Кеплердің екінші заңына сәйкес ғаламшардың радиус - векторымен сипатталған перигелийдің жанындағы Δt уақыт ішіндегі CP_1P_2 ауданы сол Δt уақыт ішіндегі афелийдің жанындағы CP_3P_4 ауданына тең (2.5 – сурет). P_1P_2 доғасы P_3P_4

доғасынан үлкен, сондықтан перигелий нүктесіне жақын ғаламшар афелийге қарағанда үлкен жылдамдыққа ие. Бір сөзбен айтқанда, Күннің айналасында оның қозғалысы тең емес.

Перигелий нүктесіндегі ғаламшарлардың жылдамдығы:



$$g_q = g_c \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \quad (2.5)$$

афелий нүктесіндегі:

$$g_0 = g_c \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \quad (2.6)$$

2.5-сурет. Кеплердің
2 заңы

мұндағы $g_c - r = a -$ болғандағы ғаламшарлардың орташа немесе айналмалы жылдамдығы. Жердің айналмалы жылдамдығы $29,78 \text{ км/с} = 29,8 \text{ км/с}$ -қа тең.

Кеплердің үшінші заңы былай жазылады:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (2.7)$$

мұндағы T_1 және T_2 – ғаламшардың сидерлік айналу периоды, a_1 және a_2 олардың орбиталарының үлкен жарты осьтері.

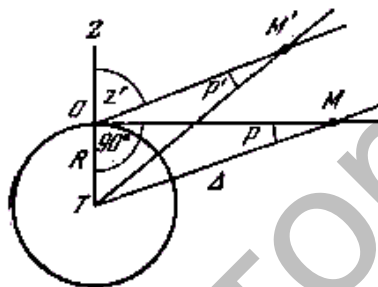
Егер ғаламшарлардың орбитасының үлкен жарты осі Күннен Жерге дейінгі орташа бірлік ара қашықтықты (астрономиялық бірлікпен), ал ғаламшардың айналу периоды – жылды білдірсе, онда Жер үшін $a = 1$ және $T = 1$, және Күннің айналасында кез келген ғаламшарлардың айналу периоды:

$$T = \sqrt{a^3} \quad (2.8)$$

Кеплердің үшінші заңы Күннен ғаламшарға дейінгі ара қашықтықты және олардың айналу периодтар арасындағы байланысты білдіреді.

2.6 Тәуліктік параллакс. Күннің параллаксы

Жер бетіндегі барлаудан анықталған аспан денелерінің координаттары *топоцентрлік* деп аталады. Жер бетіндегі әртүрлі нүктелер үшін бір шырақтың топоцентрлік координатасы бір уақыт моментінде әртүрлі. Күн жүйесінің денелері үшін әртүрлілік білінбейді және де жұлдыздар үшін сезілмейді. Жердің әртүрлі нүктелерінен көрінетін шырақ бойы бағытымен көбісі, негізінде Жер орталығының бағыты деп саналады. Ол шырақтың геоцентрлік қалпын береді және оның геоцентрлік координатын анықтайды. Жер орталығынан M' шырағының көріне алатындай



2.6-сурет. Тәуліктік параллакс

бағыттар арасындағы бұрыш шырақтың *тәуліктік параллакс* деп аталады. Басқаша айтқанда, *тәуліктік параллакс* – ол Жер радиусынан шырақтың көрініп тұратындай p' бұрышы (2.6-сурет).

Бақылау кезінде зенитте тұрған шырақтың тәуліктік параллакс нөлге тең. Егер M' шырағы көкжиек бойынша бақыланса, онда оның тәуліктік параллак-

сының ең үлкен мәні болады және p көкжиектік параллакс деп аталады.

$\triangle OMM'$ және $\triangle OMM$ үшбұрышының жақтары мен бұрыштары арасындағы қатынастан келесіні аламыз:

$$\frac{r}{\nabla} = \frac{\sin \rho}{\sin Z} \qquad \frac{r}{\nabla} = \sin \rho$$

Осыдан

$$\sin p' = \sin p \sin z'$$

Күн жүйесінде барлық денелердің көкжиектік параллактарының шамасы аса үлкен емес. Сондықтан соңғы формулалардағы p және p' бұрыштарының синусын бұрышпен ауыстырып, келесі түрде жазуға болады:

$$p' = p \sin z'. \quad (2.9)$$

Егер бақылау Жер орталығында жүргізілген болса, шырақ тәуліктік параллакс әсерінен көкжиектен төмен болып көрінеді, сол себепті, параллакстың шырақ биіктігіне әсері зениттік арақашықтығының синусына пропорционал, ал оның ең үлкен мәні p көкжиектік параллаксқа тең.

Жердің пішіні сфера тәріздес болғандықтан, көкжиектік параллаксты анықтаудағы қайшылықтардан құтылу үшін, Жердің белгілі радиусы үшін мәнін алуға болады. Ол үшін Жердің экваторлық радиусы $R_0 = 6378$ км, ал көкжиектік параллактар p_0 *көкжиектік экваторлық параллактар* деп аталады. Күн жүйесі денелерінің дәл осы параллактары барлық анықтама кұралдарында келтіріледі.

2.7 Күннің, Айдың және ғаламшардың аспан денелеріне дейінгі арақашықтығын анықтау

Шырақтың p көкжиектік экваторлық параллаксін біле отырып, оның Жер орталығынан арақашықтығын оңай анықтауға болады. Шынымен де, егер $TO = R_0$ бұл Жердің экваторлық радиусы, $TM = \nabla$ – Жер орталығынен M шырағына дейінгі арақашықтық, ол p_0 бұрышы – шырағының көкжиектік экваторлық параллаксы, онда тік бұрышты TOM үшбұрышынан келесіні аламыз (2.6-сурет):

$$\Delta = \frac{R_0}{\sin p_0}. \quad (2.10)$$

Айдан басқа барлық шырақтың параллактары өте кішкентай. Сондықтан (2.10) формуланы басқаша былай жазуға болады:

$$\sin p_0 = p_0'' \sin 1'' = \frac{p_0''}{206265''}.$$

Атап айтқанда,

$$\Delta = \frac{206265'' R_0}{p_0''}. \quad (2.11)$$

∇ ара қашықтығы Жердің радиусы R өрнектелген бірліктен алынады. (2.11) формула бойынша Күн жүйесіне дейінгі арақашықтық анықталады. Радиотехниканың тез дамуы астрономдарға радиолокациялық әдіспен Күн жүйесінің денелеріне дейінгі арақашықтықты анықтауға мүмкіндік берді. 1946 жылы Айдың радиолокациясы, ол 1957 – 1963 жылдары – Күннің, Меркурийдің Шолпанның және Юпитердің радиолокациялары жасалды. Жерден аспан денелеріне дейінгі радиотолқынның $c=3 \cdot 10^8$ км/с таралу жылдамдығы бойынша және t уақыт аралығы бойынша радиосигналдың өтуін және Жерге дейінгі арақашықтықты есептеу оңай:

$$\nabla = \frac{ct}{2}$$

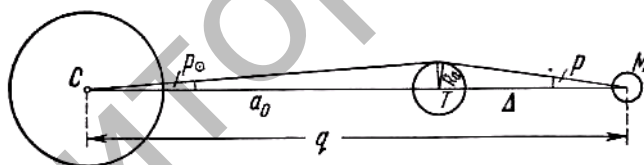
Егер аспан денесіне дейінгі ара қашықтық өте үлкен болатын болса, онда оларды километрмен өрнектеу мүмкін емес, себебі, өте көп цифрдан тұратын сандар шығады. Сондықтан астрономияда километрден басқа арнайы өлшем бірліктер қабылданған:

- астрономиялық бірлік (а.б.) – Күннен Жерге дейінгі орташа ара қашықтық, 1 а.б. = 149600000км;

- *парсек* (пк) – 1'' жылдық параллакқа сәйкес келетін ара қашықтық, $1\text{пк} = 30.86 \cdot 10^{12}\text{км} = 206265\text{а.б.} = 3.26$ жарық жылы;
- *жарық жылы* – 300000км/с жылдамдықпен бір жылда таралатын жарық ара қашықтығы, 1 жарық жылы = $9,460 \cdot 10^{12}\text{км} = 63240$ а.б. = 0,3067 пк.

Егер Жердің радиусы R мен Күннің горизонттық параллакстары p_{\odot} белгілі болса, онда (2.11) формула бойынша Жердің Күнге дейінгі арақашықтығының орта мәнін есептеу оңай, яғни астрономиялық бірліктің мәнін километрмен алуға болады. Астрономиялық бірлікті дәл анықтау p көкжиектік параллаксының дәлдігіне байланысты.

XX ғасырға дейін осы мақсат үшін Жерден шамамен 55 млн. км арақашықтықта жатқан Марстың қарсы тұру кезін бақылаған. Марстың Жерге қарсы тұру кезінде Күн C , Жер T және Марс M бір түзудің бойында жатсын, және Жер Күннен $a=1\text{а.б.}$ (2.7-сурет). Ал Марс $q=a(1-e)$ арақашықтықта перигелийде жатыр. Мұндағы: a – үлкен жарты ось және e – Марс орбитасының эксцентриситеті. p_{\odot} арқылы Күннің көкжиектік экваторлық параллаксын, ал p арқылы Марстың көкжиектік экваторлық



2.7-сурет. Күннің параллаксын анықтау

параллаксын және ∇ арқылы оның геоцентрлік арақашықтығын, ал R_0 арқылы Жердің экваторлық радиусын белгілейік. Сонда:

$$R_0 = a_0 \sin p_{\odot},$$

$$R_0 = \Delta \sin p = (q - a_0) \cdot \sin p = [a(1 - e) - a_0] \cdot \sin p$$

Оң жақтарын теңестіріп және кіші бұрыштың синусын бұрыштың өзімен ауыстырып, келесіні аламыз:

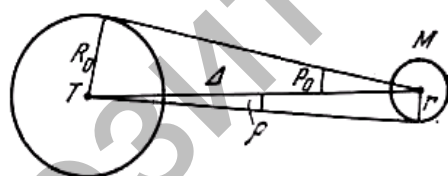
$$p_{\odot} = \left[\frac{a}{a_0} (1 - e) - 1 \right] \cdot p.$$

a/a_0 қатынасы Кеплердің үшінші заңы бойынша ғаламшар қозғалысының теориясына өте үлкен дәлдікпен есептеледі, ал Марстың p параллаксы және оның орбитасының эксцентриситеті бақылау жүзінде анықталады.

1898 жылы Эрос кішкентай ғаламшары ашылды, ол 37 жыл сайын қайталанатын қарсы тұруында, кей кездерде Марсқа қарағанда Жерге 2.5 есеге жақындайды. Эросты бақылау астрономиялық бірлікті дәлелдеу үшін бірнеше мәрте қолданылды.

Жерден шырақ шарасы көрінетін бұрыш оның бұрыштық диаметрі деп аталады. Кейбір аспан денелерінің бұрыштық диаметрін тікелей бақылау нәтижесінде ғана анықтауға болады.

Егер шырақтың бұрыштық диаметрі немесе радиусы, және оның Жерден арақашықтығы белгілі болса, онда сызықтық өлшемде шынайы диаметрін оңай есептеуге болады (2.8-сурет).



2.8-сурет. Шырақтың сызықтық өлшемдерін анықтау

$R = \nabla \sin p_0$, осыдан

$$R = \frac{\sin \rho}{\sin p_0} R_0 \quad \text{немесе} \quad r = \frac{\rho}{p_0} R_0$$

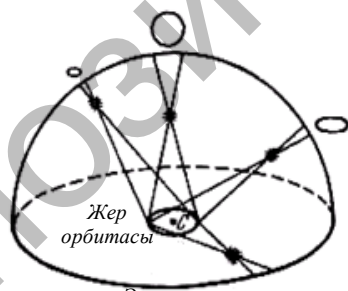
Шынымен де, егер M шырақтың ρ - бұрыштық радиусы, ∇ - шырақ пен Жер орталығының арасындағы арақашықтық, ал r мен R - Жер мен M шырақтың сызықтық радиустары болса, онда $r = \nabla \sin \rho$, ал

Аспан денелерінің пішінін, олардың дискілерінің әртүрлі диаметрлерін өлшей отырып, анықтауға болады. Егер дене тұтас болса, онда олардың біреуінің диаметрі үлкен болады, ал біреуі – басқа диаметрлерден кішкентай болады. Ғаламшарлардың диаметрлерін өлшей отырып, Жерден басқа тұтас пішін Марста, Юпитерде, Сатурнда, Уранда және Нептунда бар екенін көрсетті.

Аспан денелерінің сызықтық өлшемдерін, пішіндерін және тікелей өлшеуге келмейтін бұрыштық өлшемдерін арнайы әдістермен анықтайды.

2.8 Жердің Күнді айнала қозғалуын дәлелдеу. Аберрация

Бақылаушы шеңбер бойымен Жермен бірге Күн айналасының кеңістігінде бірге қозғалатындықтан, оның Жерден ең жақын жұлдызға бағыты өзгеру керек және ең жақын жұлдыз жыл ішінде аспанда эллипсті сипаттау керек. *Параллактикалық* деп аталатын бұл эллипс жұлдыз эклиптикаға жақындаған сайын сығылады, және жұлдыз Жерден алыс орналасқандықтан, оның өлшемі аз болады. Эклиптика полюсінде жатқан жұлдыздық эллипсі кішкентай шеңберге айналады, ал эклиптикада жатқан жұлдыздық эллипсі – үлкен шеңбер доғасының кесегіне айналады. Паралактикалық эллипстердің үлкен жарты осьтері жұлдыздың жылдық параллаксына тең болады (2.9-сурет).



2.9-сурет.
Паралактикалық эллипс

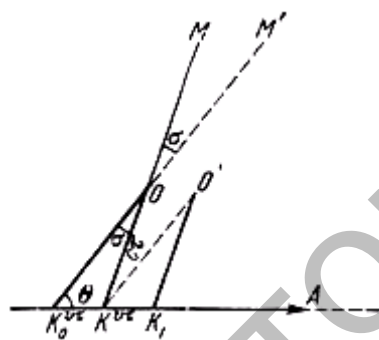
Осыдан жұлдыздың жылдық параллактарының бар болуы Жердің Күн айналасында қозғалатының дәлелі болып табылады.

Жұлдыздың жылдық параллактарын алғашқы рет 1835-1840 ж.ж. В.Струве, Ф.Бессель және Т.Гендерсон анықтаған. Бұл анықтамалар аса дәл болған жоқ, бірақ олар тек Жердің Күн айналасында

қозғалысының объективті дәлелін ғана берген жоқ, сонымен қатар, әлемдегі аспан денелері тұрған үлкен арақашықтықтар туралы ашық түсініктерге негізделген.

Жердің Күн айналасында қозғалысының екінші дәлелі жұлдыздардың жылдық абберациялық ығысуы болып табылады, оны 1725 жылы ағылшын астрономы Брайлей Дракон ү жұлдызының жылдық параллаксын анықтау кезінде ашқан.

Абберация деп жалпы шырақтың бақыланатын және шынайы бағыттары арасындағы бұрышты айтады (2.10-сурет). Бұл – бағыттардың айырмашылығы мен бақылаушы жылдамдықтарының байланысы. K нүктесінде бақылаушы және жіптің кресті сайманда окуляр тұрсын. Бақылаушы KA



2.10-сурет. Жарықтың абберациясы

бағытымен V жылдамдықпен қозғалады. Бірақ жұлдыздың бейнесі жіптер крестіне түспейді, себебі τ уақытта бақылаушы мен жіптер кресті $KK_1 = v\tau$ шамаға жылжиды да, K нүктесінде болады. Жұлдыздың бейнесі окуляр жіптер крестіне түсу үшін сайманды жұлдызға KM бағытпен емес, K_0O бағытымен жіптер крестін $K_0K = K_1K = vt$ кесегінің K нүктесінде жататындай орнату керек.

Осыдан жұлдызға K_0M' көрінетін бағыты KM шын бағытпен σ бұрышы жасайды, ол шырақтың абберациялық ығысуы деп аталады. KOK_0 үшбұрышынан келесі шығады:

$$\sin \sigma = \frac{v}{c} \sin \theta$$

немесе a бұрышы аз болғанда

$$\sigma = 206265'' \frac{V}{c} \sin \theta, \quad (2.11)$$

мұнда θ - аспан нүктесінен жұлдызға бағытталған бұрыштық арақашықтығы. Бұл нүкте бақылаушы қозғалысының атексі деп аталады. Жер бетінде тұрған бақылаушы оның негізгі қозғалысына қатысады: ось айналасында тәулік бойы айналу және Жердің Күн айналасында жыл бойы қозғалысы. *Тәуліктік аберрация* – ол шырақ жылдамдығының бақылаушының тәуліктік айналу жылдамдығымен байланысатын салдары, ал *жылдық аберрация* ол – оның жылдық қозғалысы жылдамдығымен байланысты салдары.

Бақылаушының жылдық қозғалыс жылдамдығы Жер қозғалысының орбита бойымен жылдамдығы $v=29,78$ км/с болса, онда $c = 299792$ км/с деп алып, (2.11) формулаға сәйкес, келесіні аламыз:

$$\sigma = 20,496'' \sin \theta \approx 20,50'' \sin \theta.$$

Бақылаушының жылдық қозғалысы эклиптика жазықтығында жатса және жылына 360° -қа жылжыса, онда эклиптика полюсінде тұрған жұлдыздың көрінетін орны жыл ішінде өзінің жанындағы радиусы $20,50''$ кішкентай шеңбер қалпын сипаттайды. Қалған жұлдыздың көрінетін орны жарты осьтері $20,50''$ және $20,50'' \cdot \sin \beta$ -ға тең аберрациялық эллипстерін сипаттайды, мұнда β - жұлдыздардың эклиптикалық ені. Эклиптика жазықтығында жатқан жұлдыздардың эллипсі ұзындығы $20,50'' \cdot 2$, нақтырақ айтқанда $40,99''$ доға кесіндісіне айналады.

Сонымен, жұлдыздардың жылдық аберрациялық ығысуының бар болу фактісі Жердің Күн айналасында қозғалысының дәлелі болып табылады.

Паралактикалық және аберрациялық ығысу арасындағы өзгешелік келесідей: біріншіден, жұлдыздарға дейінгі арақашықтыққа тәуелді, ал екіншіден, Жердің орбита бойымен қозғалыс жылдамдығына тәуелді. Паралактикалық эллипстердің

үлкен жарты осьтері Күннен әртүрлі арақашықтықта тұрған жұлдыздар үшін әртүрлі, және де $0,76''$ - дан аспайды. Сонда арақашықтық тәуелсіз барлық жұлдыздардың абберациялық эллипстерінің үлкен жарты осьтері бірдей болады және $20,50''$ -ке тең.

Жұлдыздардың паралактикалық ығысуы Күннің көрінерлік жағына қарай болады, ал абберациялық ығысуы Күнге бағытталмаған, ол Күннен 90° батысқа қарай, эклиптикада жатқан нүктеге бағытталған.

2.9 Айдың жұлдыздарға және Күнге байланысты көрінетін салыстырмалы қозғалысы

Жер – бұл Күннен қашықтығы жағынан үшінші ғаламшар. Ол Күнді айнала шеңберден сәл ғана айырмашылығы бар эллипстік орбита бойымен секундына 30км жылдамдықпен қозғалып жүреді. Жердің Күнді айнала қозғалатындығының бір дәлелі – бізге жақын жұлдыздардың параллактік орын өзгертуі.

Жердің екінші негізгі қозғалысы – орбита жазықтығына $66^\circ 34'$ бұрышпен көлбеген осьтен айналуы.

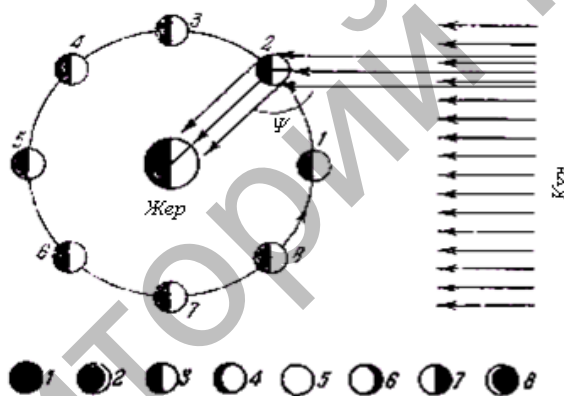
Ай – Жерге ең жақын аспан денесі, серігі. Жердің радиусымен салыстырғанда Айдың радиусы одан шамамен 4 есе, ал массасы 81 есе аз. Күн айналасындағы эллипстік орбита бойымен Жердің ішкі жағындағы «Жер – Ай» массалар жүйесінің ортақ орталығы қозғалады. «Жер – Ай» жүйесін көбінесе *қос ғаламшар* деп те атайды.

Ай – өзінен жарық шығармайтын аспан денесі, ол Күннен түскен жарықпен шағылысып көрінеді. Айдың Жер мен Күнге қатысты кеңістіктегі орнына қарай біз бірде толған Айды (*Айдың толуын*), біресе көрінерлік шарығының жартысын (*бірінші немесе соңғы ширегін*), енді бірде оны мүлдем көрмейміз (*өлара*).

Ай шарығының Жерден жарық болып көрінетін бөлігін Айдың фазасы деп атайды (2.11-сурет). Өлара кезінде Ай Жер мен Күннің арасында болады, Ай толғанда ол Күннен Жердің екінші жағында болады. Өларадан кейін Ай жіңішке орақтай күйінен (дөңес жағы оңға қараған) жарты шарыққа дейін (бірінші

ширек) және одан ары қарай толғанға дейін, толық шарыққа жеткенше (толғанай) өседі. Ай толғаннан кейін қайтадан бірте-бірте жарты шарыққа дейін кемиді (дөңес жағы солға қарай бағытталады, Айдың соңғы ширегі басталады), онан кейін орақтай болып, өларада көрінбей кетеді. Ай фазаларының толық өзгеру циклі (синодтық ай) шамамен 29,5 тәулік.

Айдың аспан сферасындағы бұрыштық диаметрі $0,5^\circ$ ($\sim 30'$) шамасында. Бірақ ол тұрақты емес, орбитасы эллипс пішінді болғандықтан (перигейінде шамамен $33'$ және апогейінде $29'$), өзгеріп отырады. Ай орбитасының эксцентриситеті $e = 0,05$, ал эллипсіннің үлкен жарты осі – 384400км (бұл Айдың Жерден орташа қашықтығы).



2.11-сурет. Ай фазалары

Ай Жерді айнала $27,3$ тәулік (сидерлік ай) өткенде толық бір айналым жасап шығады. Осы уақыт ішінде Ай өз осінен бір рет айналады, сондықтан Жерге Айдың ылғи да бір ғана жарты шарығы көрініп тұрады.

Айдың жұлдыздар аясында көрінетін қозғалысы – Айдың Жер айналысымен шынайы қозғалысының салдары. Ай жұлдыздар ішінде әрқашан бір жаққа қарай, батыстан шығысқа немесе түзу қозғалыспен жылжиды. Аспандағы Айдың көрінетін жолы зодиакты шоқжұлдыздарындағы жұлдыздар арасында өзінің әрдайым ауысатын орнының тұйықталмайтыны анық.

2.10 Ай фазаларының алмасу кезегі

Айдың көрінетін қозғалысы – Ай фазасы деп сипатталатын сыртқы түрінің үзіліссіз өзгеруі. Кейбір күндері Ай аспанда мүлдем көрінбейді. Ол басқа күндері қысаң *қол орақ*, *жарты шеңбер* және *толық шеңбер* түрінде болады. Айдың фазалары Ай Жерге қарағанда қараңғы, мөлдір емес, шар түрдегі дене болып түсіндіріледі және Жер айналасында қозғалғанда Күнге қатысты әр түрлі орынға ие болады.

Күннен алыстаған сайын Айға түсетін күн сәулелері параллель сияқты және Ай шарығының тең жартысын әрқашан жарықтандырады, оның басқа жартысы қараңғы болып қала береді. Бірақ Жерге, әдетте, Жер шарының ақшыл және қараңғы жартысы қарағандықтан, Ай бізге шеңбер сияқты көрінеді. Айдың шарығының қараңғы бөлігін жарық бөлігінен бөліп тұратын сызық *терминатор* деп аталады және әрқашан жарты эллипс болып табылады. Күннен Айға және Айдан Жерге бағыттар арасындағы ψ бұрышын *фазалық бұрыш* деп аталады.

Айдың тізбектей өтетін төрт негізгі фазаларын ерекшелуге болады: жаңа ай, бірінші ширек, толған ай, соңғы ширек (2.11-сурет).

Ай жаңа ай кезінде Күн мен Жер арасынан өтеді, фазалық бұрышы $\psi = 180^\circ$, Жерге Айдың қараңғы жағы көрінеді, бұл өлара деп аталады, яғни, аспанда мүлдем көрінбейді. Жаңа айдан кейін, екі күн өткен соң Ай батыста кешкі арайдың сәулесінде қол орақ сияқты көрініп тұрады. Күн батқан соң, Күннің дөңес жағына қараған Ай қол орағы күн сайын біртіндеп кеңейеді және жеті тәуліктен соң жартышеңбер пішінде болады. Бірінші ширек деп аталатын фаза басталады. Бұл уақытта Ай шығыс квадратурасында болады, яғни Күннен шығысқа қарай 90° -та, фазалық бұрышы $\psi = 90^\circ$, және де Жерге Айдың жарықталған жартышардың жартысы және жарықталмаған жартысы қараған. Бұл фазада Ай түннің бірінші жартысында көрінеді, ал содан кейін көкжиекке кіреді. Әр күн сайын Жерде Айдың жарықталған жарты шары көп көріне бастайды және жуықтап алғанда жеті тәуліктен соң, бірінші ширектен кейін, толғанай басталады.

Толғанай кезінде Ай Күнмен қарсы тұрады $\psi = 0^\circ$, және де Жерге Айдың жарықтанған жарты шары көрінеді. Толық Ай күнге қарама-қарсы бағытта аспанда көрінеді (оның эклиптикалық ұзақтылығы Күннің эклиптикалық ұзақтығынан 180° -қа ерекшеленеді). Сондықтан толық Ай түні бойы көрінеді, ол Күн батқан кезде шығады, ал Күн шыққанда батады.

Ай толғанайдан соң оның шарығының батыс жағынан бастап «кемиді», әр күн сайын Жерден Айдың жарықтанған жартышарының аз бөлігі көріне бастайды. Жуықпен алғанда жеті тәуліктен соң, толған айдан кейін, Ай қайтадан жартылай шеңбер түрде көріне бастайды, соңғы ширек басталады. Бұл Айдың батыс квадратурада тұратын уақыты, $\psi = 90^\circ$, және де Жерде қайтадан Айдың жартылай шарының жарықтанған және жарықтанбаған жартысы қарайды. Бірақ, енді Ай күннен батысқа 90° -қа қарай тұрады, және Күн шыққанға дейін түннің екінші жартысында кезігеді (1-кесте).

1-кесте. Ай фазаларының алмасу кезегі

Ай фазалары	Көрінетін уақыты	Аспанның қай жерінде?	
Жаңа Ай	$\psi = 180^\circ$	Мүлдем көрінбейді (қосылыс)	
Бірінші ширек	$\psi = 90^\circ$	Түннің бірінші жартысында	Шығыс
Толған Ай	$\psi = 0^\circ$	Түні бойы	Күнге қарама-қарсы (қарсы тұру)
Соңғы ширек	$\psi = 90^\circ$	Түннің екінші жартысы, таң	Батыс

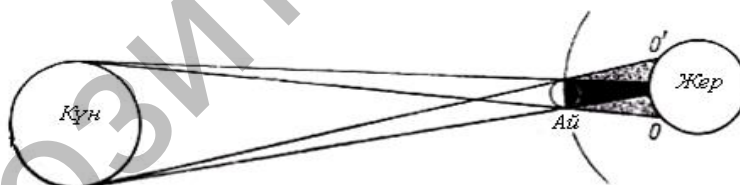
Уақыт өткен сайын Ай шарасының кішіреюі ұлғаяды. Ай қайтадан тар қол орақ түрді қабылдайды, және де шығыста Күннің шығу кезінде таңғы арай сәулесінен көрінеді. Үш күннен кейін, Айдың қол орақ түрі жоғалады, және Ай қайтадан аспаннан көрінбейді, себебі жеті тәуліктен соң, соңғы ширектен кейін, қайтадан жаңа ай туындайды. Айдың Күнмен жаңа ай кезінде қосылуы және толғанай кезінде қарсы тұруы *сизигия* деп аталады.

2.11 Күннің және айдың тұтылуы

Ай Жердің айналасымен қозғалғанда алыс шырақтардың алдынан өтеді және өзінің шарасымен оларды жабады. Бұл құбылыс *Айдың шырақты жабуы* деп аталады. Жабудың басталуы мен аяқталу кездерін анықтау, Ай қозғалысымен оның шарасының пішінін зерттеу маңызды. Көп жағдайда жұлдыздардың жабылуы жиірек, ғаламшарлардың жабылуы сирек болады.

Күннің Аймен жабылуы *күннің тұтылуы* деп аталады. Күннің тұтылуы Жер бетінің әртүрлі нүктелері үшін әртүрлі түрде болады. Күннің шарасы тек Ай көлеңкесінің конусының ішіндегі бақылаушы үшін ғана тұтастай жабылады, оның ең үлкен диаметрі Жер бетінен 270 км-ден аспайды. Айдың көлеңкесі түсетін Жер бетінің аймағында *толық күннің тұтылуы* көрінеді (2.12-сурет). Айдың жартылай көлеңкесі түскен Жер бетінің аймақтарында Айдың жартылай көлеңкесінің конусы деп аталатын *жартылай күннің тұтылуы* болады.

Айдың шарасы тек Күн шарасының жартысын ғана жабады. Бақылаушы көлеңке осіне жақын болған сайын, Күн шарасының жартысынан көбі жабылады, тұтылу фазасы көп болады. Конустан тыс жарты көлеңкенің жерінен Күн шарасының барлығы көрінеді, және ешқандай тұтылу көрінбейді.



2.12-сурет. Күннің тұтылуы

Айдың Жерден ара қашықтығы 405500 км-ден 363300 км-ге дейін өзгерсе, ол Айдың жартылай көлеңкесінің конусының ұзындығы ортамен алғанда 374000 км-ге тең болса, онда Ай көлеңкесінің конусының төбесі кейде Жер бетіне жетпейді. Бұл жағдайда бақылаушы үшін Ай көлеңкесінің конус осінің

жолында сақина күннің тұтылуы тәрізді болады. Күн шарасының шеттері жабылмайды және де Айдың қараңғы шарасының айналасында жұқа жылтыраған сақина пайда болады.

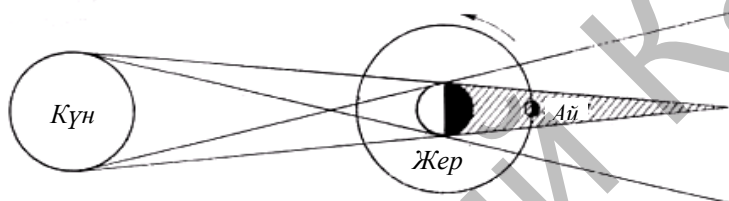
Жердің әртүрлі нүктелерінде Күннің тұтылуы әртүрлі уақытта басталады. Айдың Жер айналасында қозғалуы және Жердің өз осі бойымен айналуы салдарынан Айдың көлеңкесі батыстан шығысқа қарай ұзындығы бірнеше мың километр және ені орташа алғанда 200 км созылған көлеңке жолағымен Жер беті бойымен жылжиды (ең үлкен ені 270 км).

Ай батыстан шығысқа қарай қозғалатын болғандықтан, Күннің тұтылуы Күн шарасының батыс шетінен басталады. Алғашқыда мұнда Күн шарасының радиусына тең радиус шеңберінің доға пішіндес ақауы пайда болады. Содан ақау әрдайым өседі, және Күн жіңішке қол орақ пішінін қабылдай бастайды. Күн шарасының соңғы нүктесі жоғалғанда, толық тұтылудың фазасы басталады, ол бірнеше минутқа ғана созылады (жетіден аспайды), кей кезде екі-үш минутқа созылады. Содан кейін Айдың қараңғы шарасы күн шарасынан біртіндеп кетеді де, тұтылу аяқталады. Күн тұтылуының барлық фазаларының жалпы ұзақтығы екі сағаттан көпке созылуы мүмкін. Шынымен де, Күннің тұтылуы тек жана ай кезінде ғана болады.

Күннен жарықтанған Жер өзінен Күннің қарама-қарсы жағына көлеңке түсіреді. Күннің диаметрі Жер диаметрінен үлкен болғандықтан, оның көлеңкесі Айдың көлеңкесіне ұқсас біртіндеп жіңішке болған конус пішінін қабылдайды. Жер көлеңкесінің конусы Айға қарағанда ұзын, оның диаметрі Айдан қашықтықта, Ай диаметрінен 2,5 есе ұзын.

Жер айналасында қозғалған Ай Жер көлеңкесінің конусына түсуі мүмкін, сонда ай тұтылады (2.13-сурет). Тұтылу кезінде Ай шынымен де, Күн сәулесінен арылады, онда Айдың тұтылуы Жердің барлық түнгі жартышарында көрінеді және бұл жартышардың барлық нүктелерінде бір физикалық кезеңде басталып, бір уақытта аяқталады. Бірақ бұл кезеңдер жергілікті уақыт бойынша Жердің әрбір нүктесінен әр түрлі, және де Жердің географиялық ұзақтығына тәуелді болады.

Ай батыстан шығысқа қарай қозғалатындықтан, бірінші Жер көлеңкесіне Айдың сол жақ шеті кіреді. Мұнда біртіндеп ұлғаятын ақау пайда болады да, Айдың шарасы Ай фазасының қол орағынан ерекше қол орақ пішінін қабылдайды. Ай шарасының жарық бөлігін қараңғыдан бөліп тұрған сызық ай шарасының радиусынан жуықтап алғанда радиусы 2,5 есе үлкен шеңбер доғасын көрсетеді, сонда ай фазасында терминатор жартылай эллипс түрінде болады.



2.13-сурет. Айдың тұтылуы

Егер Ай Жер көлеңкесіне толық кірсе, онда *Ай толық* тұтылады, егер де көлеңкеде тек Айдың жартысы ғана болса, *жартылай тұтылу* болады. Жер көлеңкесінің диаметрі Айдың Жерден ара қашықтығынан, Ай диаметрінен 2,8 есе асса, онда айдың толық тұтылуы екі сағат бойы жалғасуы мүмкін.

Айдың толық немесе жартылай тұтылуы Ай жердің жарты көлеңкесі ортасынан өткенде, жарты көлеңкелік айдың тұтылуын алдын-ала бөліп өтеді (және де оны аяқтайды).

Шынымен де, Айдың тұтылуы тек толғанай кезінде ғана болады.

2-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Төменгі және жоғарғы ғаламшарлардың қозғалыстары ұқсастығы және айырмашылықтары неде?
2. Апполон теоремасын дәлелде: деферент бойынша эпициклдің ғаламшар қозғалысы эпицикл орталығына қарсы бағыты тура бағыттағы бұрыштық жылдамдық

бойынша деферентпен біркелкі, бірақ нүкте арқылы бақыланған центрдегі арақашықтық эпицикл радиусына тең (яғни, қозғалыс эксцентр бойынша).

3. Птоломей жүйесі бойынша ғаламшардың көрінетін қозғалысының өзгермейтінін дәлелде, егер: а) эпицикл мен деферент радиустары біркелкі санға сәйкес; б) эпицикл ретінде деферентті алып, ал деференттің орнына эпициклді қойса.
4. Птоломей жүйесінің Коперник жүйесіндегі нақты қозғалыстың салдары болатындығының қандай ерекшелігі бар?
5. Қай ғаламшарда синодтық период сидерлік периодтан 14% асады?
6. Синодтық периоды бір жылда нақты 1% дәлдікке дейін тең ғаламшар қайда болуы керек?
7. Ғаламшар өз дәуірінің қарсы тұруында кері қозғалысты байқамауы мүмкін бе?
8. Кеплердің қай заңдары Ньютон бойынша нақтыланған және неге?
9. Ішкі ғаламшарда қарсы тұру орнына тұрып қалу байқалады. Оның орбитасының эксцентриситеті үлкен жарты осіне қалай тәуелді?
10. «Ішкі» және «сыртқы» ғаламшар ұғымдары қалай пайда болды?
11. Птоломей жүйесіндегі эпицикл және деферент радиустарының ара қатынасын қай бақылаулардан анықтауға болады? Бұл Коперник жүйесіне қандай мағына береді?
12. Күннің, Айдың және ғаламшарлардың аспан денелеріне дейінгі ара қашықтығы қалай анықталады?
13. Жердің оңтүстік жартышарында Күн тұтылудың жартылай фазасы қай шегінен басталады? Ал Ай тұтылуы ше?
14. Күн параллаксы мен аберрация арасындағы қатынасты қорытып шығарыңыз?

3-тарау. АСПАН МЕХАНИКАСЫНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

3.1 Ғаламшарлар орбитасының элементтері

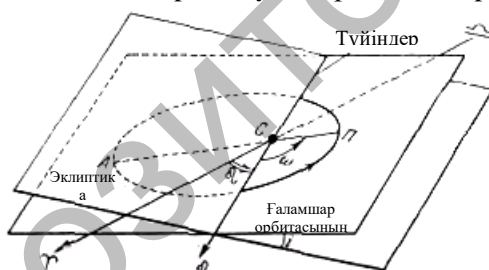
Егер ғаламшарлар орбитасы жатқан жазықтық, осы орбитаның өлшемі мен пішіні, оның жазықтыққа бағдары және де орбитаның бір нақты нүктесінде тұрған ғаламшардың уақыт моменті белгілі болса, онда ғаламшарлардың қозғалысы анықталады. Ғаламшарлардың орбитасын анықтайтын шамалар оның *орбитасының элементтері* деп аталады.

Негізгі жазықтыққа қатысты орбитаның күйі анықталатын жазықтық орнына эклиптика жазықтығы қабылданады.

Ғаламшарлар орбитасы эклиптика жазықтығымен қиылысатын екі нүкте - *үдемелі және төмендеуші түйіндері* деп аталады. Үдемелі түйінде ғаламшар эклиптиканың оңтүстік полюсінен алыстай отырып, онымен қиылысады.

Ғаламшарлардың эллипстік орбиталарын келесі 6 элемент анықтайды (3.1-сурет):

1. Орбита жазықтығынан эклиптика жазықтығына i көлбеуленген. Көлбеудің мәні 0 мен 180° аралығындағы кез келген мәндер болуы мүмкін. Егер $0 \leq i \leq 90^\circ$ болса, онда



3.1-сурет. Орбита элементтері

ғаламшар Күн S айналасында Жермен бір бағытта қозғалады (түзу қозғалыс); егер $90^\circ < i < 180^\circ$, болса, онда қарама-қарсы қозғалыста болады (кері қозғалыс).

2. Ω үдемелі түйіннің бойлығы

(*гелиоцентрлік*), яғни Күн орталығынан Ω үдемелі түйін бағыты мен көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі арасындағы бұрыш. Үдемелі түйіннің бойлығы 0 -ден 360° -қа дейін кез келген мәнде бола алады.

Үдемелі түйіннің Ω бойлығы және i көлбеуі кеңістікте орбита жазықтығының орнын анықтайды.

3. Перигелийдің түйіннен бұрыштық арақашықтығы ω . яғни, Күн орталығынен Ω үдемелі түйін бағытына және Π перигелий бағыты арасындағы бұрыш. Ол ғаламшар орбитасының жазықтығынан оның қозғалысы бағытына есептеледі және де 0-ден 360° -қа дейінгі кез келген мәнге ие бола алады.

ω перигелийдің бұрыштық арақашықтығы жазықтықта орбитаның орнын анықтайды (кейде ω орнына $\pi = \Omega + \omega$ перигелийдің бойлығы беріледі).

4. Ғаламшардың сидерлік айналу периодын T бірдей анықтайтын эллипстік орбитаның a үлкен жарты осі. Кей кезде, онымен бірге элемент ретінде орташа тәуліктік қозғалысы $n = \frac{360^\circ}{T} = \frac{2\pi}{T}$ беріледі, яғни ғаламшардың тәулік ішіндегі орташа бұрыштық жылдамдығы.

5. Орбитаның эксцентриситеті $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$, мұнда a мен b - эллипстік орбитаның жарты осьтері.

a үлкен жарты ось пен e эксцентриситет орбитаның өлшемі мен пішінін анықтайды.

6. t_0 перигелия арқылы өту моменті немесе ғаламшардың қандай да бір t уақыт моментінде орбитадағы орны (t кезеңіндегі бойлық).

3.2 Бүкіләлемдік тартылыс заңы

Бүкіләлемдік тартылыс заңының физика курсынан белгілі тұжырымдамасын еске түсірейік: *барлық денелер бір-біріне, модулі олардың массаларына тура пропорционал да, арақашықтығының квадратына кері пропорционал күшпен тартылады.*

Бүкіләлемдік тартылыс заңы мына түрде жазылады:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (3.1)$$

мұндағы: m_1 және m_2 – денелердің массалары, r - олардың центрлерінің арақашықтығы, G - бүкіләлемдік тартылыс тұрақтысы $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$.

Гравитация табиғаттағы барлық денелерге тән қасиет. Оның аспан әлеміндегі маңызды рөлі ерекше, онымен барлық қозғалыстар ғана емес, сонымен қатар аспан денелерінің пайда болуымен және дамуымен байланысты көптеген құбылыстар түсіндіріледі. Егер Кеплер заңдары аспан денелері қандай траекториямен қозғалады деген сұраққа жауап берсе, бүкіләлемдік тартылыс заңы Күн төңірегінде ғаламшарларды, ғаламшарлар төңірегінде серіктерін қандай күш ұстап тұрады деген сұраққа жауап береді.

Аспан денелерінің бір-біріне өзара тартылыс әсерінен болатын қозғалысты зерттейтін астрономия бөлімін *аспан механикасы* деп атайды. Кеплер заңдары мен бүкіләлемдік тартылыс заңы – аспан механикасының негізгі заңдары.

Қатаң эллипстік қозғалыс бір дененің күші әсерінен болады, бірақ кез келген ғаламшарларға басқа ғаламшарлар, оның өзінің серіктері және т.б. тарапынан тартылыс күші әсер етеді. Соның нәтижесінде эллипстік траекториядан ауытқу пайда болады, оны аспан механикасында *ұйытқу* деп атайды.

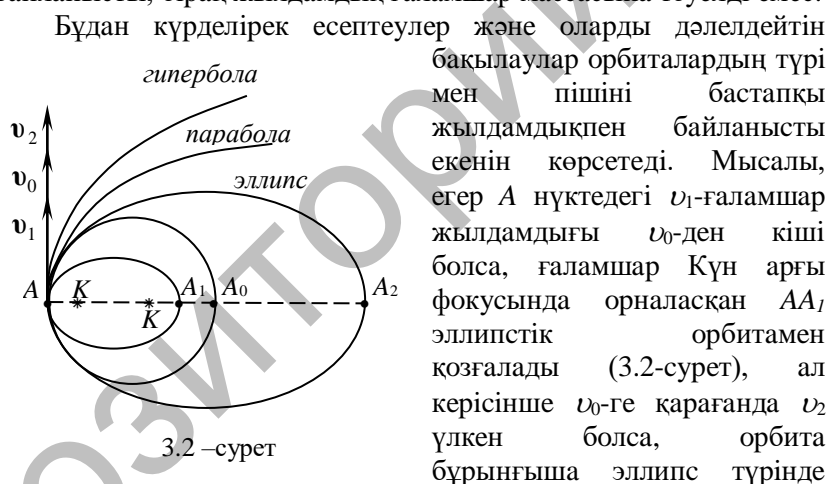
Кеплер өзінің заңдарын эмпирикалық жолмен ашты. Ньютон Кеплер заңдарын бүкіләлемдік тартылыс заңынан шығарды.

И.Кеплердің бірінші заңы ғаламшарлардың орбиталарын және олардың орбита бойымен қозғалу заңын анықтау есебінің (Кеплер есебі) шешімінен шығады. Ол үшін кез келген нүктеде үнемі центрге бағытталған, шамасы сол центрге дейінгі қашықтық квадратына кері пропорционал орталық күш әрекетінен қозғалатын материялық нүкте қозғалысының траекториясын іздейді. Шешудің нәтижелеріне қарағанда аспан денелерінің траекториялары жазық бетінде жатады және не эллипс, не парабола, не гиперболола түрінде болады.

Ғаламшар орбитасы шеңбер болған дербес мысалда мұндай қозғалыс орталық күш әрекетінен мүмкін болатыны айтарлықтай қарапайым дәлелденеді. Шынында, егер Күнге тартылыс күші ортаға (Күнге) тартқыш үдеу тудырса, ғаламшар шеңбер бойымен қозғалуға мүмкіндік алады. Күннен R қашықтықта орналасқан ғаламшар шеңбер бойымен қозғала алуы үшін, оның жылдамдығы радиус-векторға перпендикуляр:

$$v_0 = \sqrt{\frac{\gamma M}{R}} \quad (3.2)$$

және (3.2) өрнекке тең болуы керек, мұнда M – Күн массасы. Сонымен орбиталық жылдамдық пен орбита радиусы бір-бірімен байланысты, бірақ жылдамдық ғаламшар массасына тәуелді емес.



Бұдан күрделірек есептеулер және оларды дәлелдейтін бақылаулар орбиталардың түрі мен пішіні бастапқы жылдамдықпен байланысты екенін көрсетеді. Мысалы, егер A нүктедегі v_1 -ғаламшар жылдамдығы v_0 -ден кіші болса, ғаламшар Күн арғы фокусында орналасқан AA_1 эллипстік орбитамен қозғалады (3.2-сурет), ал керісінше v_0 -ге қарағанда v_2 үлкен болса, орбита бұрынғыша эллипс түрінде болады, тек Күн енді бергі фокуста орналасады (AA_2 орбитасы). Бірақ, шешімге қарағанда, ғаламшар эллипс бойымен қозғалуы үшін оның A нүктесіндегі бастапқы жылдамдығы:

$$v_n = \sqrt{\frac{2\gamma M}{R}} \quad (3.3)$$

аз болуы керек. Дене жылдамдығы (18)-ге тең болса, ол параболла бойымен қозғалады. Ал жылдамдық (18)-ден үлкен болса, аспан денесі ғаламшар деп атал алмайды, ол гиперболалық траекториямен қозғалып, бастапқы нүктеге еш уақытта қайтып оралмайды.

Кеплердің екінші заңы импульс моменті сақталу заңының салдары болып табылады.

Аспан денелерінің массаларын анықтауда Кеплердің айнала қозғалатын денелердің кез келген жүйелеріне арналған III заңы Ньютонның қорытындылауы болып табылады. Егер массивті дене Күн болса, онда ол үшін және оны айнала қозғалатын екі ғаламшар үшін Кеплердің үшінші заңы мына түрде жазылады:

$$\frac{T_1^2 (M_k + m_1)}{T_2^2 (M_k + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (3.4)$$

яғни, Күн мен ғаламшардың $(M_k + m_1, M_k + m_2)$ массаларының қосындысы ғаламшарлардың (T_1^2, T_2^2) сидерлік периодтарының көбейтінділерінің қатынасы ғаламшарлар a_1^3, a_2^3 орбиталарының үлкен жарты осьтері кубтарының қатынасындай болады.

Кеплердің III заңын басқа да жүйелерге, мысалы, Күнді айнала қозғалатын ғаламшарлар және ғаламшарларды айнала қозғалатын оның серіктері қозғалыстарына да қолдануға болады. Күннің, ғаламшардың және оның серігінің массаларын оларға сәйкес M_k, m және m_1 арқылы, айналу периодтарын T және T_1 арқылы және орташа қашықтықтарын a, a_1 арқылы белгілейік. Сонда Кеплердің III заңын мына түрде жаза аламыз:

$$\frac{T^2 (M_k + m_1)}{T_1^2 (m + m_2)} = \frac{a^3}{a_1^3} \quad (3.5)$$

Күннің массасы ғаламшардың кез келген массасынан бірнеше артық, яғни, $M_k \gg m$. Ал ғаламшардың массасы өзінің серіктерінің массасымен салыстырғанда өте үлкен, яғни, $m \gg m_1$.

Сондықтан да, Күн массасының ғаламшар массасына қатынасын мына формула бойынша жеткілікті дәрежеде үлкен дәлдікпен есептеп шығаруға болады:

$$\frac{M_k}{m} = \left(\frac{T_1}{T}\right)^2 \left(\frac{a}{a_1}\right)^3 \quad (3.6)$$

Егер аспан денелерінің осы жүйесін басқа ғаламшармен және оның серігімен салыстырсақ, ғаламшардың массасын мына формула арқылы жазуға болады:

$$\frac{m^1}{m_1} = \left(\frac{T_1^1}{T^1}\right)^2 \left(\frac{a^1}{a_1^1}\right)^3 \quad (3.7)$$

мұндағы m^1 және m_1^1 – салыстырылып отырған ғаламшарлардың сәйкес массалары, T^1 және T_1^1 – ғаламшарлар серіктерінің айналу периодтары, a^1 және a_1^1 – ғаламшарлар серіктері арасындағы орташа қашықтықтар.

Дене қозғалысының негізгі заңдары Ньютонға келесі теореманы құрастыруға және математикалық түрде дәлелдеуге мүмкіндік берді. *«Басты ғаламшарлар әрдайым түзу сызықты қозғалыстан ауытқитын және де өзінің орбитасында ұсталып тұратын күштер Күнге бағытталған және оның орталығынан ара қашықтық квадратына кері пропорционал».*

Әрі қарай ғаламшарларды өз орбитасында ұстап тұратын Күн, Жер бетіне әсер ететін ауырлық күшімен бірдей екенін дәлелдеп, Ньютон бұл теореманы жалпыланған және оны бүкіләлемдік тартылыс заңы түрінде айтқан:

«Материяның әрбір екі бөлшегі бір-біріне өзара тартылады немесе олардың массаларының көбейтіндісіне тура пропорционал және олардың арасындағы ара қашықтық квадратына кері пропорционал күшпен бір- бірін тартады».

Ньютонның математикалық бүкіләлемдік тартылыс заңын былай жазады:

$$F = f \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (3.8)$$

мұндағы m_1 және m_2 - бөлшектердің массалары, r - олардың арасындағы арақашықтығы, f - бірлік массаны екі бөлшекті бір-біріне тартатын және бір-бірінен бірлік арақашықтықта тұрған күшке тең пропорционалдық коэффициент.

f коэффициентін *тұрақты тартылыс* немесе *гравитациялық тұрақты* деп атайды.

CGS (сантиметр, грамм, секунд) жүйесінде $F = 6.67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 / \text{г} \cdot \text{сек}^2$.

Осыдан әрбіреуі 1г массалы және бір-бірінен 1см арақашықтықта тұрған екі материалды бөлшектер бір-біріне $1/(15 \cdot 10^6) \text{ дин}$ күшпен тартылады.

Аспан денелерінің массасын Күн массасымен, ал уақытты орташа Күн тәулігімен өрнектейді. Гаусстік деп аталатын бұл бірлік жүйеде $f = k^2 = 0,00029591$ тартылысы,

$k = 0.0172021 \cong \frac{1}{58}$ шамасын гаусстік тұрақтылармен жиі өрнектеледі.

3.3 Аспан денелерінің массаларын анықтау

Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы – аспан денелерінің ең маңызды физикалық сипаттамаларының бірі, дененің массасын өлшеуге мүмкіндік береді.

Аспан денесінің массасын былай анықтауға болады:

- 1) Берілген дене бетіндегі ауырлық күшті өлшеуден (гравитациялық тәсіл);
- 2) Кеплердің үшінші заңымен (нақтыланған);
- 3) Басқа аспан денелердің қозғалыстарында аспан денелерден бақыланған ауытқуды талдаудан.

Бірінші тәсіл әзірше тек Жерге ғана қолданылады және келесідей қорытылады. Тартылыс заңы негізінде Жер бетіндегі ауырлық күшінің үдеуі:

$$g = f \frac{m}{R^2},$$

мұндағы m – Жер массасы, ал R – оның радиусы. Осыдан Жердің массасы:

$$m = \frac{gR^2}{f} \quad (3.9)$$

Ауырлық күшінің g үдеуі (нақтырақ айтқанда, тартылыс күшімен келісілген ауырлық күші құраушысының үдеуі), Жер R радиусы сияқты Жер бетіндегі өлшеулерден анықталады. f тұрақты тартылысы физикадан жақсы белгілі Кэвиндиш және Йоллидің тәжірибесінен жеткілікті дәл анықтаған.

Қазіргі уақытта g , R және f шамаларының қабылданған мәндерімен (3.9) формуласы бойынша Жер массасын аламыз:

$$m = 5.976 \cdot 10^{17} \text{ г} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

Жер массасын және көлемін біле отырып, Жердің орташа тығыздығын табу оңай, ол $5,52 \text{ г/см}^3$ - тең.

Егер ғаламшардағы ең аз денеде бір серігі болса және оның ғаламшардан ара қашықтығы мен оның айналасындағы айналу периоды белгілі болса, онда Кеплердің үшінші нақтыланған заңы Күн массасы мен ғаламшар массасы арасындағы қатынасты анықтауға мүмкіндік береді.

Шынымен де, ғаламшар айналасында серіктің қозғалысы ғаламшардың Күн айналасында қозғалысы мәніне бағынады және осыдан (2.7) теңдеуі былай жазылады:

$$\frac{T^2 \cdot (M + m)}{t_c^2 \cdot (m + m_c)} = \frac{a^3}{a_c^3}$$

мұндағы M, m және m_c - Күн, ғаламшар және серіктің массалары, T және T_c - ғаламшардың Күн айналасында және серіктің ғаламшар айналасында айналу периодтары, a және a_c - ғаламшарның Күнмен және серіктің ғаламшардан арақашықтықтары.

Осы теңдеудің оң жақ бөлшегінің алымы мен бөлімін m -ге бөліп, оны массаға қатысты есептеп, алатынымыз:

$$\frac{\left(\frac{M}{m} + 1\right)}{\left(1 + \frac{m_c}{m}\right)} = \frac{t_c^2 \cdot a^3}{T^2 \cdot a_c^3} \quad (3.10)$$

Барлық ғаламшарлар үшін $\frac{M}{m}$ қатынасы өте үлкен; $\frac{m_c}{m}$ қатынасы кері, аз (Жер және Ай серігінен басқа) және оны елемеуге болады. Сонда (3.10) теңдеуде белгісіз $\frac{M}{m}$ қатынасы ғана қалады, оны анықтау оңай. Мысалы, Юпитердің осы тәсілмен анықталған $\frac{m}{M}$ кері қатынасы 1:1050 тең.

Жердің жалғыз серігі Айдың массасы Жер массасымен салыстырғанда жеткілікті үлкен болса, онда (3.10) теңдеудегі $\frac{m_c}{m}$ қатынасты елемеуге болмайды. Сондықтан да, Күн массасы мен Жер массасын салыстыру үшін алдын ала Ай шамасын анықтау керек. Ай массасын дәл анықтау күрделі есеп болып табылады, және ол Айдан болатын Жер қозғалысындағы ауытқулар талдау жолымен шешіледі.

Айдың тартылуынан Жер Ай ішінде Жер-Ай жүйесінің жалпы масса орталығының айналасындағы эллипсті сипаттау керек.

Күннің көрінетін орнын дәл анықтау бойынша оның бойлығында «ай теңсіздігі» деп аталатын ай периодының өзгеруінен байқалады. Күннің көрінетін қозғалысындағы «ай теңсіздігінің» болуы, Жер орталығы «Жер-Ай» жалпы орталық массасының айналасындағы ай ішіндегі аса үлкен емес эллипсті сипаттайтынын көрсетеді. «Жер-Ай» орталық массасы Жер орталығынан 4650 арақашықтықта тұрған Жер ішінде орналасқан. Бұл Ай массасының Жер массасына қатынасын $1/81,56$ етіп, анықтауға мүмкіндік береді. «Жер-Ай» жүйесінің орталық массаларының орналасуы 1930-1931 жылдары Эрос ғаламшарын байқаудан табылған. Бұл байқаулар Ай массасының Жер массасына $1/81,87$ шамаға тең қатынас үшін берілген. Соңында, Жердің жасанды серігінің қатынасындағы ауытқулары бойынша Ай массасының Жерге қатынасы $1/81,30$ -ға тең деп шықты. Ең соңғы дәл мәнін 1964 жылы Халықаралық астрономиялық одақ басқа астрономиялық тұрақтылар санына қабылдады. Бұл мән 1966 жылы Ай массасын оның жасанды серіктерінің айналу параметрлері бойынша есептеу арқылы бекітілген.

Ай массасының Жер массасына белгілі қатынасын (3.10) теңдеуден Күннің M_0 массасы Жер массасынан 333000 есе үлкен екені алынады, яғни $M_0 \approx 2 \cdot 10^{33}$ г.

Күн массасын және серігі бар кез келген басқа ғаламшар массасына қатынасын біле отырып, осы ғаламшарның массасын анықтау оңай.

Серігі жоқ ғаламшарлар массасы (Меркурий, Шолпан) басқа ғаламшарлар немесе комета қозғалысында болатын ауытқулардан анықталады. Мысалы, Шолпан мен Меркурий массалары Жер, Марс, кейбір кішкентай ғаламшарлар (астероид) және Энке-Баклуд кометалар қозғалыстарынан болған ауытқулар бойынша және де олардың бір-біріне жасаған ауытқулары бойынша анықталады.

3.4 Ауытқу күш туралы түсінік

Егер Күн жүйесінің қандай да бір денесі тек Күнге тартылса, онда ол Күн айналасында Кеплер заңы бойынша қозғалатын еді. Екі дененің сәйкес міндеттерін шешетін мұндай қозғалыс *ауытқымайтын қозғалыс* деп аталады. Нақтысында, Күн жүйесінің барлық денелері тек Күнге ғана емес, сонымен қатар бір-біріне де тартылады. Сондықтан Күн жүйесінің бірде-бір денесі эллипс, параболла, гипербола, шеңбер бойынша нақты қозғала алмайды. Кеплер заңынан денелер қозғалысындағы ауытқушылық *ауытқу* деп, ал денелердің нақты қозғалыстары – *ауытқу қозғалыстары* деп аталады. Күн жүйесіндегі денелердің ауытқулары күрделі сипатта болады және олардың есебі аса қиын, бірақ олардың, яғни осы денелердің салмағы Күн салмағымен салыстырғанда өте аз. Ауытқуды ауытқитын және ауытқымайтын қозғалыстар кезінде шырақтың орны арасындағы айырмашылық ретінде, ал денелердің ауытқымалы қозғалыстарын Кеплер заңы бойынша оның орбиталарының өзгермелі элементтерінің қозғалысы ретінде қарастыруға болады.

Дене орбиталарының элементтерінің өзгерулері басқа денелердің тартылысы әсерінен ауытқу немесе *элементтердің теңсіздігі* деп аталады. Элементтердің ауытқулары ғасырлық және кезеңдік болып бөлінеді.

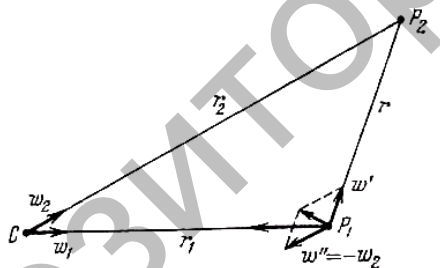
Күн жүйесі денелерінің ғасырлық ауытқулары өте үлкен уақыт аралығында аз өзгертін орбиталардың өзара орналасуына байланысты. Сондықтан элементтердің ғасырлық ауытқулары бір және сол бағытта жүргізіледі, және олардың шамасы уақытқа пропорционал болып келеді. Ғасырлық ауытқуларға орбитаның екі элементі – үдемелі түйіннің бойлығы және перигелий бойлығы негізделген.

Кезеңдік ауытқулар тұйық орбитадағы қозғалыс кезінде нақты уақыт аралығы арқылы қайталанып отырылатын денелердің сәйкесінше жағдайына байланысты болады. Сондықтан орбита элементтерінің кезеңдік ауытқулары біресе басқа жақта, біресе қарама-қарсы бағытта өзгеріп отырады, және оларға сол немесе басқа деңгейдегі орбитаның барлық

элементтері бейімделген. Себебі, үлкен ғаламшардағы ауытқусыз орбиталар – тұйық қисық (эллипс), ал ғасырлық ауытқуларға тек түйіндер мен перигелийлер бойлықтары тартылған, онда ғаламшар жүйесі болашақта да қазіргі уақыттағы секілді өзінің мәнді белгілерінде қалуы керек. Бірақ мәселе, ұзақ уақыт аралығындағы Күн жүйесінің тұрақтылығы бірнеше миллиард жыл көлемінде шешімін таппауы мүмкін. Себебі, ғаламшарлардың бір-біріне тартылу әсерінен ауытқулар дифференциалдық теңдеулерді жуықтап шешу әдістерін қолдану арқылы түсіндіріледі. Ауытқуларды көрсететін функциялардағы коэффициенттер өте аз, себебі, жеткілікті уақыт аралығында ғасырлық ауытқулар үлкен болып кетуі мүмкін.

Үш аспан денесі болсын: Күн (C) M массасымен, Күн орталығынан r_1 арақашықтықта m_1 массасымен P_1 ғаламшар және Күн орталығынан r_2 арақашықтықта m_2 массасымен P_2 ғаламшар және P_1 ғаламшардан r арақашықтықта (3.3-сурет). Барлық үш денелер бір-біріне Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы бойынша әрекет етеді.

Күн ғаламшардан P_1 бағыты CP_2 бойынша үдеу алады:



$$w_1 = f \frac{m_1}{r_1^2}$$

ғаламшардан P_2 бағыты бойынша CP_2 үдеу алады:

$$w_2 = f \frac{m_2}{r_2^2}$$

3.3-сурет. Ауытқу күші

Күнге сәйкес P_1 ғаламшар қозғалысын қарастырамыз. Бұл жағдайда P_1 ғаламшарға келесідей үдеуді тудыратын күштер ықпал ететін болады. P_1C бағыты бойынша:

$$w = f \frac{M + m}{r_1^2}$$

P_1P_2 бағыты бойынша:

$$w' = f \frac{m_2}{r^2}$$

P_2C параллель бағыты бойынша:

$$w'' = -w_2 = f \frac{m_2}{r_2^2}$$

Бірінші үдеу w - Күн тартылысы әсерінен салыстырмалы қазғалыс үдеуі, ол Кеплер заңы бойынша Күннің айналасында P_1 ғаламшар қозғалысын негіздейді.

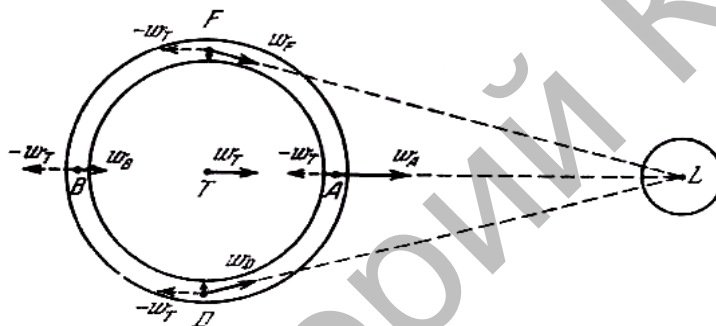
Үдеу w' және w'' ауытқитын күштердің үдеуін білдіреді және Кеплер заңынан P_1 ғаламшар қозғалысындағы ауытқуды негіздейді. Ауытқитатын күш сәйкесінше екі күштен тұрады: P_1 ғаламшарға P_2 ғаламшар әрекеті күшінен және Күнге P_2 ғаламшарның әрекеті күшінен. Себебі үдеу w'' қарама-қарсы w_2 жағына қалдырылады, онда ауытқитатын күш ғаламшарға және Күнге ауытқитатын дене әрекетінің геометриялық түрі болып табылады. 3.3-суретте көрсетілгендей, жалпы жағдайдағы ауытқитатын күш ауытқитын денеге, яғни P_2 ғаламшарға бағытталмаған. Ауытқитатын күш ауытқитын P_2 денеге (яғни, ғаламшарға) тек, егер денелер P_1 және P_2 Күнмен бір сызықта болса және екеуі де одан бір жақта болса нақты бағытталады. Егер денелер P_1 және P_2 Күнмен бірге, бірақ одан әртүрлі бағытта орналасса, онда ауытқитатын күш ауытқитын денеден бағытталады. Дене қозғалысындағы ауытқу күштерінің шамасы мен бағыты үздіксіз өзгеріп отырады.

3.5 Көтерілулер және құйылулар

Жер көлемі Ай мен Күнге дейінгі арақашықтықпен салыстырғанда өте аз, бірақ Жер пішініне қарамастан Жердің түрлі нүктелерінде Айдың және Күннің тартылыс күштері бірдей емес. Нәтижесінде, тартылатын денелерге дейін осы нүктелерден

эртүрлі арақашықтықтағы және бағыттағы нүктелерге ықпал ететін ауытқу күштері пайда болады. Егер Жер абсолютті қатты дене болса, яғни оның нүктелері өз негіздерін Жер орталығына сәйкес өзгерте алмаса, онда Жер денелерінде осы ауытқу күштерінің ықпалы ретінде тек белгілі көрінетін керілуден пайда болуы мүмкін. Бірақ Жер абсолютті қатты дене емес, сондықтан жер қабаттарының кейбір бөліктеріне ауытқу күштерінің ықпалы құбылыстар тудырады, олар судың көтерілуі немесе құйылуы деп аталады.

Жердің қатты қабаты барлық жағынан тепе-тең негізде



3.4-сурет. Көтерілулердің бірігуі

теңізбен қоршалған (3.4-сурет). Ай өзіне Жердің қатты қабатының әрбір бөлігін және теңіздегі судың әрбір тамшысын, оларға Ай ортасы мен бөлігі арасындағы ара қашықтықтың пропорционалдық квадратына үдеуін хабарлай отырып, тартады. Хабарланатын қатты бөліктердің тең әрекет ететін жылдамдығы Жер ортасы арқылы өтеді және ол мынаған тең:

$$w_T = f \frac{m}{r^2},$$

мұндағы: m – Ай массасы, ал r – Жер ортасынан Ай ортасына дейінгі арақашықтық. Теңіз суына келетін болсақ, онда A нүктесінде w_T қарағанда үдеу үлкен, ал B нүктесінде ол аз, яғни

$$w_A = f \frac{m}{(r-R)^2} \qquad w_B = f \frac{m}{(r+R)^2},$$

мұндағы: R – Жер радиусы.

A нүктесінде сәйкесінше үдеу $w_A - w_T$ айырмашылығына тең, яғни:

$$w_A - w_T = fm \left[\frac{1}{(r-R)^2} - \frac{1}{r^2} \right]$$

немесе

$$w_A - w_T = fm \frac{2rR - R^2}{(r-R)^2 r^2}.$$

Жер радиусы R Айға дейінгі ара қашықтықпен салыстырғандағы шамадан аз, онда алымында R^2 бөлшегін ескермеуге, ал бөлімінде айырмашылық орнына тек r қалдыруға болады.

Онда

$$w_A - w_T = fm \frac{2R}{r^3}.$$

Бұл үдеу айырмашылығы Жер ортасынан бағытталған, яғни $w_A - w_T$. Шамасы бойынша $w_B - w_T$ үдеу айырмашылығы осындай және ол да Жер ортасынан бағытталған, себебі $w_B - w_T$. Сәйкесінше A және B нүктесінде Айдың әрекеті Жер қабатында ауырлық күшін әлсіздендіреді.

F және D нүктелерінде $w_F - w_D$ жылдамдығы T нүктесіне кері үдеуде бағытталған, мұнда тепе-тең әрекеттегі үдеу Жер ортасына бағытталған. Сәйкесінше, F және D нүктелерінде Айдың әрекеті Жер ауырлығы күшін жоғарылатады.

F және A , A және D аралығындағы нүктелерде тепе-теңдікте әрекет ететін үдеу A нүктесі жағына, ал F және B , B және D

арасындағы үдеу B нүктесі жағына бағытталған. Егер осы тепе-теңдіктегі үдеуді радиусы бойынша таратса, онда ағымдағы нүктелерде Жер ауырлығы күшінің күшейгенін немесе әлсізденгенін көруге болады. Бұл үдеулердің әрекеті теңіздегі судың A нүктесіне Жердің бір жартысына ұмтылуына әкеледі, мұнда Ай зенитте болады, ал басқа жартысында B нүктесіне әкеледі, мұнда Ай надирда болады.

Сәйкесінше, Ай тартылысының әрекетінде Жердің су қабаты Ай бағыты бойынша тартылған эллипсоид пішінін қабылдайды, A және B нүктесіне жақын көтерілулер, ал F және D нүктесінде құйылулар болады.

Жердің айналуы нәтижесінде Жер қабатының жаңа орындарында әрбір уақыт сайын судың көтерілуінің алға жылжулары пайда болады. Орташа $24^{\text{h}}52^{\text{m}}$ -қа тең Айдың жоғарғы және төменгі шарықтауларының арасындағы уақыт аралығында көтерілу жылжулары барлық Жер шарын айналып өтеді және бұл уақытта әрбір орында екі судың көтерілуі және екі құйылуы болды.

Күн сәулесінің әрекетінен Жердің су қабаты да құйылулар мен көтерілулерді сезінеді, бірақ Күн көтерілуін үлгілейтін күшінің жылдамдығы мынаған тең:

$$fM_{\odot} \frac{2R}{a^3}$$

мұндағы: M_{\odot} - Күн салмағы, a - Күннен Жердің арақашықтығы. Осы үдеуге Айдың көтерілуін үлгілейтін күшінің үдеуін ажырата отырып, аламыз:

$$\frac{m}{M_{\odot}} \frac{a^3}{r^3} \approx 2,2,$$

Себебі, $M_{\odot} =$ Жер салмағынан 333 000, $m \approx$ Жер салмағынан $1/81$ және $a = 390r$. Сәйкесінше, Күннің көтерілуінің күші Айдың

көтерілу күшінен 2,2 есе аз. Күн көтерілулері жекелей бақыланбайды, олар тек Ай көтерілулерінің шамасын өзгертеді.

Жаңа ай және толғанай кезінде Күн және Ай көтерілулері бір уақытта түсіріледі, Ай және Күн әрекеттері шоғырланады және ең үлкен көтерілу байқалады. Ай көтерілуінің кезінде бірінші және соңғы бөліктегі (квадратура деп аталады) уақытында Күннің түсуі жүргізіледі және Күннің әрекеті Айдың әрекетінен шығарылады, аз көтерілулер байқалады.

Нақтысында, көтерілулер мен құйылулар құбылыстары күрделірек. Жер теңізбен қоршалмаған, және көтерілетін толқындар теңіздің жоғары қабатында жүре отырып, өз жолдарында материктердің күрделі жағалаулық сызықтарын, мұхит түбінің түрлі нысандарын кездестіреді, осылайша ішкі үйкелісті сезінеді. Көрсетілген себептер күшінде көтерілу уақытына Ай шарықтау сәтіне сәйкес келмейді, ол сол уақыт аралығына жақын уақытқа, кейде алты сағатқа дейін кешіктіріледі. Бұл уақыт аралығы қолданбалы уақыт деп аталады. Түрлі орындардағы көтерілу биіктігі бірыңғай емес. Ішкі теңіздерде, мысалы, Қара және Балтық теңіздерінде, тек бірнеше сантиметрге дейін көтерілулер болады.

Жағалаудан алыс теңіздерде, көтерілу шамалары 1м-ден жоғарламайды, бірақ жағалауларда көтерілулер маңызды жоғарылыққа жетуі мүмкін. Мысалы, Пенжинск аймағында (Охот теңізі) көтерілудің аса жоғары шамасы 12,9м, ал Фробиршер бұғазында (Баффинов Жері аралының оңтүстік жағалауы) – 15,6м, Фанди бұғазында (Канаданың Атлантикалық жағалауында) – 18м жетеді. Жердің қатты бөлігі туралы көтерілетін толқындардың тербелісі оның айналуының жүйелік баяулауын туғызады.

Көтерілулер мен құйылулар атмосфералық қысымның өзгерісі жағдайында Жер атмосферасында да болады. Көтерілу құбылыстары су қабаттарына қарағанда аса аз көлемде Жер қабаттарында да табылған. Бірақ әрқашанда олардың әсерінен Жер қабатының нүктелері тәулігіне екі рет көтеріледі және орташа есеппен бірнеше дециметрге дейін түсіріледі.

3-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Ғаламшарлар орбитасы эклиптика жазықтығымен қиылысатын екі нүкте үдемелі және төмендеуші түйіндерін сызба арқылы түсіндіріңіз?
2. Аспан механикасының негіздеріне не жатады?
3. Ғаламшар орбитасының элементтері қалай аталады? Олар қандай шектерде анықталады?
4. Ауытқу күш туралы түсінік беріңіз?
5. Көтерілулер және құйылулар қалай пайда болады?
6. Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңының тұжырымдамасын дәлелдеңіз?
7. Аспан денелерінің массалары қалай анықталады?
8. Басқа аспан денелердің қозғалыстарында аспан денелерден бақыланған ауытқуға талдау жасаңыз?

4-тарау. АСТРОФИЗИКА ЖӘНЕ РАДИОАСТРОНОМИЯ ҚҰРАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

4.1 Телескоптар, олардың маңызы. Рефракторлар, рефлекторлар

Алғашқы телескоп 1609 жылы итальяндық астроном Галилео Галилеймен жасалған. Телескоп қалыптаспаған оптикалық схемасы және 30 есе ұлғайтқышы бар қарапайым көлемде (тұрба ұзындығы 1245 мм, объектив диаметрі 53 мм, окуляр 25 диоптрий) болды. Ол бірнеше маңызды ашылуларды жасауға мүмкіндік берді: Шолпан фазасын, Айдағы таулар, Юпитер спутниктері, Күндегі дақтар, Құс жолындағы жұлдыздар.

1663 жылы Грегори телескоп-рефлектордың жаңа схемасын жасады. Грегори бірінші болып телескопта линзаның орнына айнаны қолдануды ұсынды. Линзалық объективтің негізгі aberрациясы – хроматикалық- айналық телескопта толығымен болмайды.

Бірінші телескоп-рефлектор 1668 жылы Исаак Ньютонмен жасалды. Ол жасаған схема «Ньютон схемасы» деп аталды. Телескоп ұзындығы 15 см құрады. Оптикалық телескоптарға ең алдымен рефракторлар мен рефлекторлар жатады.

Қарапайым рефрактор-объективтің басты бөлігі телескоптың алдыңғы бөлігінде орналасқан екі жақты линза болып табылады. Объектив сәулеленуді жинақтайды. Объективтің көлемі қаншалықты үлкен болса, соншалықты телескоп сәулеленуді жинайды, ал әлсіз қайнар көздер олармен тауып алынуы мүмкін. Хроматикалық aberрациядан құтылу үшін линзалық объективтер құрамды жасайды. Әдетте, ол домалақ пішіндегі шыны немесе кварцты дайындамадан жасалады, және соңынан күміс немесе алюминийдің жұқа қабатымен көмкеріледі. Айнаның жоғары қабатын дайындаудың нақтылығы, яғни, берілген пішіннен шекті жол берілетін ауытқулар айна жұмыс істейтін жарықтың толқынының ұзындығына байланысты болады. Дайындау нақтылығы $\lambda/8$ қарағанда жақсы болуы қажет. Мысалы, көрінетін

жарықта жұмыс істейтін айна (толқын ұзындығы 0,5 микрон) 0,06 мкм (0,00006 мм) нақтылықта дайындалу керек.

Бақылаушының көзіне қарауға берілетін оптикалық жүйе *окуляр* деп аталады. Қарапайым жағдайларда окуляр тек бір ғана жағымды линзадан құралуы мүмкін. Телескоптың маңызды сипаттамалары (оның оптикалық схемасы, объектив диаметрі және фокустық ара қашықтығын қоспағанда) өткізгіш күші, рұқсат етілетін қабілеттілік, салыстырмалы саңылау, бұрыштық ұлғайту болып табылады.

Телескоптың өткізгіш күші ең әлсіз жұлдыздың шекті жұлдыздық шамасын аталған құралда бақылаудың аса жақсы жағдайларында көруге болатындығымен сипатталады. Осындай жағдайлар үшін өткізгіш күшті мынадай формула бойынша анықтауға болады:

$$m = 2,1 + 5 \lg D,$$

мұндағы D - объектив диаметрі (мм).

Объективтен басты фокуска дейінгі арақашықтық басты фокустық арақашықтық F деп аталады. Әлемдегі ең үлкен рефрактор АҚШ-да Йеркск расытханасында орналасқан, оның линзасының диаметрі 1м-ге жетеді. Үлкен диаметрлі линза аса ауыр және дайындауға күрделі болар еді.

Рұқсат етілетін қабілеттілік – көрінулері әр түрлі екі жұлдыз арасындағы өте аз бұрыш. Егер құралсыз көзбен 2'-тен кем емес бұрыштық арақашықтықта екі жұлдызды ажыратуға болатын болса, онда телескоп бұл шекті Г рет азайтуға мүмкіндік алады. Шекті ұлғайтуды шектеу дифракция құбылысын толтырады, бұл объектив жақтауларын жарық толқындарымен айналып шығады. Дифракция нәтижесінде нүкте бейнесінің орнына дөңгелектер алынады. Орталық дақтың бұрыштық өлшемі (теориялық бұрыштық рұқсат беру):

$$\delta = \frac{\lambda}{D}$$

Рұқсат етілетін қабілеттілік мына формула бойынша есептелуі мүмкін:

$$\delta = \frac{140}{D},$$

мұндағы δ – секунд ішінде рұқсат беру, D - объектив диаметрі (мм).

$D = 1$ м диаметрі телескопта $\lambda = 550$ нм кезінде көрінетін толқын ұзындығына теориялық бұрыштық рұқсат ету $\delta = 0,1''$ -ке тең болады. Көп жағдайда телескоптардың бұрыштық рұқсаттары атмосфералық дірілдерімен шектеледі. Фотографиялық бақылау жүргізу кезінде рұқсат берілетін қабілеттілік Жер атмосферасымен шектеліп отырылады және $0,3''$ -тен артық болмайды. Әдетте, атмосфера салмақты болғандағы сәтті ұстап алуға ұмтылуда, көзбен бақылау кезінде D диаметрі үлкен 2 м телескоптардағы рұқсат берілетін қабілеттілік теориялыққа жақын болуы мүмкін. $0,5''$ сәулеленудің 50% көбін жинайтын телескоп жақсы болып есептеледі.

Салыстырмалы саңылау – диаметрдің D фокустық арақашықтыққа F қатынасы:

$$A = \frac{D}{F}.$$

Телескоптарда визуалды бақылау үшін салыстырмалы саңылау типтік мәнінен $1/10$ есе аз. Қазіргі телескоптарда олар $1/4$ және одан да көп шамаға тең. Көп жағдайда сәйкес ауыз қуысының $(D/F)^2$ тең жарық күші түсінігі қолданылады. Жарық күші фокальды жазықтықта объективті құратын сәулеленуді сипаттайды. Телескоптың сәйкесті фокустық арақашықтығы ретінде кері салыстырмалы саңылау шамасы аталады:

$$\forall = \frac{F}{D}.$$

Фотосуретте бұл шама *диафрагма* деп жиі аталады.

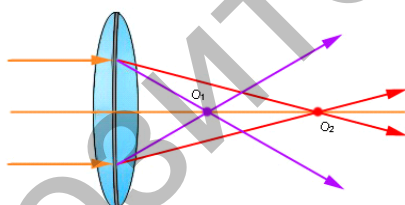
Бұрыштық ұлғайту (немесе жай ұлғайту) телескоп арқылы бақылау кезіндегі объект бұрышы көзбен көргендегіге қарағанда қанша есе артық екендігін көрсетеді. Ұлғаю объектив пен окулярдың фокустық арақашықтығының қатынасына тең:

$$\Gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}}$$

4.2 Аберрация

Оптикалық жүйенің жетімсіз жақтарымен келтірілген бейнелердің кедергіден бөлінуі *абerrация* деп аталады. Оптикалық жүйелердің абerrациясы физикалық және геометриялық болып келеді. Физикалық абerrация – *хроматикалық*. Геометриялық абerrациялар - *сфералық, кома, астигматизм, аймақтың қиғаштығы мен дисторсия*.

Хроматикалық абerrация барлық сынатын оптикалық приборларға тән. Ол тек ортаның сыну коэффициенті жарық толқынының ұзындығына байланысты пайда болады. Көкшіл



4.1-сурет. Хроматикалық абerrация

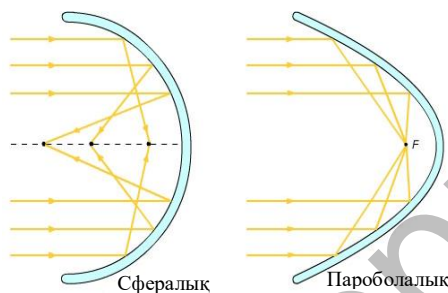
сәулелер линзамен қызылға қарағанда күштірек ауытқиды, сондықтан түрлі толқын ұзындығындағы сәулелер үшін фокустардың жағдайы сәйкес келмейді. Нәтижесінде жұлдыздар бейнесі құбылмалы дөңгелек жиынтығы ретінде көрінеді (4.1-сурет). Галилейдің бірінші телескоптарында күшті хроматикалық абerrациясы болды.

Хроматикалық абerrациядан «құтылуды» шешкен Ньютон болды. Ол ең алдымен телескопта жағымды және жағымсыз оптикалық күштегі екі линзаны көруді шешті, бірақ

хроматикалық абберациядан бос телескопты шығара алмады. Сондықтан Ньютон ойыс айналармен телескоптар жасай бастады.

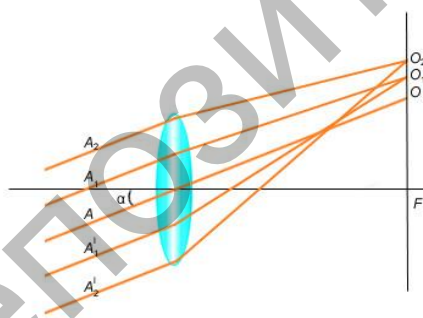
Тек 1747 жылы Эйлер математикалық түрде хроматикалық абберациядан алынған, екі шыны менисктен құралатын объективтің бар екендігін дәлелдеді. Сынудың түрлі коэффициенттегі шыныдан дайындалған объективте хроматикалық абберациясы жоқ оптикалық жүйе ахроматтар деп аталады. Хроматикалық абберация толығымен айна жүйелерінде болмайды.

Сфералық абберация объективтің басты оптикалық осіне параллель жарық сәулесі линзаның немесе айнаның сфералық қабатына түсе отырып, сынудан кейін бір нүктеде қиылыспайтындығынан пайда болады (4.2, 4.3, 4.4-суреттер). Объективтің жақтаулары бейнені объективке жақын қояды, ал орталық бөлігін әрі қарай қояды. Нәтижесінде бейне фокальды

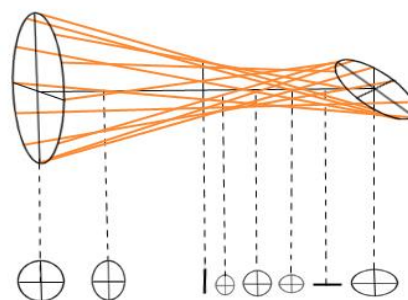


4.2-сурет. Сфералық абберация

жазықтықта жылдам түрде болмайды.



4.3-сурет. Кома



4.4-сурет. Астигматизм

Рефракторда сфералық абберация хроматикалық абберациямен бірге линзаны таңдауда шеттетіледі. Рефлекторда айнаға сфералық емес, параболалық форма береді. Сфералық абберация түзетілетін жүйе астигматизм деп аталады.

4.3 Астрофотометрияның негізгі түсініктері

Ғарыштан барлық ақпараттар электромагнитті толқындар түрінде түсіріледі. Аспан денелері арқылы бақылаушыға келетін энергия санын өлшеумен айналысатын астрономияның саласы *астрофотометрия* деп аталады.

Астрофотометрияның негізгі түсінігі жарық ағыны болып табылады. Сәулеленетін қабаттағы аумақ арқылы уақыт бірлігіне өтетін электромагниттік толқындардың энергиясы *сәулелену ағындары* деп аталады. Сәулелену ағындары сәулелену қуатын сипаттайды және ваттпен көрсетіледі. Ағын аумақтың бағытына байланысты.

Адамның көзі электромагнитті толқындардың тар диапазонын қабылдайды, ол 550нм жуық толқындар ұзақтығын сезеді. Сондықтан сәулелену ағынынан шығатын, адам көзі сезетін қуат жарық ағыны Φ деп аталады және люменмен (лм) бейнеленеді. Кейбір қабаттардан бірыңғай аумақтарға түсетін жарық ағындары сәулелену (E) деп аталады. Физикада сәулеленуді өлшеу бірлігі ретінде люкс (лк) қабылданған ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм}/\text{м}^2$):

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Интенсивтілік (немесе ашық) I – бұл біркелкі аумақта өтетін, аталған сәулеге перпендикуляр дене бұрышының уақыт бірлігіне тең сәуле энергиясының ағыны. Спектрлі интенсивтілік – бұл жиілік бірлігінің аралығындағы интенсивтілік. Стерadian – оның жоғары қабатында ортаны бөлетін денелік бұрыш, аумағы

орта радиусының квадратына тең. Орта қабатының аумағы $4\pi R^2$, сондықтан толық денелік бұрыш 4π стерадианға тең. Сонда

$$I = ER^2.$$

R_1 және R_2 ара қашықтығындағы бір және сол қайнар көзбен құрылатын E_1 және E_2 жарық берілуілері осы қашықтықтардың квадраттарына кері пропорционал түрде өзгереді:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Астрономияда жұлдыздық шамалар қолданылады. Олар келесі формула арқылы сәулелендірумен байланысты:

$$m_2 - m_1 = -2,5 \lg \frac{E_2}{E_1}.$$

4.4 Радиотелескоптар

Радиотелескоп - телескоптардың бірнеше түрлерінің бірі болып табылады, және бұл құрал белгілі бір объектіден электромагнитті толқындар алуға қолданылады. Радиотелескоп астрономиялық объектілердің 10МГц тен 10ГГц-ке жететін электромагнитті сәулелерді анықтауға пайдаланатын құрал. Ғалымдар радиотелескоптың арқасында белгілі бір объектінің қасиетін, яғни кеңістіктің құрылымын, сәулелердің интенсивтілігін, сонымен қатар спектрлер және поляризацияларды анықтады.

Алғаш рет радиотелескоптық сәулеленуді 1931 жылы американдық радиоинженер Карл Янский ашты. Атмосфералық радиокедергілерді зерттей отыра, Карл Янский тұрақты кедергіні тапты. Бұл радиокедергінің неден пайда болғандығын түсіндіре алмағандықтан, оның шыққан тегін Құс жолымен алмастырды. 1940 жылдан бастап ғана Карл Янскийдің еңбегі әрі қарай

жалғастыра басталды, оның еңбектері болашақ радиоастрономия ғылымына әсерін тигізді.

Радиотелескоп *жүйелі антеннадан, радиометрден және тіркемелі құралдардан* тұрады. *Радиометр* – бұл қабылдау құрылғысы, оның арқасында радиотолқындардың аз диапазонында күшейте түскен сәулелену қуаттылығын өлшейді (толқын ұзындықтары 0,1мм-ден 1000м). Бір сөзбен айтқанда, басқа құралдарға қарағанда радиотелескоптар төменгі жиілікте бола тұра электромагнитті сәулелену құрылысын анықтай алады. Мысалы: инфрақызыл телескоп, рентген телескопы.

Антенна құрылысының негізгі қызметі бұл аспан объектісінің радиосәулеленуін қабылдау болып табылады. Антенналардың негізгі қасиеті бұл сезгіштігі (яғни, өте кішкентай дабылдың өзін қабылдау), сонымен қатар, бұрыштық дәл дабылдың өзін ғана қабылдау, яғни басқа әртүрлі радиотолқындардың сәулеленуін бөліп алу.

Радиотелескоп өздігінен өте сезгіш және бұрыштық айырып алу қасиеті болуы керек. Осылардың нәтижесінде ғана ол кішкентай кеңістіктегі дабылды қабылдай алады.

Кейде бақылаудың сапасы жақсы болу үшін бірнеше радиотелескоптар қолданады, оларды бір-бірінен белгілі қашықтықпен ажыратып қояды. Бұндай жүйе *радиоинтерферометр* деп атайды. Оның жұмыс істеу принципі: электромагнитті өрістің толқыны немесе бір толқынның бірнеше нүктелерде өтуін қарастырады. Қарастырылған соң жазбалар фазалық ауытқулар бойынша жазылады.

Радиотелескоптар өздігінен беті ашық болып орналасқан. Бірақ, кей кездегі ауа-райының қолайсыздығынан, айнаны қорғау үшін, телескопты куполдың ішіне орналастырады.

Алғаш ғарыштық кеңістікті анықтау үшін радиотелескоп 1945 жылы жасалды. 1946 жылдан бастап, дүниенің түпкір түпкірінен аспан денелерін, радиосәулелерді алу үшін радиотелескоптар құрала бастады.

Астрономдар алғашқы рет радиотелескоптың көмегімен жаңа жұлдыздың жарылысын тапты. Бұл жарылыста гамма сәулеленуі болмады. Бұл құбылыс аспан әлеміндегі

жұлдыздардың табиғатын тереңірек түсінуге және жаңа жарылыстарды ғарыштық спутниктің көмегінсіз жасауға септігін тигізеді. Гарвард – Смитсоновсктағы Алисса Содербергтің қарауымен бірнеше астрономдар Массачусетсте VLA радиотелескоптың көмегімен жұлдыз тектес затын тауып, оның жарық жылдамдығына жақын жылдамдықпен қозғалып келе жатқанын анықтады. Бұрынғы ғалымдар бұндай жарылысты тек детектордың гамма сәулеленуін жарылыс болған кездегі шашыраудан байқайтын. Бұл электромагниттік сәулеленуінің көзі ретінде материя және ол жарылыста жарық жылдамдығына жақын жылдамдықта болады. Алайда, радиотелескоптың көмегімен бақылауда мұндай гамма сәулеленуінің шашырауы байқалмады. Алисса Содербергтің айтуынша, бұл радио-сәулелену арқылы бақылау гамма сәулеленуі арқылы бақылаудан әлде қалай тиімді, және бұл астрономияда даму болып саналады. Жаңа әдіспен өте көлемді жұлдыздар жарылады, бұл оның орталығындағы термоядролық реакциялары сөніп бара жатқан, жұлдыздық заттың массасын көтере алмағандықтан олар аспан денесінің орталығына бірден сығыла бастайды. Ал қалған жұлдыздың бөлшектері ғарыш кеңістігіне таралып кетеді. Оның таралу жылдамдығы жарық жылдамдығының 3%-ын ғана құрайды. Ғалымдардың радиосәулелену моторы деп атайтын жаңа процестің көмегімен жарылған жұлдыздың ортасында тығыз объект қалыптасып қалады, оны әдетте кара құрдым немесе нейтрондық жұлдыз деп атайды. Нейтрондық жұлдыз деп аталатын центрдің айналасында заттық айналып жүрген шара пайда болады, ол гравитациялық күштермен басып алынып отырады. Бұл шара ядро құлап бара жатқан объектілерді жарық жылдамдығымен шамалас жылдамдықта қуып жібереді. Қазіргі кезде ғалымдар радиоастрономия көмегімен мұндай жаңа ашылуларды әрі қарай дамыту үстінде.

4-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Рефлектордың рефрактордан артықшылығы қандай? Керісінше ше?

2. Телескоптың фокустық арақашықтығы 20м, диаметрі 1м және көз жетер өрісі 1° . Телескоптың салыстырмалы саңылауы, бейне ауқымы және көз жетер өрісінің сызықтық диаметрі қандай?
3. Телескоптың өткізгіш күші қай факторлардан тәуелді?
4. Бейнелеу оптикасы дегеніміз не ?
5. Фотоэффекттің қызыл шекарасы дегеніміз не? Фотокатодтың қара тоғы дегеніміз не? Араларында физикалық байланыс бар ма? Болса қандай?
6. Монохроматор камерасының ошақтық арақашықтығы 600мм, сызықтық дисперсиясы 20А/мм. Оның бұрыштық дисперсиясы қандай?
7. Толқын ұзындығы 3см-ге тең радиоинтерферометрдің бұрыштық ұлғаюы қандай? Егер базасы 6км болса?
8. Телескопта қара болып көрінетін дақты Галилей шын мәнінде Айдағы ең жарық мекен екенін қалай дәлелдеді?
9. Егер жұлдызға бағытталған үшбұрышты қағаз бөлігін телескоптың объектісіне жабыстырсақ, онда ол бақылаушылар үшін Айдың түрін қалай өзгертеді?
10. 8см объектілі телескоптың теориялық рұқсат берілген және өткізгіш күші қандай?
11. Әлемде ең үлкен рефрактор 19,5м фокустық қашықтыққа ие. Рефракторды 300, 1000 және 3000 рет ұлғайтуға беретін окулярдың фокустық арақашықтығы қанша?
12. Айға диаметрі 15мм бейне беретін объективтің фокустық арақашықтығы неге тең?
13. Телескоптың рұқсат берілетін күш формуласын қолдана отырып, теориялық анықтау қажет: 24 дюйма объективі бар телескоп бөлінген екі жұлдыздық дискілердің орталықтары арасындағы бұрыштық қашықтығы қандай?
14. Телескоп арқылы қаралатын Айдың көрінісіне оның объективін жартылай жабу қалай әсер етеді? Бұл жағдай жұлдыздардың дифракциялық дискілері мен сақиналарының көрінісіне қалай әсер етеді?

5-тарау. КҮН ЖҮЙЕСІНІҢ ФИЗИКАСЫ

5.1 Күн туралы жалпы мәліметтер

Күн Жер тіршілігінде маңызды орын алады. Ғаламшарымыздағы бүкіл органикалық дүниенің бар болуы Күнге байланысты. Күн тек жарық пен жылудың қайнар көзі болып ғана қоймай, сонымен қатар басқа да көптеген энергия түрлерінің (мұнай, көмір су, жел энергияларының) көзі болып табылады.

Күн кейбір халықтарда табыну нысаны болып келген. Оны ең күшті құдірет тұтқан. Солардың ішінде ең жиі кездесетін құдіретті Күн: Гелиос – гректердің Күн құдайы, Аполлон – римдіктердің Күн құдайы, Митра – парсылардың, Ярило – славяндардың т.с.с.

Қазір ғалымдар Күн табиғатын зерттеп, оның Жерге тигізетін әсерін анықтап, сарқылмас Күн энергиясын пайдалану мәселелерімен айналысуда.

Күн – біздің жұлдызымыз. Күнді зерттей отырып, басқа жұлдыздарда болып жатқан құбылыстар мен үрдістерді білуге мүмкіндік аламыз.

Күн өз осін төңірегіндегі ғаламшарлардың қозғалу бағытымен айналады. Күннің әр қабатының айналу жылдамдығы әр түрлі. Сидерлік период кезінде Күннің өз осінен бір айналуы экватор аймағында – 25, ал Күннің полюсіне жақын аймағында – шамамен 30, ал синодтық период кезінде экватор аймағында – 27, полюс аймағында – 32 Жер тәулігінде өтеді. Күн экваторындағы сызықтық жылдамдық 2км/с.

Күннің өлшемдері, массасы және жарқыраулығы. Күн радиусы Жердің радиусымен салыстырғанда одан 109 есе, ал көлемі шамамен 1300000 есе зор. Күн массасы да орасан зор. Ол Жер массасынан 330000 еседей және төңірегінде қозғалатын барлық ғаламшарлардың жалпы массасынан 750 еседей көп.

Күннің көрінерлік радиусы 960''-қа сәйкес келетін Жердің орташа қашықтығы $149,6 \cdot 10^6$ км, сонда сызықтық радиусы:

$$R_K = \frac{149,6 \cdot 10^6 \text{ км}}{206265''} \cdot 960'' = 696000 \text{ км} \quad (5.1)$$

Күн көлемі:

$$V_K = \frac{4}{3} \pi R_K^3 = 1,41 \cdot 10^{18} \text{ км}^3 = 1,41 \cdot 10^{27} \text{ м}^3 \quad (5.2)$$

ал массасы:

$$m_K = 1,99 \cdot 10^{33} \text{ г} \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \quad (5.3)$$

орташа тығыздығы:

$$\bar{\rho} = \frac{m_K}{\frac{4}{3} \pi R_K^3} = 1,41 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \quad (5.4)$$

Күннің бетіндегі ауырлық күшінің үдеуі:

$$g_K = f \cdot \frac{m_K}{R_K^2} = 2,74 \cdot 10^4 \frac{\text{см}^2}{\text{с}^2} = 274 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad (5.5)$$

Жердің Күннен алатын энергиясының мөлшері *Күн тұрақтысы* деп аталатын шамамен сипатталады. *Күн тұрақтысы* деп 1с-та Жер атмосферасынан тысқары, Жердің Күннен орташа қашықтығында Күн сәулесіне перпендикуляр орналасқан ауданы 1м^2 аудан бетіне түсетін толық энергия мөлшерін айтады. Күн тұрақтысын өлшеу үшін биік тау бекетінде арнаулы ыдыстағы судың Күн сәулелерімен қыздырылған қара түсті металл шарықтан алған жылу мөлшерін анықтайды.

Инфрақызыл және ультракүлгін сәулелердің Жер атмосферасында жұтылуын ескерсек, Күн тұрақтысы 140 Вт/м^2 -ге тең болып шықты. Егер Күн тұрақтысын радиусы Жердің Күннен орташа қашықтығына тең сфераның ауданына көбейтсе, Күннің уақыт бірлігінде шығаратын жалпы энергиясы (L_0) табылады. Бұл шама – Күннің жарқыраулығы (сәуле шығару қуаты):

$$L_K \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт} \quad (5.6)$$

Күннің температурасы және Күн затының күйі. Күн затының қандай күйде болатындығын білу үшін алдымен Күннің температурасын білу керек. Күннің температурасын анықтаудың бірнеше тәсілдері бар. Олардың бәрі Жерде ашылған және Ғаламның бүкіл бөлігінде орындалатын физика заңдарына жүгінеді. Осы тәсілдің бірі мынадай: егер Күн жарқыраулығы L_0 , Күннің радиусы R_K белгілі болса, онда Күннің көрінерлік бетінің ауданы $4\pi R_K^2$ болып шығады. Осыдан Күн бетінің аудан бірлігі уақыт бірлігінде шығаратын энергиясын (ε) есептелік:

$$\varepsilon = \frac{L_K}{4\pi R_K^2} \quad (5.7)$$

Басқаша алғанда, уақыт бірлігінде аудан бірлігінің шығаратын энергиясы абсолют температураның төртінші дәрежесіне пропорционал:

$$\varepsilon = \sigma T^4 \quad (5.8)$$

(5.8) теңдеу Стефан – Больцман заңы, мұндағы $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ - пропорционалдық коэффициент.

(5.3) және (5.4) формулалардан шығатыны:

$$\sigma T^4 = \frac{L_K}{4\pi R_K^2} \quad (5.9)$$

онда

$$T = \sqrt[4]{\frac{L_K}{4\pi R_K^2 \sigma}} \quad (5.10)$$

(5.5) формулаға кіретін шамалардың сан мәндерін қойсақ, $T \approx 6000\text{K}$ болатынын табамыз. Осы тәсілмен анықталған температураны *эффективті температура* деп атайды. Стефан-Больцман заңын қолданарда, біз Күн идеал дене (оны қара дене деп те атайды) деп санадық. Шын мәнінде олай емес. Абсолют қара дене – идеал түрде сәуле жұтқыш (ол өзіне түскен сәулені толығымен жұтады) және идеал сәуле шығарғыш (ол толқынның барлық диапазонында сәуле шығарады). Күн және басқа жұлдыздарды қоса алғанда энергия шығаратын барлық нақты денелерді белгілі бір шектелген дәлдікпен ғана абсолют қара дене деп қарауға болады. Температура неғұрлым жоғары болса, толқын ұзындығы соғұрлым (λ_{\max}) кіші болатындығы көрінеді. Дәлірек айтқанда, бұл тәуелділік *Вин заңымен* өрнектеледі:

$$\lambda_{\max} = \frac{0,29}{T} \quad (5.11)$$

мұндағы λ - сантиметрмен алғандағы толқын ұзындығы, T – кельвинмен алғандағы абсолют температура. Күн сәулесінің максимал мәні $\lambda_{\max} = 4,7 \cdot 10^{-5}\text{см}$ толқын ұзындығына келеді (Күн жүзінің сары түсті болуы осыдан).

6000K температурада Күн заты газ тәріздес күйге енеді, әрі кейбір химиялық элементтердің атомдары иондалған болады. Тереңдеген сайын температура өседі де (Күн орталығында $1,5 \cdot 10^7\text{K}$ жетеді), онымен бірге иондалған атомдар саны артады. Сондықтан да Күн затының негізгі күйі *плазма*, ал *Күн дегеніміз қызған плазмалық шар*.

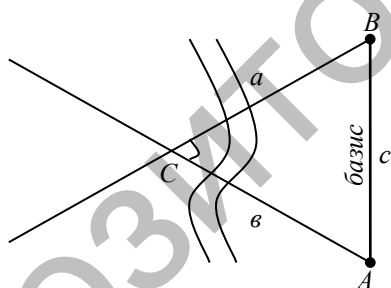
Күннің химиялық құрамы. Күн спектрі көптеген жіңішке күңгірт жұту сызықтармен айғыздалған (алғаш осы сызықтарды 1814ж. бақылап және суретін салған неміс оптигі И. Фраунгофер

күрметіне олар Фраунгофер сызықтары деп атады) біртұтас үздіксіз спектр.

Күн спектріндегі сызықтарды зертханалық жағдайларда зерттелген химиялық элементтердің спектрлеріндегі сызықтармен сәйкестеу Күн атмосферасының құрамын анықтауға мүмкіндік береді. Күн құрамында 70-тен аса химиялық элементтер табылған. Күнде Жерлік емес еш элементтер жоқ. Күндегі ең көп тараған элементтер – *сутегі* (Күн массасының 70%-на таяу) және *гелий* (28%-дан астам). Гелий алғаш Күнде ашылды, тек 30 жылдан соң оның Жерде де бар екендігі анықталды.

5.2 Күн жүйесіндегі денелердің арақашықтықтарын анықтау

Арақашықтықтарды шырақтардың параллактары бойынша анықтау. А нүктесінен С нүктесіне дейінгі тікелей баруға болмайтын қашықтықты анықтау керек болсын (5.1-сурет). Бұл үшін қандай да бір баруға болатын В нүктесіне

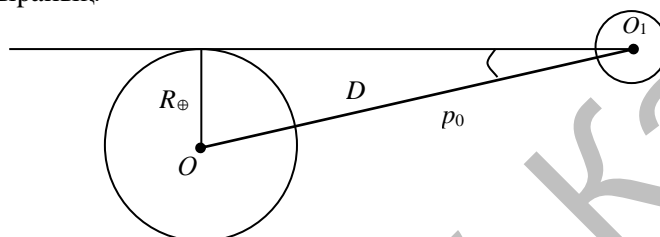


5.1-сурет. Ара қашықтықты параллактар бойынша анықтау

дейінгі ара қашықтық анықталады. АВ кесіндісі базис деп аталады. Ары қарай А және В нүктелерінен бұрыш өлшейтін геодезиялық құралмен САВ және АВС бұрыштарын өлшейді. Сөйтіп, АВС үшбұрышында оның бұрыштары мен $AB = c$ қабырғасы белгілі болады. Қисық бұрышты АВС үшбұрышының қалған

элементтерін тригонометрия формулалармен есептеп шығаруға болады. Баруға болмайтын жерден базис көрінетін АСВ бұрышын *параллакс* деп атайды. Осындай затқа дейінгі қашықтықта базис үлкен болған сайын параллакс та үлкен болады.

Күн жүйесі аумағында Жердің *экваторлық радиусы* базис ретінде қолданылады. O_1 шырағының орталығы, Жердің орталығы O және бақылаушының тұрған орнын білдіретін K нүктесі төбелері болатын тікбұрышты үшбұрышты (5.2-сурет) қарастырайық.



5.2-сурет. Шырақтың көкжиектік параллакс

Суретте көрсетілгендей, бақылаушы шырақты көкжиектен көріп тұр. Көкжиекте тұрған шырақтан p_0 бұрышымен көрінуге тиісті Жердің экваторлық радиусын шырақтың *көкжиектің экваторлық параллакс* деп атайды. Егер көкжиектік параллакс (p_0) табылған болса, шыраққа дейінгі қашықтық мына формула бойынша есептеліп шығарылады:

$$D = \frac{R_{жс}}{\sin p_0} \quad (5.12)$$

мұндағы D - Жердің орталығынан Күн жүйесінің қандай да бір денесінің орталығына дейінгі қашықтық, $R_{жс}$ - Жердің экваторлық радиусы, p_0 - шырақтың көкжиектік параллакс.

Жерге ең жақын аспан денесі – Айдың ($57'02''$) көкжиектік параллакс, ең үлкен параллакс болып табылады. Ғаламшар мен Күннің параллакстары доғаның небәрі бірнеше секундтан сызады ($p_K = 8,79''$). p_0 бұрыштары кіші болғандықтан, егер бұрыштың өлшемі радианмен көрсетілген болса, олардың синустарын бұрыштардың өзімен алмастыруға болады, яғни, $\sin p_0 = p_0$. Бірақ, p_0 әдетте доға секундтарымен көрсетіледі, өйткені 1 радиан =

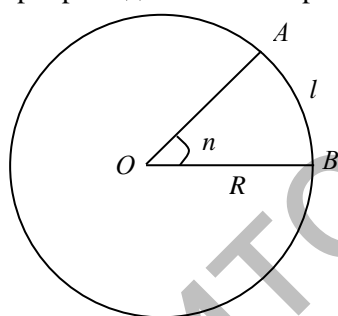
$57,3^{\circ} = 3438' = 206265''$. Осыны ескере отырып, (5.12) формуланы мына түрде жазуға болады:

$$D = \frac{206265''}{p_0} R_{жс} \quad (5.13)$$

мұндағы доға секундтарымен көрсетілген, ал D - $R_{жс}$ -ге байланысты не километрмен (егер $R_{жс}$ километрмен берілсе), немесе Жер радиусымен өрнектеледі.

Астрономиялық бірліктің мәніне Күннің $p_K = 8,79''$ параллаксы сәйкес келеді.

Күн жүйесі денелерінің өлшемдерін анықтау. Алдымен Жердің радиусын анықтау әдісімен танысамыз. Жерді радиусы R шар ретінде ала отырып, бір географиялық меридианда



5.3-сурет. Жердің радиусын есептеу

және B нүктелерінің географиялық ендіктерінің айырымына тең

болсын 1° доғасының ұзындығы $\frac{e}{n} = \frac{2\pi R_k}{360}$ болады, демек,

$$R_{жс} = \frac{180^{\circ} \ell}{\pi n} \quad (5.14)$$

Күн жүйесінің аспан денелерін бақылау кезінде олардың Жердегі бақылаушыға қандай бұрышпен көрінетінін өлшеуге

болады. Шырақтың бұрыштық радиусын ρ және шыраққа дейінгі D қашықтықты біле отырып, R сызықтық радиусты есептеп шығаруға болады:

$$R = D \sin \rho \quad (5.15)$$

(5.12) формуланы есепке ала отырып, мынаны табамыз:

$$R = \frac{\sin \rho}{\sin p_0} R_{жс} \quad (5.15')$$

ρ және p_0 бұрыштары кіші болғандықтан,

$$R = \frac{\rho}{p_0} R_{жс} \quad (5.16)$$

5.3 Кіші ғаламшарлар. Олардың ашылу тарихы

Астероидтар. XVIII ғасырда астрономдар орбитасы Марс пен Юпитер орбиталарының аарлығындағы кеңістікте жататын ғаламшарды табуға тырысты. Сол кезде ғаламшарлардың Күннен қашықтығын астрономиялық бірлікпен шамамен есептеп шығаруға мүмкіндік беретін математикалық өрнек белгілі болатын. Мұны Тициус-Боден ережесі деп атап, былай жазуға болады:

$$r = 0,3 \cdot 2^n + 0,4 \quad (5.17)$$

мұндағы r – ғаламшарлардың Күннен орташа қашықтығы (а.б.-пен), (5.17) формула бойынша есептеу үшін Меркурийдің орташа қашықтығын 0,4 а.б.-ке ($n = -\infty$) тең деп алу керек, ал басқа ғаламшарлар қашықтықтары формулаға n -нің мәндерін (0-Шолпан үшін, 1-Жер үшін, 2-Марс, 3-іздеініп отырған

ғаламшар үшін, 4-Юпитер үшін және басқалар) қойғанда шығады.

(5.17) формуланың Уранды қоса алғанда барлық ғаламшарлар үшін қанағаттанарлық мән береді, ал Нептун үшін ол жарамсыз. Бірақ XVIII ғасырда Күннен Уранға қарағанда әрірек ғаламшарлар барын ешкім білген жоқ, сондықтан (5.17) формуланы дәл деп санады. Сондықтан да (5.17) формуланы басшылыққа ала отырып, $n = 3$ және $r = 2,8a.б.$ болатын ғаламшарды іздеу керек еді. Ондай ғаламшар Күнде жүйесінде жоқ. Дегенмен де, XIX ғасырдың ең басында астроном Пиацци бірінші шағын ғаламшарды (астероид) кездейсоқ ашты. Оған *Церера* деген ат берді. Одан кейін, Марс пен Юпитер орбиталарының аралығында *астероидтар* белдеуін түзетін көптеген басқа да саны 5500-ден астам шағын ғаламшарлар табылды. Орбиталары анықталған астероидтарға реттік нөмір және атау беріледі. Оларды ұлы адамдардың, мемлекеттердің және т.б. құрметіне атады.

Астероидтар Күнді айнала үлкен ғаламшарлардың айналу бағытымен қозғалады. Олардың орбиталарының эксцентриситеті үлкен ғаламшарлар орбиталарының эксцентритетінен үлкен (орташа 0,15). Сондықтан кейбір шағын ғаламшарлар астероидтар белдеуінен сыртқа ұзап шығып кетеді. Кейбіреулері афелийінде Сатурн орбитасынан да асып кетеді, кейбіреулері перигелийінде Марсқа және Жерге жақындап келеді. Мысалы, расытханалардың бақылауы бойынша *Гермес* 1937 жылдың қазанында Жерден 580000км қашықтықтан ұшып өтті, 1949 жылы ашылған *Икар* астероиды қозғалысы барысында Меркурий орбитасының ішкі жағынан өтіп кетеді және әрбір 19 жыл сайын Жерге жақын келіп қайтады. Оның Жерге соңғы жақындауы 1987 жылдың маусым айында болды.

Астероидтарды жай көзбен бақылау мүмкін емес. Ең үлкен астероид – *Церера* (оның диаметрі 1000км). Жалпы, астероидтардың диаметрлері бірнеше км-ден ондаған км-ге дейін жетеді, оның үстіне астероидтардың көпшілігі – пішінсіз кесек тәрізді. Астероидтардың массалары олардың әртүрлілігіне қарамастан өте аз, сондықтан олар өз атмосферасын ұстап тұра

алмайды. Барлық астероидтарды жинастырғанның өзінде олардың массалары Айдың массасынан 20 еседей аз болып шығады.

5.4 Кометалар. Сыртқы түрі. Кометалардың орбиталары

Күн төңірегінде үлкен және шағын ғаламшарлардан басқа *кометалар* айналып жүреді. Жарық кометалар (құйрықты жұлдыздар) өзінің пішінімен адамдардың назарын аударып, көңілдеріне үрей туғызған. Кометалар Күн жүйесіндегі өзге денелерден өзінің ғажайып түрімен ғана өзгешеленіп қоймай, сонымен қатар орбиталары пішінімен, көлемдерінің үлкендігімен, тез дамуымен ерекшеленеді. Кометаның түрі Күнге жақындауына байланысты өзгеріп отырады. Күннен алыс кезінде комета жұлдызды аспан реңкінде жылжып қозғалатын көмескі тұманды дақ түрінде көзге шалынады. Бірте-бірте кометаның Күннен шашырап тарағандай құйрығы жайылады.

Жыл сайын орташа есеппен алғанда 6-8 комета ашылады. Олардың кейбіреулері – Күннен кезекті оралуындағы периодты кометалар. Тек ең жарық кометаларды ғана жай көзбен бақылауға болады.

Кометаның негізгі бөліктері: *басы, ядросы және құйрығы*. Кометалар ядроларының өлшемдері астероидтар өлшемдеріне жуық келеді. Кейбір құйрықты жұлдыздардың басының диаметрі жүздеген мың км-ге, ал құйрықтары ондаған және жүздеген миллион км-ге созылып жатады.

Кометалардың көпшігінің орбиталары – өте созылыңқы эллипс түрінде болады, олардың жазықтықтары эклиптика жазықтығына әр түрлі бұрышпен көлбеген. Осы орбиталар бойымен қозғала отырып, кометалары перигелийінде Күнге жақындайды, ал афелийінде одан жүздеген мың астрономиялық бірлікке алыстайды. Кометалар орбиталарының эксцентриситеті онша үлкен емес.

Кометаның массасын ол ғаламшарлардың жанынан өтіп бара жатқанда пайда болатын ұйытқуларды бақылай отырып, анықтауға болады. Мысалы, Юпитерге жақындағанда оның

айналу периоды кілт өзгеруі мүмкін, ал Юпитердің айналу периоды өзгеріссіз қалады. Ендеше, кометаның массасы Юпитердің массасынан бірнеше есе аз. Кометаның Жерге жақындау сәттері комета массасының жоғарғы шегін анықтауға мүмкіндік береді. Комета заты негізінен оның ядросына жинақталған, қатқан газ қосындыларынан, тозандардан, әртүрлі мөлшерде металл және тас бөлшектерден тұрады.

5.5 Метеориттер. Метеорлар

Метеориттер. Ғаламшарлар тартылысы әсерінен астероидтардың орбиталары өзгереді және олар бір-бірімен қиылысуы мүмкін, соның нәтижесінде астероидтардың соқтығысуы және бөлшектеніп кетуі болады. Жер бетіне құлап түскен *тас және темір метеориттердің* көшілігі – астероид бөлшектері. Мұндай бөлшектердің қозғалысы кезінде Жер атмосферасында қуатты дауыл толқын пайда болады, ондағы сығылған ауаның температурасы ондаған және жүздеген мың кельвинге жетеді. Ауа молекулаларының диссоциациялануы мен онан кейінгі қайта-қайта иондалуы нәтижесінде ауа плазмалық күйге көшеді. Ірі метеориттер құлап түскен жерде қазаншұңқырлар пайда болады. Қазаншұңқырлар Жер тобындағы барлық ғаламшарда және ғаламшарлардың көптеген серіктерінде бар. Жердегі ең ірі метеорит қазаншұңқырларының бірі Аризон штатында. Оның диаметрі 1200м-ден астам, ал оны ойып өткен метеориттің массасы шамамен 200000 тонна деп есептелді.

Метеориттердің химиялық құрамы үнемі зерттеледі. Темір метеориттер негізінен темірден (91%) және никельден (8,5%) тұрады. Тасты метеориттер жердегі тау жыныстары сияқты оттегі мен кремнийден тұрады, бірақ Жер қыртысына қарағанда магний, темір, никель сияқты металдар көп. Кейбір тасты метеориттерде көміртегі бар. Метеориттердің құрамын зерттеудің және Күн жүйесі тарихының өте ерте кезеңінде болған ғаламшарлардың жасын анықтауда және сол кездегі жай-күйлерін зерттеуде ғылым үшін құны жоғары, маңызы зор.

Метеорлар. Аққан жұлдыздар немесе метеорлар ашық айсыз түндерде біздің көңілімізді жиі аударады. Әуелден-ақ, метеорлардың жұлдыздарға еш қатысы жоқ екені белгілі болса да, метеорлардың табиғаты ғасырлар бойына жұмбақ күйінде қалып келді.

Егер де аралары ондаған шақырым екі орыннан бір мезгілде метеорды суретке түсіріп алса немесе көзбен бақылау кезінде оның аққан жолын жұлдызды картаға түсірсе, онда паралактикалық ығысудың нәтижесінде бақылаушылар метеорды әр түрлі жұлдыздар маңында белгілеген болып шығады. Паралактикалық ығысу мен бақылау жүргізілген орындардың қашықтығын біле отырып, метеордың биіктігін оңай табуға болады. Фотоапараттың алдына бір қалыпты айналатын объективке мезгіл-мезгіл жауып тұратын сектор орнатып, үзік-үзік іздің суретін түсіріп алады, сол арқылы қозғалыстағы дененің жылдамдығын анықтауға болады. Метеор – бұл метеор денесі деп аталатын, секундына 11-ден 73км-ге дейінгі жылдамдықпен Жер атмосферасына келіп енетін шағын (көлемі бұршақ дәніндей) ғарыш денесінің жарқ ету құбылысы. Жану биіктігі (120-дан 80-км-ге дейін) метеор денесінің массасы мен жылдамдығына байланысты. Метеор денесінің массасы мен жылдамдығы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым метеор жарық болады.

Метеор денесі ауа молекулалары мен өзара әсерлесе отырып, жылдамдығын жоғалтады, қызады, яғни булана бастайды, кейде бөлшектене бастайды. Оның төңірегінде қызған газдың бұлты пайда болады. Осы құбылыстардың нәтижесінде метеор денесі үнемі кішіреюмен болады, барлық метеор бөлшектері Жерге жетпей шашылып кетеді. Жер атмосферасынан ұшып өтіп бара жатып метеор денесі соңына жарық із қалдырады және ауа молекулаларын иондалған ізімен радиотолқындар шағылысып қайтады. Осының арқасында аққан жұлдыздарды тек көзбен және суретке түсірумен ғана емес, сонымен бірге радиолокациялық әдіспен де бақылауға болады.

5-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Күндегі кейбір бөлшектердің сидерлік айналу периоды 26,125 тәулік. Синодтық айналу периодын табыңыз?
2. Нептун ғаламшарынан Күндегі көрінетін жарықтың деңгейі қандай?
3. Күндегі пайдалы температура 1%-ға өссе, күндік тұрақтылық қанша пайызға өседі?
4. Егер дақ барлық фотосфераны қамтыса, күннің жарықтылығы қалай өзгерер еді?
5. Күн сақинасының ортасындағы спектрдің қай аймағында өте терең қабат көрінеді?
6. Спектрдің қандай аймағында төмен температуралық қабатты байқауға болады?
7. Фотосферада, хромосферада, хромосферадан тәжге және тәждің өтпелі қабатында градиент температуралары қандай? Осы қабаттарды биіктік шкаласы бойынша салыстырыңыз?
8. Неліктен көрінетін аймақта ең күшті күн спектр сызығы болып жеткілікті сутек емес, *H* және *K* иондалған кальция болады?
9. Құйрығы жоқ кометаны бақылау кезінде, қарапайым тұмандықтан қалай ажыратуға болады?
10. Комета Күнге периодты түрде жақындаған сайын, әрқашан өз түрін өзгеріссіз сақтап қала ала ма?
11. Комета құйрығының көрінерлік бұрыштық ұзындығы қандай шарттардан тәуелді болады?
12. Шын мәнінде жұлдыздар аспаннан түспейтінін қалай дәлелдеуге болады?
13. 60 км/сек жылдамдықпен ұшып келе жатқан салмағы 1г метеориттің кинетикалық энергиясы қандай?
14. Аспанның солтүстік жартышарында Күннің айналуы осінің аспан сферасымен қиылысу нүктесінің астрономиялық ендігі мен бойлығы неге тең?

6-тарау. ЖҰЛДЫЗДАР ФИЗИКАСЫ

6.1 Жұлдыздардың спектрлік классификациясы және химиялық құрамы

Жұлдыздар – алыстағы күндер екенін білеміз, сондықтан жұлдыздардың табиғатын зерттеуде, біз олардың физикалық сипаттамаларын Күннің физикалық сипаттамаларымен салыстыра отырып, зерттейміз.

Жұлдыздар – Ғаламда өте кеңінен таралған нысан. Олар өздерінің әртүрлігімен бір-бірінен ажыратылады. Бірақ олардың арасынан жалпы қасиеттермен сипатталатын ерекше жұлдыздар тобын бөліп алуға болады. Бұндай бөліп алу көптеген жұлдыздарды оқып үйреніп, зерттеу үшін керек. Әсіресе, соның ішінде стационар емес немесе пульсация тудыратын, яғни, жарылатын жұлдыздар тобын зерттеу қызықты. Мұндай ерекшеліктер жұлдыздардың табиғатын зерттеу үшін ғана емес, сонымен қатар жалпы Ғаламның заңдылықтарын қарастыруға мүмкіндік береді. Ал, осы айтылған ерекше қасиеттермен сипатталмайтын жұлдыздар *жсай жұлдыздар* деп аталады.

Жұлдызды аспанды бақылау кезінде жұлдыздардың түстері әр қилы екендігін байқауға болады. Қызған металдың түсі бойынша оның температурасын болжауға болатыны сияқты, жұлдыз түсі де оның фотосферасын, температурасын көрсетеді. Сәуленің максимал толқын ұзындығы мен температурасы арасында белгілі байланыс бар. Әр түрлі жұлдыздардың сәуле шығару максимумы әр түрлі толқын ұзындығына келеді.

Жұлдыздардың табиғаты туралы маңызды мәліметтерді астрономдар олардың спектрлерін талдау арқылы алады. Көпшілік жұлдыздардың спектрлері Күн спектрі тәрізді *жұту спектрі* болып табылады: үздіксіз спектр реңкінде күңгірт сызықтар байқалады.

Жұлдыздардың бір-біріне ұқсас спектрлері негізгі спектрлік кластарға топтастырылған. Олар латын алфавитінің бас әріптерімен таңбаланады: O-B-A-F-G-K-M. Енді осы спектрлік кластарға тоқталайық.

Класс О. Бұл кластағы жұлдыздардың температурасы жоғары болады. Оны үздіксіз спектрдің күлгін аймағында интенсивтіліктің үлкендігімен түсіндіруге болады және бұл жұлдыздардың түсі-көгілдір. Мұнда иондалған гелий сызығы ерекше көрінеді, көп тараған химиялық элементтер: сутегі, кремний, азот, оттегі. Фотосферасының температурасы $3 \cdot 10^4 - 55 \cdot 10^4 \text{K}$ аралығында.

Класс В. Бұл класта кейбір иондалған элементтер мен сутегі сызығы өте жақсы көрінеді. Жұлдыздардың түсі-көгілдір-ақшыл. Бұл топқа *Бикештің α -сы*, яғни, *Спика* жұлдызы жатады. Фотосферасының температурасы $1 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4 \text{K}$ аралығында.

Класс А. Сутегі сызығы үлкен интенсивтілікке жетеді. Иондалған кальций сызығы жақсы көрінеді. Жұлдыз түсі – ақ. Бұл топқа жататын ақ жұлдыздар: *Лираның α -сы Вега* және *үлкен Арланның α -сы Сүмбіле*. Олардың температурасы $7,5 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4 \text{K}$ аралығында.

Класс F. Сутегі сызықтары нашар көрінеді. Керісінше, иондалған кальций, темір, титан металдарының сызықтары көбейеді. Жұлдыз түсі – ақшыл сары. Бұл топқа жататын жұлдыз: *Кіші Арланның α -сы Процион*. Фотосферасының температурасы $7 \cdot 10^3 \text{K}$ аралығында.

Класс G. Сутегі сызықтары басқа да көптеген металдардың сызықтары-нан бөлінбейді. Иондалған кальций сызығы ерекше байқалады. Жұлдыз түсі – сары. Оған мысал – *Күн*, *Арбашының α -сы Капелла*. Олардың температура-сы 6000K шамасында.

Класс K. Сутегі сызықтары басқа металдардың интенсивтіліктерінің жоғарылығынан көрінбейді. Ұздіксіз спектрдің күлгін аймағы нашарлайды, яғни, бұдан олардың температурасының өте тез төмендегенін байқауға болады. Жұлдыз түсі – қызғылт түсті. Оған жататын жұлдыздар: *Сиыршының α -сы Арктур* және *Торпақтың α -сы Альдебаран*. Олардың температурасы $3500-4000 \text{K}$ аралығында.

Класс M. Металл сызықтары нашарлайды. Спектр молекулалық қосылыстардың жұту жолақтарымен қиылысады. Жұлдыз түсі – қызыл, температурасы 3000K -ге жуық. Оған жататын *Орионның α -сы Бетельгейзе*.

Бұл кластарды схемалық түрде былай көрсетуге болады: О-В-А-F-G-K-M. Әр спектрлік кластар ішінде жұлдыздар қосалқы тағы да он класқа жіктеледі. Мысалы, F спектрлік класында мынадай қосалқы кластар бар: F0- F9.

Сонымен, спектрлік кластар тізбегі жұлдыздардың түстері мен температуралары айырмашылығын көрсетеді. Ал олардың атмосферасының химиялық құрамы ұқсас, яғни, ең көп тараған элементтер сутегі мен гелий болып табылады. Жұлдыздар спектрлерінің әртүрлілігі ең алдымен олардың температураларының әр түрлі болуынан деп түсіндіріледі. Жұлдыздар атмосферасындағы заттардың физикалық күйі мен спектрінің түрі температураға байланысты. Жоғары емес температурада жұлдыздар атмосферасында бейтарап атомдар, яғни, молекулалық қосындылар бола алады. Өте ыстық жұлдыздар атмосферасында иондалған атомдар басым болады. Сонымен қатар, жұлдыз спектрінің түрі қысым мен фотосфера газының тығыздығымен, магнит өрісінің болуымен анықталады.

6.2 Жұлдыздардың көрінерлік және абсолюттік жұлдыздық шамасы

Жұлдызды аспанмен танысқаннан кейін, жұлдыздардың жарықтығы бірдей емес екенін түсіндік. Жұлдыздар бізден әр түрлі қашықтықтарда орналасқан және кеңістікте қозғалады. Жұлдыздардың тұрған жерін анықтау үшін бұрыштық өлшемдерін білуіміз керек. Ал, бұрыштық өлшемдерін өлшеу және олардың жарықтылығын анықтау мүмкін емес. Тек ғана жұлдыздардың сәулелік ағынын немесе олардың тудыратын жарықталынуын байқауға болады. Сондықтан, астрономияда осы жарықталынуды арнайы логарифмдік шкалада, яғни, жұлдыздық шамада өлшеу қабылданған. Ең жарық жұлдыздарды бірінші шамаға (қысқаша таңбалануы 1^m , латынның *magnitudo*-шама сөзінен), ал құралсыз көз ұшында әрең көрінетіндерін алтыншы шамаға 6^m топтастырған. 1^m жұлдыздың жылтырауы 6^m жұлдыздың жылтырауынан 100 есе артық. Олай болса,

5 жұлдыздық шамаға тең айырма жылтыраудың 100 есе айырмашылығына сәйкес келеді.

Бір жұлдыздық шамаға сәйкес жылтырау айырмашылығын көрсететін санды x деп белгілесек, онда $x^5 = 100$.

Осы теңдіктен x -тің мәнін табалық:

$5 \lg x = \lg 100$, осыдан $5 \lg x = 2$, немесе $\lg x = 0,4$, онда $x = 2,512$.

Егер жұлдыздық шамасы m_1 , жұлдыздың жылтырауын E_1 , ал жұлдыздық шамасы m_2 , жұлдыздың жылтырауын E_2 деп белгілесек, онда:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)} \quad (6.1)$$

Жылтырауы 1^m жұлдыздардың жылтырауынан артық шырақтар 0 мен теріс мәнді жұлдыздық шамада (0^m , -1^m т.с.с.) болады. Оларға бірнеше аса жарық жұлдыздар мен ғаламшарлар, сонымен қатар, Күн мен Ай жатады. Жұлдыздық шамалар шкаласы көзге көрінбейтін жұлдыздар жағына да жалғасады. 7^m , 8^m т.с.с. жұлдыздар бар.

Жұлдыздар бізден әр түрлі қашықтықтарда болғандықтан, олардың көрінерлік жұлдыздық шамалары жұлдыздардың жарқыраулығы (сәуле шығару қуаты) туралы еш нәрсе айта алмайды. Сондықтан астрономияда «көрінерлік жұлдыздық шама» ұғымымен қатар «абсолют жұлдыздық шама» ұғымы да пайдаланылады.

Күн жүйесіндегі денелерге дейінгі қашықтықтарды анықтауда параллакс әдісі қолданылатынын білеміз. Бұл тәсілді жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтауға да қолданамыз, яғни, $r = 1/p$.

Егер екі жұлдызға дейінгі қашықтық белгілі болса, онда олардың көрінерлік жұлдыздық шамасын негізге ала отырып, сәулелік ағын мен сәуле шығарудың қатынасын табуға болады. Ол үшін осы жұлдыздар тудыратын жарықталынудың ара қашықтығын білсек болды. Осы ара қашықтық ретінде 10пк алынған.

Егер жұлдыздар бірдей қашықтықта орналасқан болса, ($r_0=10\text{пк}$), онда олардың жұлдыздық шамалары *абсолют жұлдыздық шама* (M) деп аталады.

Қандай да бір жұлдыз Жерден r қашықтықта орналасқан болсын. Оның көрінерлік жұлдыздық шамасын m арқылы, ал абсолют жұлдыздық шамасын M арқылы белгілейік. Сонда (6.1) формуланы пайдаланып, мынаны жазамыз:

$$\frac{E}{E_0} = 2,512^{(M-m)}$$

мұндағы E мен E_0 – жұлдыздың жарықтандыруы. Жарықтандыру қашықтық квадратына кері пропорционал болғандықтан,

$$\frac{E}{E_0} = \frac{r_0^2}{r^2} \text{ немесе } \frac{E}{E_0} = \frac{10^2}{r^2}$$

Сондықтан

$$\frac{10^2}{r^2} = 2,512^{(M-m)}$$

логарифмдесек, бұдан табатынымыз:

$$2 - 2 \lg r = 0,4(M - m) \text{ немесе } M - m = 5 - 5 \lg r \quad (6.2)$$

онда $M = m + 5 - 5 \lg r$.

Жұлдыздың көрінерлік жұлдыздық шамасы және оған дейінгі қашықтық белгілі болса, онда (6.2) формула бойынша оның абсолют жұлдыздық шамасын есептеуге болады.

6.3 Жұлдыздардың жарқырағыштығы, массасы мен радиусы

Жұлдыздардың жарқырағыштығы. Жұлдыздар да Күн тәрізді энергияны электромагниттік тербелістің барлық толқын ұзындығы диапазонында шығарады. Жарқырағыштық – жұлдыздың сәуле шығаруының жалпы қуатын анықтайтын және оның ең басты сипаттамаларының бірі болып табылады. Жарқырағыштық жұлдыз бетінің (фотосферасының) ауданына (радиустың квадратына) және эффективті температураның төртінші дәрежесіне тура пропорционал, яғни,

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (6.3)$$

Жұлдыздың абсолюттік температурасы мен жарқырағыштығын байланыстыратын формула (6.1) формулаға ұқсас

$$\frac{L_1}{L_2} = 2,512^{(M_2 - M_1)} \quad (6.4)$$

мұндағы L_1 мен L_2 – екі жұлдыздың жарқырағыштығы, M_1 мен M_2 – олардың абсолюттік жұлдыздық шамалары.

Егер бір жұлдыздың орнына Күнді алсақ, онда

$$\frac{L}{L_*} = 2,512^{(M_* - M)} \quad (6.4')$$

мұндағы индексіз әріптер кез келген жұлдызға, белгісі барлар Күнге сәйкес. Күн жарқырағыштығын бірлік ретінде алсақ, онда (6.4') формуласы мына түрге келеді:

$$L_* = 2,512^{(M_* - M)}$$

немесе

$$\lg L = 0,4(M_* - M) \quad (6.5)$$

болады. (6.5) формула бойынша кез келген абсолют жұлдыздық шамасы белгілі жұлдыздың жарқырағыштығын есептеуге болады.

Жұлдыздардың жарқырағыштығы әр қилы, көпшілігінің жарқырағыштығы Күн жарқырағыштығы қатарында немесе одан кіші. Сонымен қатар, жарқырағыштығы Күннен жүздеген, тіпті мыңдаған есе артық жұлдыздар да белгілі. Мысалы, α Торпақтың (Альдебаран) жарқырағыштығы Күн жарқырағыштығынан 160 есе артық ($L=160L_{\odot}$), β Орионның (Ригель) жарқырағыштығы ($L=80\,000L_{\odot}$).

Жұлдыздар радиустары. Егер жұлдыздың жарқырағыштығы мен температурасы белгілі болса, онда (6.3) формуланы қолдана отырып, жұлдыздың радиусын және фотосферасының ауданын есептеуге болады.

Көптеген жұлдыздардың радиусын анықтай отырып, астрономдар өлшемдері Күн өлшемінен едәуір өзгеше болатын жұлдыздар бар екеніне көз жеткізді. Ең үлкен өлшем *аса алып жұлдыздарда*. Олардың радиустары Күн радиустарынан жүздеген есе үлкен. Радиусы Күн радиусынан ондаған есе үлкен жұлдыздар *алыптар* деп аталады. Өлшемдері Күн шамалас немесе одан кіші жұлдыздар *ергежейлілер* деп аталады.

Жұлдыздар массалары. Жұлдыздар өмірінің соңғы кезеңі, оның бүкіл дамуы сияқты, жұлдыз массасына тікелей байланысты. Күнге ұқсас жұлдыздардың сыртқы қабаттары біртіндеп ұлғаяды да, ақыр аяғында жұлдыз ядросынан мүлдем ажырайды. Алыптың орнында кішкене және ыстық ақ ергежейлілер көптеп саналады. Массасы бұдан неғұрлым зор жұлдыздардың тағдыры өзгеше. Егер жұлдыз массасы Күн массасынан шамамен екі есе көп болса, онда мұндай жұлдыздар өздерінің даму сатысының соңғы кезеңінде орнықтылығын жоғалтады. Олар жұлдызаралық ортаны ауыр химиялық элементтермен байыта отырып, аса жұлдыз ретінде

қопарылулары, содан соң радиусы бірнеше километрлік шарларға дейін қатты сығылулары, яғни, нейтрон жұлдыздарға айналуы мүмкін. Жұлдыздар массалары – олардың ең басты сипаттамаларының бірі. Жұлдыз массалары әр түрлі. Бірақ жарқырағыштықтары мен өлшемдеріне қарағанда жұлдыз массалары едәуір мөлшерде шектеулі, ең ауыр деген жұлдыздар әдетте Күн массасынан бар болғаны ондаған есе үлкен де, ал кіші массасы $0,06M_{\odot}$.

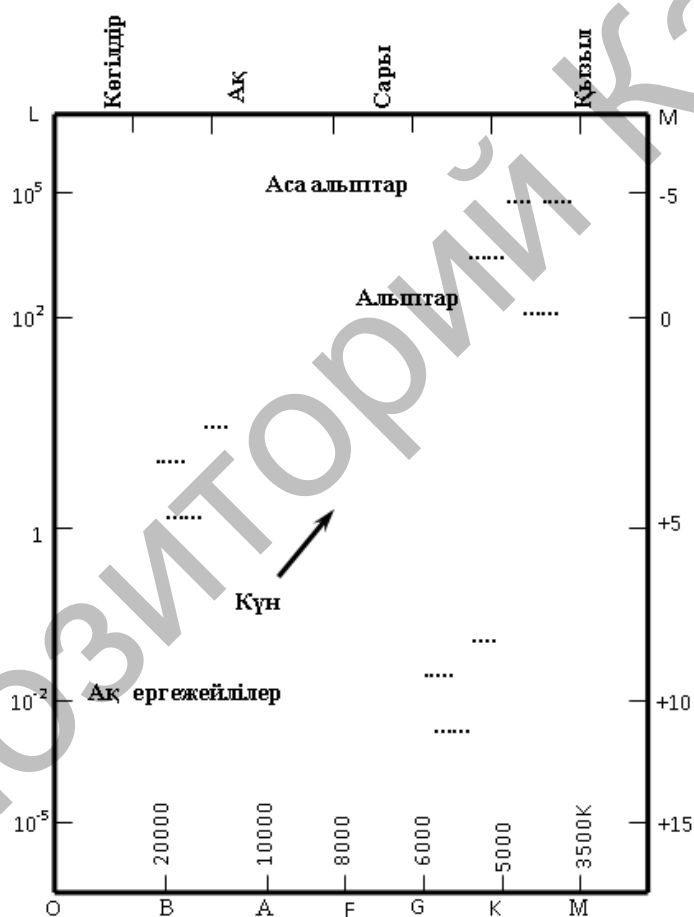
6.4 Спектр-жарқырағыштық және масса - жарқырағыштық диаграммасы

Спектр-жарқырағыштық. Жұлдыздардың әр түрлі физикалық сипаттамалары арасында байланыс бар.

XX ғасырдың басында дат астрономы Э.Герцшпрунг пен американдық астрофизик Г.Ресселл жұлдыздардың спектрлері, яғни, температуралары мен жарқырағыштықтары арасында тәуелділік бар екендігін байқады. Бақылау нәтижесінде алынған бұл тәуелділік 6.1-диаграммада келтірілген, көлденең осьте жұлдыздың спектрлік класы (не температурасы), ал тік осьте – жарқырағыштық (абсолюттік жұлдыздық шама) салынған. Осы диаграмма *спектр-жарқырағыштық немесе Герцшпрунг-Ресселл диаграммасы* деп аталады.

Әр жұлдыздардың диаграммада орналасуы олардың физикалық табиғатына байланысты. Герцшпрунг-Ресселл диаграммасында әр жұлдызға бір нүкте сәйкес келеді. Егер спектрлік кластары мен жарқырағыштықтары бір-біріне тәуелсіз физикалық сипаттамалар болса, онда диаграммадағы нүктелердің орналасуында заңдылық болмас еді. Диаграмманың жоғарғы жағында спектрлік кластар, ал төменгі жағында олардың сәйкесінше температуралары келтірілген. Оң жағында жұлдыздардың жарқырағыштықтары, сол жағында олардың абсолюттік жұлдыздық шамалары көрсетілген. Жұлдыздардың басым көпшілігі ыстық аса алыптардан суық ақ ергежейлілерге дейін созылып жатқан бас тізбекте орналасады. Күн бас тізбекке жатады. Жоғарғы жағында орналасқан жұлдыздар жоғарғы

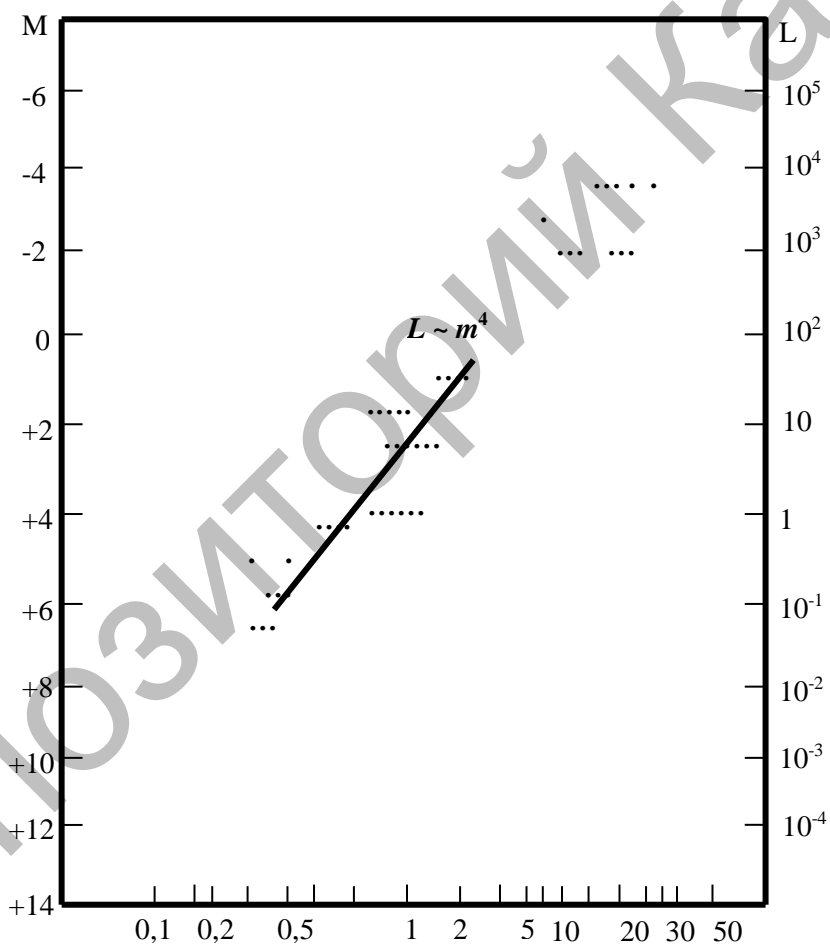
жарқырағыштыққа, ал төменгі жағындағы жұлдыздар төменгі жарқырағыштыққа ие болады. Бас тізбекті қарастыра отырып, ондағы жұлдыз неғұрлым ыстық болса, оның жарқырағыштығы соғұрлым жоғары болатынын байқаймыз. Жалпы жұлдыздар диаграммада бірқалыпты таралмаған, осыдан біз жұлдыздардың жарқырағыштығы мен температурасы арасында байланыс бар екенін көреміз.



6.1-сурет. Герцшпрунг-Ресселл диаграммасы

Спектр-жарқырағыштық диаграммасы жұлдыздар дүниесіндегі басты заңдылықты көрсетеді. Астрономдар оның эволюциясын зерттеуде осы заңдылыққа жүгінеді.

Масса-жарқырағыштық диаграммасы. Жұлдыздардың массасы мен жарқырағыштықтары арасында байланыс бар. Ол үшін бір осінде жұлдыз массасы, ал басқа осінде олардың жарқырағыштығы салынған 6.2-диаграммасы көрсетілген.



6.2-сурет. Масса-жарқырағыштық диаграммасы

Диаграммадан жұлдыз массасы неғұрлым үлкен болған сайын, оның жарқырағыштығы да жоғары болатынын көреміз, яғни, тік сызық келтірілген. Жарқырағыштық жұлдыз массасының төртінші дәрежесіне пропорционал ($L \sim m^4$). Бұл берілген жұлдыз бен массасы арасында эмпирикалық байланыс бар екенін көрсетеді.

Сонымен, спектр - жарқырағыштық диаграммасын жұлдыздардың күйін қарастыратын диаграмма деп айтуға болады және оның көмегімен күрделі есептерді шығарады.

6-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Минимум дәуіріндегі айнымалы жұлдыздың жұлдыздық шамасы қандай мәнге ие? Ал максимумы ше?
2. Уақыт өте келе ақ ергежейлі қойнауындағы қысымы қалай өзгереді?
3. Ақ ергежейлінің орташа жылу сыйымдылығы қандай?
4. Ақ ергежейлілердің басқа жұлдыздардан айырмашылығы қандай?
5. Егер Күн қара құрдым болса, қандай радиусқа ие болар еді?
6. Герцшпрунг-Ресселл диаграммасында спектрлік қос жұлдыз қалай орналасуы тиіс?
7. Қандай шоқжұлдыз екі бөліктен тұрады?
8. Жұлдызды аспанның қай бөлігінде жазғы және қысқы үшбұрыштар орналасқан?
9. Қандай жұлдызда ең алғаш қозғалыс кеңістігі анықталды?
10. Қандай жұлдыздарда ең кішкентай айналу кезеңдері бар?
11. Темірге дейінгі әр түрлі химиялық элементтерден тұратын қандай жұлдыздар орталық қабаттарды құрайды?
12. Жұлдыз ядросын бақылауға болады ма?
13. Қандай жарық жұлдыздың жасы бар болғаны Жердің жасынан 1/1500 құрайды?
14. Қандай жұлдыздар ұзағырақ өмір сүреді: шағын немесе үлкен салмақты?

7-тарау. БІЗДІҢ ГАЛАКТИКА

7.1 Біздің Галактикаға тиісті объектілер. Құс Жолы. Тұмандықтар

Күздің Айсыз түні бүкіл аспанда созыла орналасқан жарық жолақ жақсы байқалады. Бұл ертеде өзінің түсіне сай *Құс жолы* деп аталған. Оған дүрбі немесе телескоппен қарасаңыз, онда Құс жолының жорығы құралсыз көзге көрінбейтін көп сан жұлдыздардан тұратынына көзімізді жеткізуге болады. Құс жолы бүкіл аспанда белдеулей орналасқан, оның нақты шекарасы жоқ,



7.1-сурет. Құс жолы

әр бөлігінің ені мен жарықтылығы әр қилы. Құс Жолында сығыңқы пішінді орасан зор жұлдыздық жүйе Галактиканың көпшілік жұлдыздары орналасқан. Галактиканың бір жұлдызы болып табылатын Күн галактика жазықтығы деп аталатын оның симметрия жазықтығына таяу орналасқан. Сондықтан

Галактиканың көпшілік жұлдыздары аспан сферасына бейберекет емес, Құс Жолы жолағының ішінде проекцияланады (7.1-сурет).

Тұмандықтар. Телескоппен қарағанда әртүрлі шоқжұлдыздардан негізінен газ бен тозаңнан тұратын тұманды дақтарды тұмандықтарды көруге болады.

Олар да біздің Галактиканың құрамына кіреді. Бұрыс, түбіт пішінді тұмандықтарды *диффузиялық* деп, ал дұрыс пішінді және шағын телескопта, кейпі ғаламшарларға ұқсастықтарды *планетар* (жұмыр) тұмандықтар деп атайды. Егер үлкен газ-тозаңды бұлт шаңында жарық жұлдыз бар болса, онда тұмандық осы жұлдыздың сәулесін шағылыстырып немесе қайыра шығарып, жарық диффузиялық тұмандық ретінде көрінетін болады.

Жарық диффузиялық тұмандыққа мысал – Үшарқар-Таразы шоқ жұлдызындағы үлкен газ-тозаңды тұмандық. Оған дейінгі қашық 500пк-ке жуық, тұмандықтың орталық бөлігінің диаметрі бпк, массасы шамамен Күн массасынан 100 есе үлкен. Өзінің



7.2-сурет. Диффузиялық тұмандық

селдір газ талшықтардан құралған әдеттен тыс торлы кескініне сай Шаян тәрізді тұмандық деп аталған аса үлкен емес диффузиялық тұмандық қызықтырарлықтай (7.2-сурет). Бұл тұмандық 1054 жылы Торпақ шоқжұлдызында от алған аса жаңа жұлдыз қалдығы екені анықталды. Демек, Шаян тәрізді тұмандықтың жасы 950 жылдан кіші. Шаян тәрізді тұмандық бізден 1,5кпк-тен қашықтықта.

Оның диаметрі 1пк шамасында, бүкіл талшықтарының массасы Күн массасының 0,1 бөлігіндей тұмандық 1000 км/с жылдамдықпен ұлғаяды. Шаян тәрізді тұмандық – ғарыш нысандарының сирек таралғандарының бірі. Ол тек оптикалық сәуленің көзі ғана емес, сонымен қатар, радиосәуле, рентген және гамма-кванттарының көзі болып табылады. Бұған қосымша, ең соңында, Шаян тәрізді тұмандықтың орталығында лүпілдек (пульсар) орналасқан. Оның бір тамашалығы сол, 1969 жылы радиосәуле лүпілімен қатар, алғаш рет жылтыраудың оптикалық лүпілі және рентген сәулелік лүпіл де мәлім болды. Орасан зор магнит өрісі бар лүпілдек электрондарды үдетеді және электромагниттік толқын спектрінің әр түрлі бөліктерінде тұмандықтың сәуле шығаруын тудырады. Планетар тұмандықтың мысалы – Лира шоқжұлдызындағы тұмандық. Планетар тұмандықтың орталығында ыстық жұлдыз орналасқан. Планетар тұмандықты құрайтын газ кезінде осы жұлдыз атмосферасының құрамына кірген. Жұлдыздың қысқа толқынды сәулесі планетар тұмандықтың газында көрінерлік сәуле ретінде қайыра шығарылады. Негізінен тозаңнан тұратын тұмандықтар

жұлдызды аспан фото суреттерінде күнгірт дақтар ретінде ерекшелінеді. Күнгірт тұмандықтардың көпшілігі бізге біршама жақын орналасқан, олар арғы жағындағы жұлдыздардың жарығын қатты жұтады.

Жұлдыздардың аспан кеңістігінде орналасуын білу үшін оларға дейінгі ара қашықтықты білу қажет. Ал осы жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтаудың негізгі әдісі, олардың жылдамдық параллаксін өлшеу. Бірақ бұл параллакс әдісін тек жақын жұлдыздарға ғана қолдануға болады. Шынында да, астрономиялық әдістер арқылы өлшеуге болатын шекті бұрыштар $0''$, 01 -ге жуық болып келеді. Осыдан, егер бақылаудың нәтижесінде жұлдыздың параллаксін $\pi = 0'', 02 \pm 0'', 01$ болса, онда оған дейінгі ара қашықтық мына формуламен анықталып,

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ пк}$$

алынатын мәндер 30-дан 100пк аралығында болады да, сәйкес параллаксін анықтауда қателіктер болуы мүмкін. Бізге жақын жатқан объектілер үшін бұл қателіктер аз болады. Мысалы, α Центаврдың бізге жақын жұлдызына дейінгі қашықтық $1,33$ пк, бірақ бұл мәнің өзі 2% қателікпен табылған. Ал бізден 100пк-тен жоғары қашықтықтағы жұлдыздар үшін ара қашықтықты анықтау кезіндегі қателік ара қашықтықтың өзінен үлкен болады, сондықтан бұл жағдайларда параллакс әдісі жарамсыз болып қалады. Қазіргі уақытта тригонометриялық параллакс 6000 жұлдыз үшін ғана өлшенген. Жұлдыздарға дейінгі қашықтық олардың жарықтылығы белгілі болған жағдайда ғана табылуы мүмкін, өйткені көрінерлік және абсолютті жұлдыздық шамаларының айырмасы ара қашықтықтың модуліне тең, оны мына өрнектен көруге болады.

$$lg = 1 + 0,2(m - M) .$$

Сонымен бірге, белгілі бір жұлдыздардың шоғырына дейінгі арақашықтықты анықтауға болады. Егер ең болмағанда жұлдыздардың біреуінің сәулелік жылдамдығы v_r белгілі болса, онда барлық шоғырдың жылдық параллаксін есептеп табуға болады, оны топтық параллакс деп атайды да, мына формула бойынша есептейді:

$$\pi = \frac{4,74 \mu}{v_r \operatorname{tg} q}$$

мұндағы: μ – меншікті қозғалысы, ал q – апекс пен осы жұлдызға бағыттауыштың арасындағы бұрыш.

7.2 Жұлдыздардың Галактикада таралуы

Жұлдыздарға дейінгі арақашықтықты білу олардың кеңістікте таралуын, сәйкесінше Галактиканың құрылысын оқып білуге мүмкіндік береді. Галактиканың әр бөлігіндегі жұлдыздардың санын білу үшін, жұлдыздық тығыздық ұғымы енгізілген. *Жұлдыздық тығыздық* деп – кеңістіктің бірлік көлемінде орналасқан жұлдыздар санын айтамыз. Әдетте, бірлік көлемге 1 куб парсекті (1 пк³) алады. Күннің маңайында жұлдыздық тығыздықты табу оңай болып келеді, өйткені бізге жақын жұлдыздардың тригонометриялық параллаксін белгілі. Есептеулердің нәтижесі Күннің маңындағы жұлдыздық тығыздық 0,06 жұлдызға жуық екенін көрсетті, басқаша айтқанда, әрбір жұлдызға орташа алғанда 16пк³ көлем сәйкес келеді, ал жұлдыздардың орташа ара қашықтығы – 2,5 пк-ке жуық. Әр түрлі бағыттағы жұлдыздық тығыздықтың өзгеруін білу үшін, аспанның әр бөлігіндегі бірлік ауданға сәйкес келетін жұлдыздар санын есептейді. Бұдан бірден көзге түсетіні Құс Жолына жақындаған сайын жұлдыздардың концентрациясының өсуі, ал полюстерге жақындаған сайын, керісінше, күрт азаюы. Бұл айғақтар XVIII ғ. В.Гершельдің біздің жұлдыздық жүйенің тұтас пішінді екені деген қорытынды шығаруына әкелді. Екіншіден,

көрінерлік жұлдыздық шамасы $m \leq k$ болатын жұлдыздардың санын, содан соң жұлдыздардың санын N_{k+1} ($m \leq k+1$ болғанда) т.с.с анықтасақ, онда көрінерлік жұлдыздық шаманың артуымен, жұлдыздардың саны N_m геометриялық прогрессия бойынша өсетінін байқауға болады. Осыдан көрінерлік жұлдыздық шамасы m – ға тең немесе кіші барлық жұлдыздар шарлық сектордың ішінде орналасқан, оның радиусы мына формуламен анықталады:

$$\lg r_m = 1 + 0,2(m - M)$$

мұнда біз барлық жұлдыздар үшін абсолютті жұлдыздық шама M бірдей деп аламыз. $m + 1$ шартын қанағаттандыратын шарлық сектордың радиусы тура осындай болады. Ал, сол өрнектерді бір-біріне бөлсек, мынандай өрнек шығады:

$$\lg \frac{r_{m+1}}{r_m} = 0,2.$$

Жұлдыздық тығыздық тұрақты болған кезде жұлдыздардың саны кеңістіктің көлеміне, яғни радиустың кубына пропорционал болу керек.

Сондықтан

$$\lg \frac{N_{m+1}}{N_m} = 0,6$$

немесе

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} \approx 4$$

Бірақ бақылаулардан көрінетіні, m өскен сайын жұлдыздар санының артуы онша тез болмайды, ал нақты айтқанда, m – нің аз шамалары үшін $\frac{N_{m+1}}{N_m}$ қатынасы 3-ке жақын, ал m өскен сайын ол азаяды. Егер барлық жұлдыздардың жарықтылығы бірдей болса,

онда $\frac{N_{m+1}}{N_m}$ қатынасы бойынша Күннен алыстаған сайын жұлдыздық тығыздықтың өзгеруін оңай анықтауға болар еді. Шынында да, $\frac{N_{m+1}}{N_m} \approx 4$ болғанда, ара қашықтықтың 1,6 есе өсуіне байланысты жұлдыздық тығыздық тұрақты болар еді, ал $\frac{N_{m+1}}{N_m} = 3$ болғанда, 3:4 қатынасы бойынша кемитін еді. Осыдан әр түрлі бағыттағы және әр түрлі қашықтықтағы жұлдыздық тығыздықты біле отырып, Галактиканың құрылысын келтіруге болады. Одан оның *Галактика жазықтығы* деп аталатын негізгі жазықтыққа қатысты симметриялы болып келетін жүйе екенін байқауға болады. Аспан сферасымен қиылысып жатқан дөңгелек *галактикалық экватор* деп аталады. Ол Күс Жолының ортаңғы сызығымен беттесіп жатыр. Осы жүйенің ортасы – *Галактиканың орталығы*. Күн жүйесінен қараған кезде Мерген шоқжұлдызындағы координаталары $\alpha = 265^\circ$ және $\delta = -29^\circ$ нүктеге проекцияланады. Галактиканың орталығына қарай, сонымен бірге, оның жазықтығына жақындаған сайын жұлдыздық тығыздық артады. Бұдан жұлдыздардың Галактикада таралуының екі негізгі бағытын көреміз. Біріншіден, галактика жазықтығына қарай концентрацияның артуы; екіншіден, Галактика орталығына қарай концентрацияның артуы. Соңғы бағыт ядроға немесе Галактиканың орталық шоғырына жақындаған сайын арта түседі. Күнгірт тозаң бұлттар ядроны бізден көлегейлеп, Галактиканың ең қызықты объектісіне бақылау жүргізуге бөгет жасайды. Осыдан, жұлдыздық тығыздықтың кемуі байқалатын тұстардың арақашықтығын анықтай келе, Галактиканың өлшемі туралы және жуықтап Күннің қай жерде орналасқаны туралы мәліметтер аламыз. Күн Галактиканың орталығынан жуықтап 10000пк (10кпк) қашықтықта жатқаны анықталған, ал оның орталыққа қарсы бағытындағы шекарасы Күннен 5000пк қашықтықта. Осыдан Галактиканың диаметрі 30кпк-ті құрайды. Галактиканың өлшемін нақты көрсету мүмкін емес, себебі, оның орталығынан алыстаған

сайын жұлдыздық тығыздық біртіндеп кеми береді, сондықтан белгілі бір шекарасы жоқ. Ал, Күн Галактика жазықтығының маңында орналасқан, яғни одан солтүстікке қарай 10кпк қашықтықта.

7.3 Жұлдыздық шоғырлар

Жұлдыздар немесе жұлдыз шоғырлары құрамындағы жұлдыздар саны 10^{12} (триллион) шамасында. Ең көп тараған жұлдыздар массалары Күн массасынан 10 еседей кем ергежейлілер. Жалғыз жұлдыздар мен олардың серіктерімен қатар Галактика құрамына қос және еселі жұлдыздар, сондай-ақ өзара тартылыс күштерімен байланысқан және кеңістікте біртұтас болып қозғалатын жұлдыз топтары, жұлдыз шоғырлары кіреді. Олардың қайсыбіреулерін аспаннан телескоп арқылы табуға болса, ал кейде мысалы Торпақ шокжұлдызындағы Үркер жұлдыз шоғырын құралсыз көзбен көруге болады (7.3-сурет). Бұл *шашыранды жұлдыз шоғыры*. Мұндай шоғырлардың дұрыс пішіні жоқ, олардың осы кезде мыңнан астамы белгілі. 7.4-суретте шашыранды шоғырға мүлдем ұқсамайтын жұлдыз шоғыры бейнеленген. Бұл Геркулес шокжұлдызындағы *шарлы жұлдыз шоғыры*. Шашыранды шоғырларда жүздеген немесе мыңдаған жұлдыз болса, шарлы шоғырларда олар жүз мыңдап саналады. Мұндай шоғырларда тартылыс күштері жұлдыздарды миллиардтаған жылдар бойы ұстап тұрады. Қазіргі уақытта 150-ге тарта шарлы шоғырлар белгілі. Арнаулы жасанды Жер серіктерінде орнатылған рентген телескоптары арқылы



7.3-сурет. Шашыранды шоғырлар



7.4-сурет. Шарлы шоғырлар

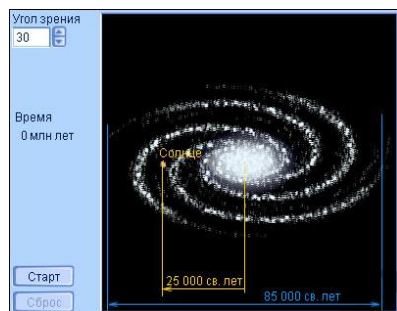
атқарылған аспанда шолу көптеген шарлы шоғырлардың рентген сәулесін шығаратындығын дәлелдеді.

Жұлдыздардың шоғыры деп – құрамындағы объектілердің саны көп және өздерінің түрімен, жұлдыздық құрамымен ерекшеленетін, бір-бірімен байланысқан жұлдыздардың тобын айтамыз. Сыртқы түріне байланысты жұлдыздық шоғырлар екі топқа бөлінетіні белгілі, олар: *шашыранды* және *шарлы шоғырлар*. Шашыранды жұлдыздардың шоғырлары Галактика жазықтығының маңында кездеседі. Күннен радиусы бірнеше килопарсекке тең аралықта барлығы 800-ден астам ғана осындай объектілер белгілі. Тым алыстағы шашыранды шоғырларды байқау қиын. Қазір белгілі шашыранды шоғырлардың Галактиканың қандай көлемін алып жатқанын есептей келе, олар біздің жұлдыздық жүйеде бірнеше мың ғана болу керектігі анықталды. Ең белгілі шашыранды шоғырлар бізден 130пк қашықтықтағы Плеядалар және бізден 40пк қашықтықтағы Гиадалар. Шоғырлардың маңында орналасқан, бірақ оған кірмейтін жұлдыздарды шоғырлардан бөліп алу үшін спектр-жарықтылық диаграммасын құруға болады. Әдетте, шоғырлар үшін түс көрінерлік жұлдыздық шама диаграммасын құрайды. Шашыранды жұлдыз шоғырларына қарағанда шарлы жұлдыз шоғырлары, оған кіретін жұлдыздар, соның көптігіне және өзінің анық сфералық немесе эллипстік пішіндеріне байланысты, қоршаған фонда ерекше бөлініп көрінеді. Бұл шарлы шоғырлар бізге жақын басқа да Галактикалардан табылған. Мәселен, Магеллан бұлттарында Андромеда тұмандықтарда табылған. Ең жас және кең көлемді шашыранды жұлдыздық шоғырларды жұлдыздық ассоциациялар деп атайды. О – ассоциацияларына спектрлік кластары О және В болып келетін ыстық жұлдыздар топтастырылған. Олар өздерінің өлшемдері бойынша қарапайым жұлдыз шоғырларынан көп есе үлкен болады, тіпті 10 және 100 пк-ке дейінгі кеңістікті алады. Ассоциациялардың басқа типі Т Торпақ типті жас жұлдыздардан тұрады, сондықтан оларды Т – ассоциациялар деп атайды.

7.4 Галактиканың айналысы

Әдетте, Күннің қозғалысы апексін ең жақын жұлдыздар бойынша анықтайды. Күнді оны қоршаған алыс жұлдыздармен бірге қарастырайық. Осы барлық жұлдыздар тобының қозғалысы бәріне ортақ болсын дейік (7.5-сурет).

Егер осы топқа кіретін жұлдыздардың барлығы бірдей жылдамдықпен қозғалса, онда ешбір әдіспен бұл қозғалысты аңғару мүмкін емес. Енді қарастырылып отырған аймақтағы қозғалыс (мысалы, солдан оңға қарай) сызықтық жылдамдықтың



7. 5-сурет. Галактиканың айналысы

белгілі бір бағытта біртіндеп өсуі байқалсын деп алайық. Егер қарастырылып жатқан аймақ сол жақта орналасса, нүктені айнала қозғалса, жылдамдықтың бұндай таралуы болады. Енді S нүктесінен әр түрлі бағытта бақылағанда жұлдыздардың сәулелік жылдамдықтары қандай болатынын қарастырайық. S нүктесінен оңға және солға қарай бақылағанда сәулелік жылдамдықтар нөлге тең болады, себебі, бұл бағыттар бойынша қозғалыс мүлдем болмайды. Бұларға перпендикуляр бағытта да осындай мәнге ие болады, бірақ оның себебі, Күннің векторлық жылдамдығы мен барлық жұлдыздардың жылдамдықтары бірдей болады. Ал басқа барлық бағыттарда сәулелік жылдамдықтар байқалады және олар 45° құрған кезде өздерінің ең үлкен мәндеріне жетеді. Осыдан, Күнмен бірге барлық жұлдыздар Галактиканың орталығына қатысты перпендикуляр қозғалады. Бұл қозғалыс Галактиканың жалпы айналысының нәтижесі болып табылады. Күн және оның маңындағы жұлдыздар Галактиканың орталығына қатысты толық айналысты жуықтап 230 млн. жылда өтеді. Осы уақыт аралығын *галактикалық жыл* деп атайды.

Жұлдызаралық тозаңдар мен газдар. Аспан күмбезінің суретінде, әсіресе, Құс Жолы маңында жұлдыздардың таралуы біркелкі еместігін байқауға болады. Кейбір жерлерде қоңыр бұлыңғырлар көрінеді. Осылардың мысалы ретінде «Ат басы» және «Көмір қабы» бұлыңғыр тұмандықтарын алуға болады. «Көмір қабы» тұмандығы бізге жақын орналасқан және 150пк қашықтықта, осыған сәйкес оның өлшемдері 8пк-ке жуық. Бұл тұмандықтар аспанда қара дақ тәрізді болып келеді. Телескоппен қарағанда ондағы әлсіз жұлдыздар ғана көрінеді, және олардың саны маңайындағы аймақтарға қарағанда 3 есе аз болады, осыған сәйкес (мысалы, «Көмір қабы») алыстағы жұлдыздардың жарығын жұтып, жалпы жарықтың мөлшерін 3 есе азайтады. Галактиканың жазықтығына қарай жарықты жұту жоғары болады. Кейбір жағдайларда жақын орналасқан ыстық емес жұлдызбен жарықталынған тозаңды тұмандықтарды көруге болады. Бұл тұмандықтарды шағылдырғыш тұмандықтар деп атайды. Себебі, бұларда жарықталыну жұлдыздардың сәулелі тозаңдардан шағылуы арқылы пайда болады. Жұлдызаралық бұлттардың тығыз тұмандықтарға сығылуы соңында жұлдыздардың пайда болуына әкеледі. Бірақ бұл кезде тозаңға қарағанда жұлдызаралық ортадағы газдардың рөлі жоғары болады. Өйткені, жұлдызаралық газдың мөлшері тозаңға қарағанда 100 есе көп.

Газды тұмандықтар. Ең белгілі газды тұмандық Орион шоқжұлдызында орналасқан, оның алатын кеңістігі 6пк-ке тең. Сонымен қатар, Мерген шоқжұлдызындағы Омега, Лагуна, Үшбөлімді тұмандықтары, Аққу шоқжұлдызындағы Солтүстік Америка және Пеликан т.б да өте әдемі тұмандықтары бар. Осындай объектілердің 400-ге жуығы белгілі. Газды тұмандықтың ішінен немесе соның маңынан *O* немесе *BO* спектрлік класына жататын ыстық жұлдыздарды табуға болады. Олар тұмандықтың жарықтығының негізгі себебі болып табылады.

Космостық сәулелер. Галактиканың тәжі және магнит өрісі. Галактиканың белгілі бір аймағындағы жұлдызаралық ортаның табиғаты туралы мәліметтерді ғарыштық (космостық)

сәулелерді оқып-білу арқылы аламыз, ал олар жарық жылдамдығына жақын жылдамдықпен қозғалатын элементар бөлшектер. Бұл бөлшектердің энергиясы өте көп, тіпті жүздеген млрд. эВ-қа дейін болады. Жердің атмосферасынан өткенде ғарыштық сәулелер ауаның молекулаларымен соқтығысып, жаңа бөлшектерді тудырады. Химиялық құрамы бойынша ғарыштық сәулелер көптеген жұлдыздардағы заттардан кейбір элементтердің көптілігімен ерекшеленеді, әсіресе, литий, бериллий және бормен, себебі, бұл элементтер жұлдыздардағы ядрелік реакциялардың нәтижесінде оңай жанып кететіндіктен болып табылады. Ал осы ғарыштық сәулелердің көзі Галактиканың сыртында алыста болуы мүмкін. Сәйкес, ғарыштық сәулелер біздің Галактиканың ішінде үнемі бағытын өзгерте отырып, өте үлкен қашықтықты жүріп өтеді. Осы зарядталған бөлшектердің аз траекториясының бағытын өзгертудің себебі, магнит өрісі болып табылады. Зарядталған бөлшектің қозғалысы магнит өрісінің күштік сызықтарының айналасында спираль түрінде болады. Егер ғарыштық сәуле кернеулігі 10^{-6} э магнит өрісінде қозғалса, иірімді орамының радиусы $3 \cdot 10^{13}$ см немесе 2 а.б.-ке тең болады. Галактиканың магнит өрісінің күштік сызықтары оның өзінде тұйықталғандықтан, ғарыштық сәулелердің Галактикадан шығып кетуі қиын болады. Бір элементар бөлшек шыққан көзінен Жерге дейінгі ара қашықтықты орташа 10^{15} с-те өтеді. Ал бақыланатын ғарыштық сәулелердің тіршілік ету уақытын біле отырып, оларды шығаратын көздердің қуатын оңай табуға болады. Галактикадағы ғарыштық сәулелердің толық энергиясы $5 \cdot 10^{56}$ эрг-қа тең. 10^{15} с уақыт аралығындағы мұндай энергия көздерінің қуаты мынаған тең болғанда

$$\frac{5 \cdot 10^{56} \text{ эрг}}{10^{15}} \approx 5 \cdot 10^{41} \frac{\text{эрг}}{\text{с}}$$

пайда болады. Галактикада осындай энергияның көздері бар, олар жаңа жұлдыздардың жарылысы. Осы жаңа жұлдыздардың жарылысы нәтижесінде өте жылдам қозғалатын электрондар мен

ғарыштық сәулелер пайда болады. Ғарыштық сәулелер сиретілген газдарды температурасы бірнеше миллион градусқа дейін қыздырады. Осы ыстық сиретілген газ Галактиканың сфералық құраушысына жатады және оны *галактиканың тәжі* деп атайды.

7.5 Галактиканың құрылымы туралы қысқаша мағлұмат

Галактиканың жалпы құрылысы. Біздің Галактика – тұмандықтар мен ғарыштық сәулелерден, сиретілген газдардан, жұлдыздардан және көлденеңдігі 30 мың пк-ке жуық, орталығына қарай қалыңдайтын өте үлкен жазықтық. Галактиканың ең негізгі элементтері, оның *орталық шоғыры, спиральды жеңі, тармақтары және дискі* болып табылады.

Галактиканың орталық облысы. Галактиканың ішкі аймағын оның орталық шоғыры алып жатыр және көп бөлігі бізден бұлыңғыр материямен жасырылған. Бізге тек Мерген шоқжұлдызындағы жарық жұлдыздық бұлт түріндегі оңтүстік бөлігі ғана көрінеді. Ал жұлдызаралық тозандар әлсіз жұтатын инфрақызыл сәулелер арқылы оның солтүстік бөлігін де байқауға болады. Аспанда орталық шоғырдың бұрыштық өлшемдері $20^\circ \times 30^\circ$ -қа жуық, сәйкесінше сызықтық өлшемдері 3х5кпк тең аймақты алып жатыр. Галактика орталығынан 4-8кпк қашықтықтағы облысынан бірқатар ерекшеліктерін байқауға болады. Онда жаңа жұлдыздардың жарылысынан пайда болған лүпілдіктер саны және газдық қалдықтар өте көп шоғырланған, радиосәулелер интенсивті, жас және ыстық О және В класындағы жұлдыздары жиі кездеседі. Галактика орталығынан 3-4кпк қашықтықта радиоастрономия әдісі арқылы 50км/с жылдамдықпен кеңейетін, массасы $108M_0$ -ға жуық бейтарап сутегінің тармағы табылған. Ал Галактика орталығының басқа жағынан, 2кпк қашықтықта орталықтан 135 км/с жылдамдықпен алыстайтын, массасы алдыңғысынан 10 есе кіші дәл сондай бейтарап сутегінің тармағы бар екені табылған. Ал Галактика орталығынан радиусы 1кпк облыста 200км/с жылдамдықпен

қозғалатын бейтарап газдан тұратын сақина орналасқан. Галактиканың орталығының маңында Мерген шоқжұлдызында радио және инфрақызыл сәулелердің бірнеше қуатты көздері орналасқан. Солардың біреуі Галактиканың дәл орталығында шоғырланған. Оны 140 км/с жылдамдықпен кеңейетін, радиусы 200 пк сақина тәрізді молекулалық бұлт қоршаған. Галактика орталығынен 0,8 пк аймақтан инфрақызыл сәуленің бес нүктелік көзі табылған.

Галактиканың иірімді құрылымы. Галактиканың иірімді құрылымы жұлдыздық дискіде таралатын иірімді толқындармен байланысты. Бұл толқындар қарапайым дыбыс толқындарына ұқсас болып келеді, бірақ айналмалы қозғалысқа байланысты иірімнің түрін қабылдайды. Бұл толқындар таралатын орта тек газ-тозаңды жұлдызаралық материядан ғана тұрмайды, сонымен қатар жұлдыздардың өздерінен де тұрады. Жұлдыздар да өзіндік ерекшелігі бар газдарды түзеді, ал ол газдардың қарапайым газдардан айырмашылығы сол, ондағы бөлшектердің арасындағы соқтығысулар мүлдем болмайды. Галактиканың иірімді құрылымы жұлдыздардың пайда болу процесімен тығыз байланысты.

7-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Егер жұлдызаралық жұтылу болмаған жағдайда, Құс жолынан қанша ең үлкен жарықтықты күтуге болар еді?
2. Егер Күн галактика жазықтығынан 20кпк емес 7,5кпк алыстатылса, онда Құс жолы қалай көрінер еді?
3. Галактикалық жұлдыздардың қандай айырмашылықтары бар, егер оларды гравитациялық байланысқан бөлшектер жүйесі ретінде қарастырсақ?
4. Күн әр кез галактикалық жазықтыққа жақын орналасқанын қалай дәлелдеуге болады?
5. Галактикада қандай жұлдыздар бәрінен де көп?
6. Галактикада ғарыштық шаңды көзбен анықтауға болады ма?

7. Қандай суреттерден галактикадағы жұлдызаралық шанды анық көруге болады?
8. Кеңістіктің қай бағытында біздің Галактикадан аз жұлдыздар, бірақ басқа галактикадан көп жұлдыздар көрінеді?
9. Қандай галактикалар бәрінен де біздің Галактикаға жақын орналасқан?
10. Галактиканың қай түрінде жұлдыздар қалыптасады?
11. Галактиканың шоғырлануы дегеніміз не?
12. Галактика белсенділігі қалай көрінеді?
13. Неліктен алыс галактика спектр сызықтары қызыл жағына ығысып жатыр?
14. Метагалактиканың космологиялық кеңеюі Жердің арақашықтығына әсер етеді ме?

8-тарау. ГАЛАКТИКАДАН ТЫС АСТРОНОМИЯНЫҢ НЕГІЗДЕРІ. КОСМОГОНИЯНЫҢ НЕГІЗДЕРІ ЖӘНЕ КОСМОЛОГИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІ

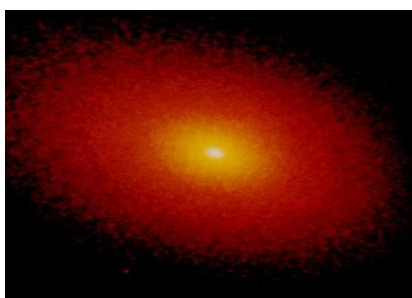
8.1 Галактика құрылымы және түрлері

Құралсыз көздің ұшымен түнгі аспанда әлсіз жарқырайтын бұлыңғыр дақ түріндегі үш объектіні ғана көруге болады, олар: Үлкен, Кіші Магеллан бұлттары және Андромеда шоқжұлдыздарындағы тұмандық. Бүкіл аспан бойынша миллиондаған әлсіз алыс галактикалар шашырап таралған. Олар тек Құс Жолы жолағында ғана аз, мұндағы жарықты жұлдызаралық жұту құбылысы алыс объектілерді көруге кедергі жасайды. Қазір спектрі және ара қашықтығы анықталған галактикалардың саны небәрі бірнеше мыңдаған галактикалар арасындағы үлкен айырмашылықтарды олардың фотосуретіне қарап аңғаруға болады. Сыртқы пішіні бойынша және жарықтылығының таралуы бойынша көпшілік галактикаларды эллипстік, иірімді, линзатәрізді және бұрыс галактикалар деп бөлеміз.

Эллипстік галактикалар (E) фотосуретте анық шекарасы жоқ эллипс пішінді болып келеді. Ортасына қарай жарықтылығы біртіндеп артады. Әдетте, олардың ішкі құрылымы жоқ болады (8.1-сурет).

Спиральды (иірімді) галактикалар (S) бақыланатын галактикалардың ішіндегі ең көбі (8.2-сурет). Олардың негізгі өкілдеріне біздің Галактика және Андромеда тұмандығы жатады. Эллипстік галактикаларға қарағанда, оларда иірімді тармақтар түріндегі құрылымдар байқалады. Иірімді галактикалардағы заттар тек иірімді тармақтарында ғана емес, сонымен бірге олардың арасында да бар. Иірімді құрылымдардың пішіні бойынша иірімді галактикаларды S_a , S_b , S_c типті деп бөледі. S_a галактикаларында тармақтар салыстырмалы тегіс және тарлау болып бұралған, өздерінің сипаттамалары бойынша бұл иірімді галактикалар эллипстік галактикаларға ұқсас болып келеді; S_c галактикаларының тармақтары кең болып ашылған және үзінді-

үзінді болып келеді, сондықтан кейбір кезде байқау қиын; S_b галактикалары аралық қасиеттерге ие болады. Сыртқы пішінінің көптүрлілігіне қарамастан, иірімді галактикалардың құрылысы ұқсас болады. Олардан үш құраушыны бөліп көрсетуге болады: *жұлдыздық диск*, олардың қалыңдығы галактиканың диаметрінен 5-10 есе кіші, кішігірім эллипстік галактикаға ұқсас *сфералық құраушысы* және дискінің қалыңдығынан бірнеше есе кіші болып келетін *жазық құраушы*. Жазық құраушысына жұлдызаралық газ, тозаң, жас жұлдыздар және иірімді тармақтар жатады.



8.1-сурет. Эллипстік галактика



8.2-сурет. Спиральды галактика

Линзатәрізді галактикалар (SO) сыртқы пішінімен эллипстік галактикаларға ұқсас, бірақ олардан жұлдыздық дискінің бар болуымен ерекшеленеді. Сондықтан құрылысы бойынша олар иірімді галактикаларға ұқсас, ал олардан айырмашылығы жазық құраушысының, сәйкесінші, иірімді тармақтарының болмауы. Кез келген иірімді галактиканың жас жұлдыздары және газдары болмаса, олар линзатәрізді болып көрінеді (8.3-сурет).

Бұрыс галактикаларда (I_r) орталық ядро жоқ және құрылысында ешбір заңдылық байқалмайды. Жердің Оңтүстік жартышарының тұрғындары құралсыз көзбен екі бұрыс галактиканы көре алады. Олар біздің Галактиканың серіктері – Магелланның Үлкен және Кіші Бұлттары (8.4-сурет). Олар бізден онша алыс емес, бар болғаны Галактика диаметрінен бір жарым есе қашықтықта.

Өздерінің қасиеттері бойынша эллипстік, иірімді және бұрыс галактикалардан өзгеше болатын галактикалардың басқа түрлері де жиі кездесіп тұрады. Мұндайларда, мысалы, өзара әсерлесуші галактикалар жатады. Олар әдетте бір-бірінен аса үлкен емес қашықтықта орналасып, жарқырауық материядан тұратын «көпірлермен» байланысқан, кейде олар бір-біріне ене орналасады.



8.3-сурет. Линза тәрізді галактика

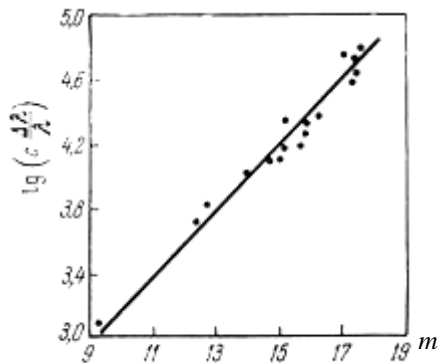


8.4-сурет. Бұрыс галактика

8.2 Галактикаға дейінгі қашықтықты анықтау

Галактикаға дейінгі қашықтықты анықтаудың бірнеше әдістері бар. Егер де Галактикамызда жақсы зерттелген нысандар бақыланса, онда біз білетін жарқырауды анықтау оңай болады. Мысалы, жарқырау – цефеид жарқырауы кезеңге қатыстылығынан белгілі жаңа жұлдыздарда абсолютті жұлдыздың көлемі максималды $-8^m,5$, ал шарлы жинақтықта ортаңғысы -8^m . Мұндай жағдайда қашықтықты анықтау үшін жұлдыздар арасындағы жарық жұту әсерін еске ала отырып, модуль қашықтығын санау және көрнекті жұлдызды көлемді объектіні табу жеткілікті болады.

Жойылған галактикаларға дейінгі қашықтықта саналған объектілер көрінбейді, оған көрнекті жұлдызды көлеміне немесе бұрыштық көлеміне қарап мән береді. Бұл үшін галактиканың осы түрінің жарқырауы мен көлемін білу қажет көрінеді.



8.5-сурет. Қызыл ығысуға сәйкес келетін галактика

Қызыл ығысудың көлемін анықтаудың тағы бір тәсілі анықталған. Бұл құбылыс алыс галактикалардың спектрлері барлық спектрлі сызықтармен қызыл соңы арқылы орналасқан деп қорытындылады. Осы бөлімнің соңғы параграфында көрсетілгендей бүкіл жаратылыспен галактика арасындағы апталық қашықтықтың үлкеюі ретінде сызықтардың араласуын интерпретациялау қажет. Қорытындысында галактикалар бізден қашып бара жатқандай көрінеді.

Бақылаудан байқағанымыздай, қызыл ығысуға $\Delta\lambda$ сәйкес келетін галактикалардың бізден жойылу жылдамдығы қашықтықтан үлкейеді, сондықтан $\log V_r$ мен көрнекті жұлдызды көлемді галактикалардың бірдей жарқырауының арасында сызықтық бағыныштылық табылады. 8.5-суретте галактикалық жинақтауға тиесілі әрбір нүктесі ортаңғы мағынаға сәйкес келетін көптеген жарық галактикалармен байланысты көрсетілген. Ортаңғы жарқырау көптеген жинақтаудың жарық мүшелері бір – бірінің арасында аз айырмашылықта болуы керек, жалпы жеке галактикалардың жарқырауына қарағанда нүктелердің шашылуы үлкен болуы керек, мұндай жағдайда m және lgr арасындағы сызықтық бағыныштылыққа мән беру керек:

$$\lg V_r = \lg \left(c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)$$

m және lg арасындағы сызықтық бағыныштылық қашықтық пен жойылу жылдамдығы арасындағы сызықтық қатынасты білдіреді, яғни

$$V_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = H \cdot r \quad (8.1)$$

(8.1)-формулада космологияда маңызды рөл алатын қашықтық мегапарсекте r мен белгіленеді, ал сан H – Хаббл тұрақтысы деп белгіленеді. Соңғы уақытта алынған көптеген сенімді мағынасы Хаббл тұрақтысының 55км/сек құрайды. Егер кейбір галактикалар үшін оның қызыл ығысуы белгілі болса, онда формула бойынша оған дейінгі қашықтықты анықтау оңай болады. $\Delta\lambda/\lambda > 0,1$ формуласы дұрыс емес болып табылады, ол үшін бұған қиындау мағына пайдалану керек. Көптеген жойылған қазіргі уақытта танымал Галактикалар бірнеше миллиард парсек қашықтықта орналасқан.

8.3 Галактиканың физикалық қасиеті

Бір түрлі галактикалар көлеміне, салмағына, жарқырауына және де басқа да белгілеріне қарай бір – бірінен қатты айырмашылығы бар. Сызықтық көлемдер тікелей көрінетін бұрышындағы көлемінің негізінде белгілі алшақтықта галактикалық емес тұмандықтар шығады. Көптеген галактикалардың жұлдызды тығыздығымен нақты шекарасы жоқтығынан біртіндеп кемиді. Орталықтан алшақтығы, көрінетін көлемдердің анықтылығының нәтижесі олар бақылайтын жазықтың жоғарғы жиегіне байланысты болады. Көптеген ірі спиралды және эллиптикалық галактикаларда жұлдыздарды орталықтан 15-20кпс алшақтықта бақылайды. Бірақ көлемі әдеттегіден кіші көлемді жүйелерде кездеседі. Егер оның көрнекті жұлдызды көлемі өлшенсе, алшақтық ілімі формула бойынша галактикалардың жарқырауын табуға мүмкіндік береді.

Көптеген ірі галактикалар фотографиялық абсолюттік жұлдызды көлемді иемденеді. $M_{pg} = -19^m,3$, ондаған миллиард күн жарқырауы сәйкес келеді. Бұрыс галактикалар 100 есе әлсіз болып келеді.

Галактикалардың массасы олардың ішкі бөліктерінің айналу жылдамдығының негізінде анықталады.

Егер айналудың сызықтық жылдамдығы V арқылы анықталса, онда орталық бағытты теңелу және гравитациялық жылдамдық галактикалардың массасына тең екенін дәлелдейміз:

$$M = \frac{RV_2}{f}. \quad (8.2)$$

Айналымның жылдамдығы ара қашықтықтан ортаға дейін белгілі болса, онда галактикадағы массаны анықтауға болады. Қосарланған жұлдыздың массасы сияқты, қосарланған галактика массасы да сол тәсілмен бағаланады, яғни, қозғалыстың бастапқы жылдамдығы спектрлік сызықтық Доплер арқылы анықталады.

Көптеген бақылаудағы галактика массасы Күннің 10^9 салмағына сәйкес. Егер ергежейлік жүйені есептемесек, онда массаның ортақ өлшемі Күннің 10^{11} -не тең немесе $2 \cdot 10^{44}$ г тең.

8.4 Радиогалактикалар

Қайсыбір галактикалар қарқынды көрінерлік сәуледен мол қуатты радиосәуле көзі болып табылады. Бұлар – радиогалактикалар. Бұған мәселен, Центавр шоқжұлдызындағы



8.6-сурет. Радиогалактика
NGC 5128 Центавр А

шар пішінді NGC 5128 галактикасы жатады (8.6-сурет). Бұл галактиканың фотосуретінде галактиканы қаққа жара екіге бөліп тұрғандай көрінетін орасан зор тозаң көзге бірден ілігеді. Сонымен қатар, біршама жақын радиогалактикалардың бірінде ядродан тысқары атылып тұрған газ ағыны жақсы көрінеді. Ағын ұзындығы бірнеше мың жарық жылына жетеді, оның ішкі бөлігінде жекелеген түйдектер байқалады.

Олардың тағы бірі Аққу шоқжұлдызында орналасқан. Оның көрінерлік жұлдыздық шамасы 18^m -ге жуық (оптикалық диапазонда болмашы объект болғандықтан, бұл галактика NGC тіркеміне кіргізілмеген де болатын). Бірақ бізден 200 Мпк қашықтықтағы Аққу А галактикасының абсолют жұлдыздық шамасы – $20,5^m$ -ге жуық жетеді. Бұл біздің Галактика тәрізді алып жүйе. Бірақ біздің және басқа «қалыпты» галактикалардан өзгешелігі Аққу А радиодиапазондарында оптикалық диапазоннан гөрі энергияны басым көп шығарады. Аққу А да екі ядро көрінеді, олардың түзілуі осы галактика орталығында орасан зор қуатты қопарылыспен байланысты болуы тиіс.

8.5 Космогониялық мәселелер

Аспан денелерінің шығу тарихы мен эволюциясы астрономия ғылымының космогония атты ерекше бөлімімен зерттеледі. Космогониялық мәселелер әлем тануы ғылымының дамуында үлкен мағынаны береді, және олар тек қана астрономдарды ғана қызықтырмайды. Космогониялық нәтижелерді шешу үшін екі негізгі жолы қарастырылған. Бірінші жолы - нағыз теориялық, физиканың жалпы заңдарынан тыс мұның алдында қандай талаптардың болғандығына қарсы қазіргі аспан денелерінің сипаттамалары, яғни, олардың қандай даму жолынан өтуін қарастырған. Екінші жолы – қадағалау, әртүрлі даму жолдарында орналасқан аспан денелерінің сипаттамаларын салыстырады. Екінші жолды тек қана көп санды объектілер, яғни жұлдыздар, жұлдыздар шоғыры, газды тұмандықтар және галактикаларда қолданылады. Планетарлық жүйеде бұл жағдай қиындау екенін білеміз. Мұндай жүйенің бірі – Күн сәулесі.

Ғаламшарлардың тегі. Кант, Лаплас және Джинстің гипотезасы. Ньютондық механиканың XVIII ғасырдағы жетістігінің нәтижесінде дүние жүзінің табиғаттық нақты заңдарының ғарыштық денелердің жүйесінің өзгермейтіндігі анықталды. Дүние жүзіндегі ең қиын механизм бір рет шығарылған, одан кейін ешқандай өзгеріссіз жүреді. Ең алғаш ғарыштық денелердің эволюциясын қарастыруға талпынған

Ж.Бюффон (1749ж.) және И.Кант (1755ж.) болды. Канттың айтуынша: Күн сәулесінің жүйесі газды бұлттар мен шаңдардан пайда болды деді. Бұлттың ортасында Күн, шеткері бөлімінде ғаламшар пайда болған. Бұл болжам сол уақыттарда дұрыс болып табылған. Өйткені, ол кезде атомдық теория, термодинамика, газдың генетикалық теориясы, ғарыштық элементтер әлі пайда болмаған.

1976 жылы П. Лаплас ғаламшардың пайда болу процесінде тұмандықтың айналуы басты роль атқарады деді. Шынында да, m элемент массасы орбитамен бұрыштық жылдамдықпен айналады, радиусы r болатын. Егер бұл элементтің қозғалыс мөлшері

$$I = m\omega r^2$$

тұрақты болса, онда тұмандықты сығу кезінде ω өседі. Тұмандықтың толық массасы M . Сонда m элементіне ауырлық күші:

$$F_1 = f \frac{M \cdot m}{r^2}$$

және орталық күші әсер етеді.

$$F_2 = m\omega^2 r = \frac{I^2}{mr^3}.$$

Ауырлық күшке қарағанда центрге тепкіш күш тез өседі, ал олар теңескенде ротациялық тұрақсыздық пайда болады, яғни, тұмандық жасымық пішініне еніп, жалпайып кетеді, сондықтан оның экваторынан зат бөлініп шығады. Бөлініп шыққан заттан тұмандықтың айналасында Сатурн сақинасына ұқсас жазық сақина пайда болады. Лапластың айтуынша, тұмандықтан бөлініп шыққан газ соңында ғаламшарға айналады.

Күн жүйесінде қозғалыс мөлшерінің 98% ғаламшарларға, тек 2% ғана Күнге тиесілі. Егер де қозғалыс массасының

мөлшерін масса бірлігіне қатынасы болса, онда айырмашылығы 50 есе емес 50000 есе болады. Кант пен Лапластың болжамы мұны түсіндіре алмады. Негізінде, алғашқы тұмандықты сығу кезінде барлық элементтер бірдей және бірдей бұрыштық жылдамдыққа ие болады. Осы ғасырдың басында, ағылшын ғалымы Джинс, осы қиындықтардан құтылатын басқа космогониялық болжам ұсынды. Джинстің болжамында, Күн басқа жұлдыздар сияқты, ғаламшар жүйесінсіз құралды, ал ғаламшар жүйесі тек апаттың нәтижесінде пайда болды, басқа жұлдыз Күннің жанынан жақын өткені соншалық, оның қойнауынан заттардың біраз бөлшегін жұлып алды. Сондықтан, булану нәтижесінде бұл заттар ғаламшарға айналды. Галактиканың құрылғанынан бастап, онда шамалы ғана ғаламшарлар жүйесінің саны құрылған және оның ішінде – біздің Күн жүйесі. Бұл қорытынды Джинстің болжамының дұрыстығын дәлелдейді. Күн сәулесі жүйесінің құрылуы үшін Күн және басқа бір жұлдыз 5000 км/сек және одан да көп жылдамдықпен кездесу керек, яғни бұл галактикадағы параболалық жылдамдықпен салыстырғанда көп (300 км/сек). Галактикада параболалық жылдамдықтан асатын жұлдыздар өте аз.

8.6 Космология туралы түсінік

Космология әлемнің физикалық қасиетін зерттеумен айналысады. Соның ішінде, негізгі мақсатының бірі – *Метагалактика* деп аталатын кеңістіктегі аймақты астрономиялық қадағалау, зерттеу болып табылады.

Салыстырмалы теориядан белгілі, массаның көптігі кеңістік-уақыт қасиетіне әсер етеді. Өзімізге үйреншікті Евклид кеңістігінің қасиеті үлкен көлемдегі массаларға жақын өзгереді немесе «қисаюы» мүмкін дейді. Мұндай кеңістіктің қисаюы өте аз.

Кеңістіктің қисық болуы, жақын жердегі Күннің жарық сәулесінің бағытын өзгертуі мүмкін. Барлық галактика мен галактикадан жоғары масса, кеңістіктің белгілі бір қисығына, толығымен оның қасиетіне, сонымен бірге, әлемнің

эволюциясына да әсер етуі мүмкін. Кеңістік пен уақыттың туындысының массасын табу қиынырақ. Сондықтан, соған жақынырақ «әлемнің моделі» деп аталатын сызбасы қарастырылады. Олардың ең қарапайымы, әлемнің үлкен көлемдегі заты біркелкі, ал кеңістіктің қасиеті барлық бағытта бірдей болады.

Эйнштейндік теңдеудің шешімі ауыртпалықтың бірыңғай изотропты моделі, жеке дара бірыңғай емес арасындағы қашықтық, егер олардың жеке хаотикалық қозғалысын қоспағанда тұрақты сақталынбайды. Бүкіләлем не қысылып, не болмаса кеңейіп отыруы тиіс.

Тұйық үш өлшемді кеңістіктің екі өлшемді моделі шардың бетін үрлеу болып табылады. Мұндай модельді Галактикалар тегіс фигурамен көрсетіледі. Шардың беті созылғанда, фигуралардың арасындағы қашықтық пен бетінің ауданы өзгереді. Бірақ, мұндай шардың көлемі шектеусіз өсе беруі мүмкін және екі өлшемді кеңістікте шек болмайды.

Кеңістіктің қисықтығы бірыңғай изотропты модельде оның орташа тығыздығына байланысты болады. Егер тығыздық кейбір критикалық мағыналардан аз болса, қисықтық болмайды және бірінші жағдайда, өзінің орнында болады. Екінші жағдайда, тығыздықтың критикалық жағдайында орындалады. Сонымен, тығыздықтың критикалықтан көп болуы, онда қисықтық теріс болғаны. Кеңеюі процесінде қисықтықтың абсолюттік шамасы өзгеріп, бірақ оның белгісі тұрақты болып қала береді.

Тығыздықтың критикалық шамасы тұрақты Хабблмен H және тұрақты гравитациямен f келесідей көрсетіледі:

$$\rho_{кр} = \frac{3H^2}{8\pi f};$$

$H = 75 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс}), \rho = 10^{-30} \text{ г}/\text{см}^3.$

Барлық белгілі Метагалактикадағы масса орташа тығыздықтың бағасына әкеледі, ол шамамен $5 \cdot 10^{-31} \text{ г}/\text{см}^3.$ Бірақ әлі күнге дейін Галактикалар арасындағы масса белгісіз.

Сондықтан берілген баға шынайы кеңістіктегі қисықтықтың белгісіне негіз бола алмайды.

Бүкіләлемдегі бірыңғай изотропты теориядағы маңызды рөлді атқаратын тұрақты Хаббл, қызықты физикалық мағынаға ие. Оны анықтау үшін қайтымды көлемі L/H уақыттың мөлшеріне тең. $L/H = 20$ миллиард жылға тең екендігіне көңіл аудару қажет.

Метагалактиканың кеңеюіне қажетті уақыт аралығын анықтау және оны бұрынғыдай өзгермеуін қадағалауын ойлау өте оңай. Бірақ бұл жылдамдықтың тұрақты болуы, яғни алдағы және ағымдағы уақытта өзгермейтіндігін әлі анықтамағандықтан, бұл өзекті сұрақ болып қала бермек.

Космология Бүкіләлемдік дамудың жалпы заңдылықтарын алуды көрсетеді.

Астрономияның бұл бөлімі әлемді тануда материалдық тұрғыдан өте маңызды орын алады. Бүкіләлемдік заңдардың толығымен оқуда біз материяның, кеңістіктің және уақыттың қасиеттерін тереңірек біле аламыз. Соның ішінде, кейбір мысалға, шынайы физикалық кеңістік пен уақытты үлкен аумақта, тек космологияның төңірегінде ғана оқып, тануға болады. Сондықтан да, олардың нәтижесі астрономия мен физикада ғана емес, сонымен қатар философия төңірегінде де өзіндік орны бар.

8-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары

1. Түсіне байланысты иірімді және эллипстік галактикаларды қалай ажыратуға болады және ол немен байланысты?
2. Эллипстік және иірімді галактикалардың жұлдызаралық газының қасиеті немен ажыратылады?
3. Егер $z = 0,3$ болса, галактикаға дейінгі қашықтық қандай? Қанша уақыт ұзақтықта жарық өтеді?
4. 100Мпк қашықтықта біздің Галактика қандай жұлдыздық шамаға ие болады? Абсолюттік жұлдыздық шамасын $M_v = -21$ -ге тең деп қабылдаңыз.
5. Галактикада жұлдызаралық шаң өзін қалай көрсетеді?

6. Неліктен орталықтан берілген қашықтықта жұлдыздардың айналу жылдамдығы бойынша эллипстік галактиканың массасын бағалауға болмайды? Егер осының барлығын орындаса, көтеріңкі немесе төмендетілген бағалау болады ма?
7. Иірімді галактикадағы газ атомдары мен жұлдыздар қозғалысының айырмашылығы неде?
8. Жүйелі галактика шоғырының жүйесіз галактика шоғырынан айырмашылығы неде?
9. Галактика эволюциясында және тұтастай ғаламда жұлдыз түзілу процесінің рөлі қандай?
10. Өте әлсіз және алыс галактика арасындағы көгілдір түстегі галактиканың үлкен саны (қызыл ығысумен шартталған, қызыл есепке алған соң анықталған) не жайлы айтады?
11. Неге иірімді галактикалардың динамикалық массасы жұлдыздардың жарықтылығы бойынша анықталған салмағынан көп?
12. Неліктен галактиканың иірімді өрнегі бір тұтас болып айналады?
13. Реликтілік сәуле біртекті ма?
14. Қандай химиялық элемент әлем бойынша көп және олар қалай пайда болды?
15. Әлемнің жасы қанша?

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Э.В. Кононович, В.И. Мороз. Общий курс астрономии. – М.: Книжный дом «Либроком», 2011. – 544 с.
2. Дагаев В.С. Курс астрономии.-М.: Высшая школа, 1986.-477 с.
3. Климишин И. А. Элементарная астрономия. – М.: Наука, 1991. – 463 с.
4. Шкловский И.С. Вселенная, разум, жизнь. – М.: Наука, 1976. – 403 с.
5. Бялко А. В. Наша планета земля. – М.: Наука, 1989. – 240 с.
6. Киппенхан Р. 100 миллиардов солнц.- М.: Мир, 1990. – 294 с.
7. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и упражнений по астрономии. – 7-ое издание – М.: Наука, 1974. – 280 с.
8. Шаймерденова К.М. "Астрономия" пәні бойынша лекциялар курсы [Электронный ресурс]: маманд.: 5В011000 "Физика" /К.М. Шаймерденова; – Электрон. текстовые дан. (1,80Мб). – Қарағанды: ҚарМУ, 2011.
9. Физика космоса. /Под ред. С. Б. Пикельнера. – М.: Советская энциклопедия, 1976. – 480 с.
10. Дагаев В. С., Бакунин П. И. Практические занятия по астрономии. – М.: Высшая школа, 1972. – 389 с.
11. Астрономия. Полный интерактивный курс. /Материал на CD, 600 МБ, – М.: Media Soft, 2003.
12. Астрономия. Полный мультимедийный курс. /Материал на CD, 630 МБ, – М.: Media Soft, 2005.
13. Открытая астрономия 2,6. Сетевая версия. Полный интерактивный курс. /Материал на CD, 700 МБ, – М.: Media Soft, 2008.
14. Физика және астрономия. /Ғылыми-әдістемелік журнал. Алматы, 2010.
15. Елькин В.И., Грамаш Л.Д. Большой атлас Вселенной. 2004.

Мазмұны

Алғы сөз	3
Кіріспе	4
1-тарау. Сфералы және тәжірибелі астрономияның негіздері	7
1.1 Жұлдызды аспан. Шоқжұлдыздар	7
1.2 Аспан сферасы. Аспан сферасындағы нүктелер мен сызықтар	9
1.3 Горизонтальды және экваторлық координаталар жүйелері	10
1.4 Аспан сферасының әр ендіктегі айналуы. Шарықтау	14
1.5 Эклиптика. Эклиптикалық координаталар жүйесі	18
1.6 Күннің эклиптика бойынша жылдық қозғалысы	20
1.7 Ұақыттың өлшеу бірліктері	22
1.8 Күндік және жұлдыздық уақыт	25
1.9 Шынайы және орташа күндік уақыт. Ұақыттың теңдеуі	27
1.10 Сфералық үшбұрыш және сфералық тригонометрияның негізгі формулалары 1-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	32 37
2- тарау. Әлемнің құрылымы туралы көзқарастардың дамуы. Күн жүйесінің кинематикасы	39
2.1 Птолемей жүйесінің әлемі	39
2.2 Коперник әлемінің жүйесі	41
2.3 Ғаламшарлардың көрінерлік қозғалысы	43
2.4 Ғаламшарлардың синодтық және сидерлік айналу периодтары	45
2.5 Кеплер заңдары	47
2.6 Тәуліктік параллакс. Күннің параллакс	50
2.7 Күннің, Айдың және ғаламшардың аспан денелеріне дейінгі арақашықтығын анықтау	51

2.8	Жердің Күнді айнала қозғалуын дәлелдеу. Абберация	55
2.9	Айдың жұлдыздарға және Күнге байланысты көрінетін салыстырмалы қозғалысы	58
2.10	Ай фазаларының алмасу кезегі	60
2.11	Күннің және айдың тұтылуы	62
	2-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	64
	3- тарау. Аспан механикасының негіздері	66
3.1	Ғаламшарлар орбитасының элементтері	66
3.2	Бүкіләлемдік тартылыс заңы	67
3.3	Аспан денелерінің массаларын анықтау	72
3.4	Ауытқу күш туралы түсінік	76
3.5	Көтерілулер және құйылулар	78
	3-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	83
	4-бөлім. Астрофизика және радиоастрономия құралдары мен әдістері	84
4.1	Телескоптар, олардың маңызы. Рефракторлар, рефлекторлар	84
4.2	Абберация	87
4.3	Астрофотометрияның негізгі түсініктері	89
4.4	Радиотелескоптар	90
	4-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	92
	5-тарау. Күн жүйесінің физикасы	94
5.1	Күн туралы жалпы мәліметтер	94
5.2	Күн жүйесіндегі денелердің арақашықтықтарын анықтау	98
5.3	Кіші ғаламшарлар. Олардың ашылу тарихы	101
5.4	Кометалар. Сыртқы түрі. Кометалардың орбиталары	103
5.5	Метеориттер. Метеорлар	104
	5-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	106

6-тарау. Жұлдыздар физикасы	107
6.1 Жұлдыздардың спектрлік класификациясы және химиялық құрамы	107
6.2 Жұлдыздардың көрінерлік және абсолюттік жұлдыздық шамасы	109
6.3 Жұлдыздардың жарқырағыштары, массасы мен радиусы	112
6.4 Спектр-жарқырағыштық және масса-жарқырағыштық диаграммасы	114
6-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	117
7-тарау. Біздің Галактика	118
7.1 Біздің Галактикаға тиісті объектілер. Күс Жолы. Тұмандықтар	118
7.2 Жұлдыздардың Галактикада таралуы	121
7.3 Жұлдыздық шоғырлар	124
7.4 Галактиканың айналысы	126
7.5 Галактиканың құрылымы туралы қысқаша мағлұмат	129
7-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	130
8-тарау. Галактикадан тыс астрономияның негіздері. Космогонияның негіздері және космология мәселелері	132
8.1 Галактика құрылымы және түрлері	132
8.2 Галактикаға дейінгі қашықтықты анықтау	134
8.3 Галактиканың физикалық қасиеті	136
8.4 Радиогалактикалар	137
8.5 Космогониялық мәселелер	138
8.6 Космология туралы түсінік	140
8-тараудың сұрақтары мен тапсырмалары	142
Қолданылған әдебиеттер тізімі	144

Шаймерденова Кулжан Мейрамовна

АСТРОНОМИЯ

Оқу кұралы

*Абай атындағы ҚазҰПУ жанындағы Республикалық оқу-
әдістемелік Кеңесінде ұсынылды*

Басуға 10. 10.2019 ж. қол қойылды. Пішімі 60x84 1/16. Офсеттік қағаз. Көлемі
9,25 б.т. Таралымы 300 дана. Тапсырыс №432

«Типография Арко» ЖШС баспасы
Қарағанды қаласы, Сатпаев көшесі, 15