

№ 1 дәріс

Астрометрия пәні

Астрометрия - аспан денелерінің орны мен қозғалысын, Жердің айналуын және аспан денелер мен Жердің пішінін зерттеп білумен, сондай-ақ уақытты анықтау және сақтаумен айналысатын астрономияның бөлімі. Бұл мәселелерді астрометрия аспандағы бұрыштарды өлшеудің теориялық және техникалық әдістеріне сүйеніп шешеді.

Астрометрия аспан координаттар жүйелерін анықтау, Жердің айналуын мейлінше толық сипаттайтын параметрлер жиынын табу, астрономиялық бақылаулар негізінде дәл уақытты анықтау (уақыт қызметі), күнтізбе құру, жер бетіндегі нүктелердің географиялық координаттарын бақылаулар негізінде дәл анықтау сияқты маңызды мәселелермен, сондай-ақ бұл мәселелерді шешудің теориялық және практикалық әдістерді табу және ары қарай жетілдірумен айналысады.

Астрометрия сфералық координаттар жүйелерін және уақытты өлшеу шкалаларын анықтаудың математикалық әдістерімен айналысатын сфералық астрономиямен және астрономиялық құрылғыларды жасау мен бақылаулар әдістерін даярлаумен айналысатын практикалық астрономиямен өте тығыз байланысты. Мысалы, сфералық астрономияның негізгі міндеттерінің бірі аспан координаттар жүйелерін теориялық түрде анықтау (жүйенің негізгі жазықтықтар мен нүктелерін, координат осьтерін ресми келісімдер негізінде тағайындау) болса, астрометрия бұл жүйелерді каталогтар деп аталатын жұлдыздар, радиокөздер, басқа да аспан объектілерінің координаттары мен жылдамдықтарының тізімдері түрінде жүзеге асырады (аспанда координаттар жүйелерінің нүктелері мен осьтері белгілінген (сызылған) емес қой). Астрономияның аталған бөлімдері мен астрометрия арасында анық шекара жоқ болғандықтан, сфералық астрономия мен практикалық астрономияны астрометрияның екі негізгі бөлігі ретінде де қарастыруға болады.

Сфералық геометрия негіздері

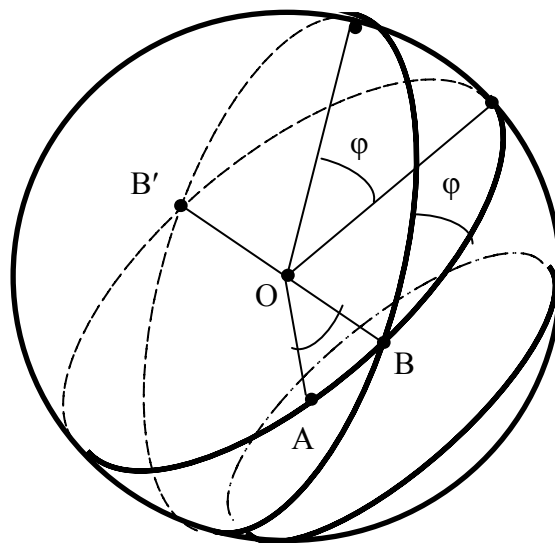
Астрономияның көптеген мәселелерін шешу үшін аспандағы шырақтарға дейінгі қашықтықты анықтаудың қажеті жоқ. Астрометриялық өлшеулер үшін аспандағы шырақтардың көрінетін орнын оларға дейінгі бағытпен сипаттап, өзара орналасуын сол бағыттар арасындағы бұрыштармен анықтау жеткілікті. Мұндай өлшеулер жасауда аспанды белгілі бір сфера, ал аспандағы шырақтарды сол сфера бетінде орналасқан деп қарастырған ыңғайлы.

Аспан сферасы деп ортасы бақылаушы тұрған жерде, ал радиусы кез-келген болатын және бетіне аспан шырақтары бақылаушыға қалай көрініп тұрса, солай проекцияланған ойша алынған сфераны атаймыз. Аспан сферасы аспанның тәуліктік қозғалысын қайталайды деп аламыз. Аспан денелерінің көрінетін орны мен қозғалысын сипаттау үшін аспан сферасында негізгі нүктелер мен сызықтарды тағайындап алу қажет. Өлшеулер осы нүктелер мен сызықтарға

қатысты бұрыштық немесе доғалық бірліктермен (градус, минут, секунд) жүргізіледі.

Астрометрияның көптеген мәселелерін шешу сфералық геометрияның әдістерімен жұмыс істеуге келіп тірелетіні түсінікті: аспан сферасы стереометрияда қарастырылатын сфераның барлық қасиеттеріне ие. Осылардың бізге қажетті болатын кейбіреулерін атап өтейік.

Сфераның ортасынан (центрінен) өтетін жазықтықтың сферамен қиылысу сызығы радиусы сфераның радиусына тең *үлкен шеңбер* болып табылады (1.1 сурет). Бұл шеңбермен шектелген осы жазықтықтың бөлігі *үлкен дөңгелек* деп аталады. Ол сфераны екі жартысфераға бөледі. Екі үлкен шеңбер диаметралды қарама-қарсы екі нүктеде қиылысады.



1.1 сурет

Сфера бетінде жатқан кез-келген екі нүкте арқылы үлкен шеңберді өткізуге болады (бұл тоқтам планиметрияның екі кез-келген нүкте арқылы түзуді жүргізуге болады деген аксиомасына баламалы). Аспан сферасының кез-келген екі нүктесі арасындағы қашықтықты сәйкесінші орталық радиус-векторлар арасындағы бұрышпен немесе осы екі нүкте арқылы өтетін үлкен шеңбер доғасымен өлшеуге болады. (Сфералық геометрияда бұл доға планиметриядағы түзудің орнына екі нүктені қосатын ұзындығы ең аз сызық болып табылады).

Аспан сферасын оның ортасынан өтпейтін жазықтықпен қиғанда *кіші шеңбер* шығады.

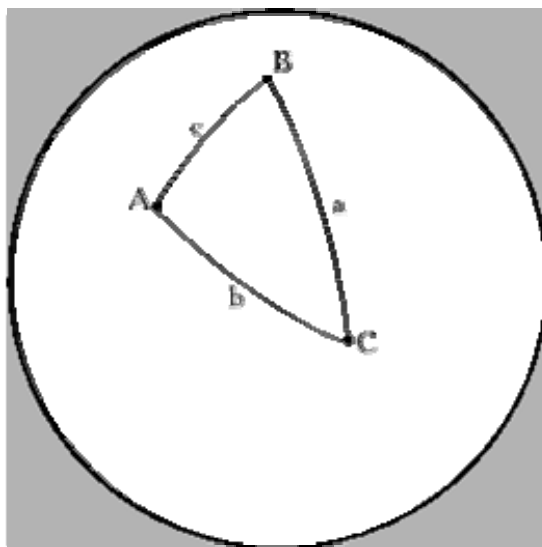
Сфералық үшбұрыш деп сфера бетіндегі үш үлкен шеңберлер доғаларынан құралған пішінді айтамыз (1.2 сурет). Сфералық үшбұрыштың бұрыштары ретінде оны құрайтын үлкен шеңберлердің жазықтықтары арасындағы бұрыштарды (мұндай бұрыштарды екіқырлы (екіжақты) деп атайды, 1.1 суреттегі ϕ бұрышы) алады. Біз қарастыратын жағдайларда бұл бұрыштардың әр қайсысы 180° аспайды, ал үшбұрыш бұрыштарының қосындысы сәйкесінше 540° аспайды, бірақ 180° кем болмайды. Сфералық артық бұрыш σ деп үшбұрыш бұрыштарының қосындысынан 180° алып тастағанда шығатын шаманы айтамыз:

$$\sigma = A + B + C - 180^\circ. \quad (2.1)$$

Сфералық үшбұрыштың ауданы

$$S = \sigma \frac{\pi R^2}{180^\circ}, \quad (2.2)$$

мұндағы R – сфера радиусы.



1.2 сурет - Сфералық үшбұрыш

Сфералық үшбұрыштардың қабырғалары үлкен шеңберлердің доғалары болғандықтан, оларды сол үшбұрыштардың бұрыштары тәрізді градусармен өлшеу қабылданған. Яғни сфералық үшбұрыштың қабырғасы болып табылатын доға ұзындығы оның ұштарын сфера центрімен (ортасымен) қосатын екі радиус-вектордың арасындағы бұрышпен өлшенеді. Сфералық үшбұрыштардың A бұрышына қарама-қарсы жатқан қабырғасын (доғасын) a деп, B бұрышына қарама-қарсы жатқан қабырғасын (доғасын) b деп, C бұрышына қарама-қарсы жатқан қабырғасын (доғасын) c деп белгілейік. Сонда сфералық үшбұрыштар үшін мына формулалар орындалады:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A, \quad (2.3)$$

$$\sin a \cos B = \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A, \quad (2.4)$$

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} = \text{const}; \quad (2.5)$$

Мұндағы бірінші формула косинустар формуласы, екінші формула бес элементтер формуласы, ал үшінші формула синустар формуласы деп аталады. Осы үш қатынас сфералық үшбұрыштар мәселесін шешуде негізгі роль атқарады. Сфералық үшбұрыштың бір бұрышы тік болса, мысалы $A=90^\circ$, жоғарғы қатынастардан мына формула шығаруға болады

$$\frac{\text{tg} B}{\text{tg} b} = \sin C. \quad (2.6)$$

№ 2 дәріс

Жер пішіні. Географиялық координаттар

Астрономиялық бақылаулардың басым көпшілігі Жер бетінен жүргізілетіндіктен, бақылаушының қай жерде тұрғанына тәуелді болады. Бақылаушының орның анықтау үшін қажет болатын негізгі географиялық түсініктер мен терминдер және Жер пішіні туралы мәліметті шолып өтейік.

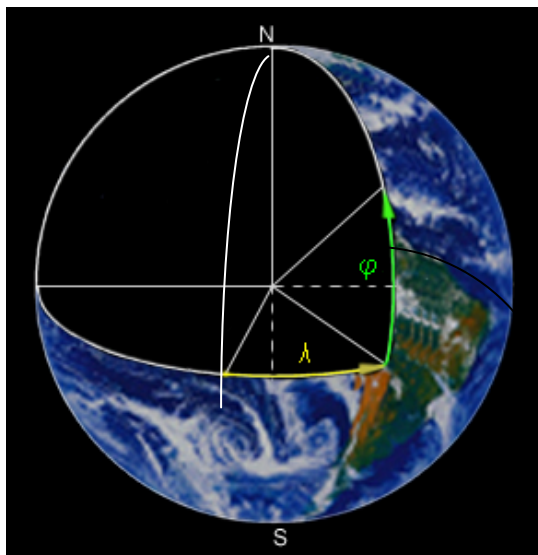
Жер пішінін бірінші жуықтауда радиусы $R_J=6370$ км болатын шар деп қарастырсақ болады. Жер өзінің масса центрінен өтетін белгілі бір ойша алынған түзу ($P_N P_S$) бойымен айналады, оны Жердің айналу осі деп атайды. Осы осің жер бетін қиып өтетін нүктелері солтүстік (P_N) және оңтүстік (P_S) географиялық полюстер деп аталады.

Солтүстік полюске сырттан қарағанда Жер сағат тіліне қарсы бағытта айналады. Айналу осіне перпендикуляр жазықтықта орналасқан Жер бетіндегі үлкен шеңбер Жер экваторы деп аталады. Осы сызық Жер бетін солтүстік және оңтүстік жартышарларға бөледі. Жер экваторына паралель кіші шеңберлер географиялық паралельдер деп аталады. Екі полюсты қосатын үлкен жартышеңберлер географиялық меридиандар деп аталады. Гринвич обсерваториясы арқылы өтетін географиялық меридианды бас меридиан деп атайды. Бас меридиан жатқан жазықтық Жер бетін батыс және шығыс жартышарларға бөледі.

Жердің берілген нүктедегі ауырлық күшінің бағытымен бағыттас түзу сызық ілме немесе вертикаль (тік) сызық деп аталады.

Жер бетіндегі кез келген нүкте екі географиялық координатпен толық анықталады. Олардың бірі – φ , географиялық ендік, екіншісі – λ , географиялық бойлық.

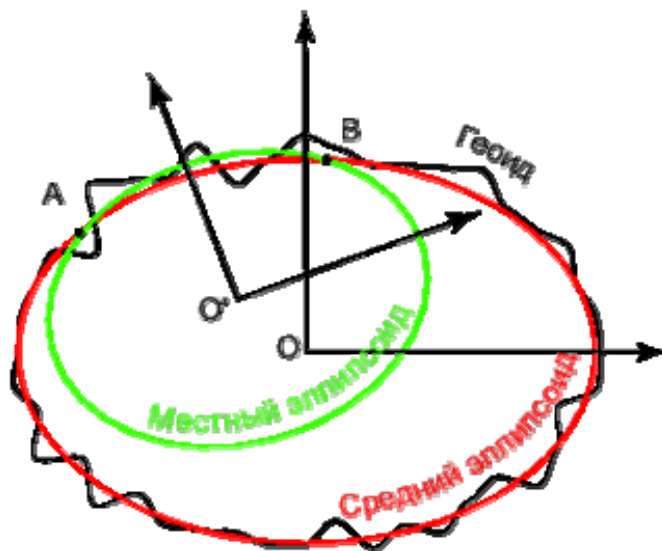
Берілген О нүктесінің географиялық ендігі деп сол нүктедегі ілменің Жер экваторы жазықтығымен жасайтын бұрышын айтамыз. Географиялық ендік экватордан бастап солтүстік полюске дейін 0° пен $+90^\circ$ (солтүстік ендік) аралығында, ал оңтүстік полюске дейін 0° пен -90° (оңтүстік ендік) аралығында өзгереді.



Берілген O нүктесінің географиялық бойлығы деп сол нүктеден өтетін географиялық меридиан жатқан жазықтық пен бас меридиан жатқан жазықтықтың арасындағы екіжақты бұрышты айтамыз (2.1 сурет). Географиялық бойлық бас меридианнан бастап шығысқа қарай (яғни Жердің айналу бағытында) градусармен өлшегенде 0° пен 360° немесе, сағатпен өлшегенде, 0^h 24^h аралығында өзгереді. Географияда бойлықты шығысқа қарай 0° пен $+180^\circ$ (шығыс бойлық) аралығында, батысқа қарай 0° пен -180° (батыс бойлық) аралығында өлшейді.

Жоғарыда айтылғандай, көптеген астрономиялық есептерді шешу кезінде Жерді радиусы 6370 км тең біртекті шар ретінде қарастыруға болады. Бұл жағдайда кез келген нүктедегі ілме сызығы Жер центрінен өтеді, ал географиялық меридиандар мен экватор радиустары бірдей (Жер радиусына тең) шеңберлер болып табылады деп есептеуге болады. Онда Жердің кейбір нүктесінің географиялық ендігін меридианның экватордан бұл нүктеге дейінгі доғасымен, ал географиялық бойлығын экватордың бас меридианнан бұл нүктеден өтетін меридианға дейінгі доғасымен өлшеуге болады.

Бірақ жоғары дәлдікті қажет ететін өлшеулер үшін Жерді шар деп қарастыруға болмайды, өйткені ол өз осінен айналғандықтан, Жер затына әсер ететін центрден тепкіш инерциялық күш пайда болады да, бұл әсерден Жер айналу осі бойымен сығылған болады. Оған қоса Жер беті нүктелерінің биіктігі континенттер шегінде бірнеше километр аралықта өзгереді. Сондықтан Жердің дәл пішіні ешбір белгілі математикалық фигураға сәйкес келмейді. Ыңғайлық үшін Жердің нақты күрделі физикалық бетін қарапайым математикалық пішінмен жуықтауға керек. Жер бетін жуықтайтын фигуралар ретінде геоид пен айналма эллипсоидті алады.



2.2 сурет - AB аймақтың жергілікті (референц-) эллипсоиді мен орта жер эллипсоидін анықтау

Жалпы Жер пішіні дегенде Жер қыртысындағы қатпарлар мен ойпаттарды елеместен геоид деген бетті айтады. Геоид деп Жер бетін түгелдей су басып жатыр деген және толқындар мен Жерге басқа аспан денелер жағынан әсер ететін

тасулық күштер жоқ деген жорамал жағдайындағы беттің қабылдайтын пішінін айтады. Мұндай бет жердің тепе-теңдік (деңгейлік, эквипотенциялық) беттердің біріне сәйкес келеді. Тепе-теңдік беті деп кез-келген нүктесінде ілме сызығына нормаль болып табылатын бетті атаймыз. Сөйтіп геоид – теңіздің орташа деңгейіне сәйкес келетін, барлық нүктелерінде ауырлық күшіне нормаль болатын бет.

Жер қыртысындағы массаның үлестірілуі біркелкі емес болғандықтан геоидтің қарапайым геометриялық пішіні болмайды, бірақ ол айналма эллипсоидке (сфероидке) өте жақын болады. Айналма эллипсоид – эллипстің өзінің кіші өсі бойымен айналуы нәтижесінде алынатын фигура. Әдетте геоидтің беті континенттер ішінде эллипсоидтен жоғары, ал мұхиттерде одан төмен өтеді.

Жердің нақты пішінін зерттеу геодезия мен гравиметрияның негізгі міндеттеріне жатады және геоидке ең жақын эллипсоидтің элементтерін табу мен геоидтің жеке бөліктерінің эллипсоидке қатысты орналасуын анықтауда тұрады. Жер пішінін зерттеу үшін эллипсоидтің екі түрін енгізеді. Ол геоидті Жер бетінің берілген бір аймақта жуықтайтын референц-эллипсоидтер және орташа жер эллипсоидтер, олардың геометриялық параметрлер нақты Жердің физикалық параметрлермен (массамен, сығылумен, инерция моменттерімен) анықталады. Топографиялық ерекшеліктер (таулар, ойпаттар) таңдап алынған эллипсоидтен ауытқулар ретінде қарастырылады.

Кестеде кейбір ең жиі қолданылатын орташа жер эллипсоидтердің параметрлері келтірілген

Аталуы	a , км	$1/f$	GM , m^3c^{-2}	J_2 , 10^{-3}	Ω , 10^{-6} рад/с
WGS 84	6378.137	298.25722356	3.986004418	1.08263	7.292115
GRS 80	6378.137	298.257222101	3.986005	1.08263	7.292115
IERS 96	6378.13649	298.25645	3.986004418	1.0826359	7.292115

Мұнда a - экватор жазықтығында жататын эллипсоидтің үлкен жартыөсі (Жердің экваторлық радиусы), $f=(a-b)/a$ – эллипсоидтің геометриялық сығылуы (b - Жердің полюстік радиусы), G - гравитациялық тұрақты, J_2 - Жердің динамикалық форм-факторы деп аталатын шама: $J_2 = (C - A)/(Ma^2)$ (C мен A – Жердің бас инерция моменттері), Ω - Жер айналуының бұрыштық жылдамдығы.

Әр эллипсоид үшін келтірілген параметрлер тұрақтылар болып табылады, яғни олар дәлме-дәл белгілі деп есептеледі.

GPS серіктік навигация жүйесі координаттарды WGS84 (World Geodetic System 1984) орташа жер эллипсоид жүйесінде береді. IERS96 (International Earth Rotation Service 1996) эллипсоидін базалары асаузын радиоинтерферометрлердегі (БАҰР-дағы) бақылауларды өңдеу кезінде қолдануға ұсынылады. Геодезиялық жұмыстар үшін Геодезияның халықаралық ассоциациясының Ассамблеясымен

1979 жылы қабылданған GRS80 (Geodetic Reference System 1980) эллипсоидті қолдануға ұсынылады.

Жалпысында айтсақ, Жер пішіні тасу әрекеті, тектоникалық плиталардың қозғалысы және өздік тербеліс салдарынан уақыт бойынша да өзгеріп отырады. Бірақ бұл өзгерістердің шамасы өте аз болғандықтан астрономиялық бақылауларға әсері жоқ деп есептеуге болады.

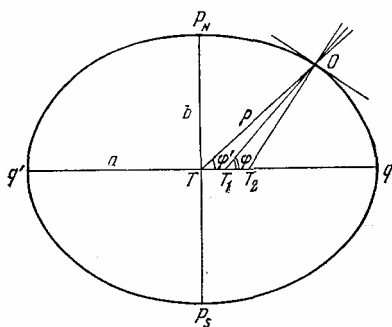
Барлық осы себептерден ілме жер бетінің кез келген нүктелер үшін сфероидтың радиус векторымен бағыттас бола бермейді. Сфероид бетіне түсірілген нормаль түзудің бағыты да ілме бағытына сәйкес болмауы мүмкін. Осыған байланысты географиялық ендіктің үш түрін қарастырады. Олар астрономиялық, геоцентрлік және геодезиялық ендіктер.

Астрономиялық ендік деп берілген нүктедегі ілме мен Жер экваторы жазықтығы арасындағы бұрышты атаймыз. Белгіленуі φ .

Геоцентрлік ендік деп жер бетіндегі берілген нүктеге жүргізілген радиус-вектор мен Жер экваторының жазықтығы арасындағы бұрышты атаймыз. Белгіленуі φ' .

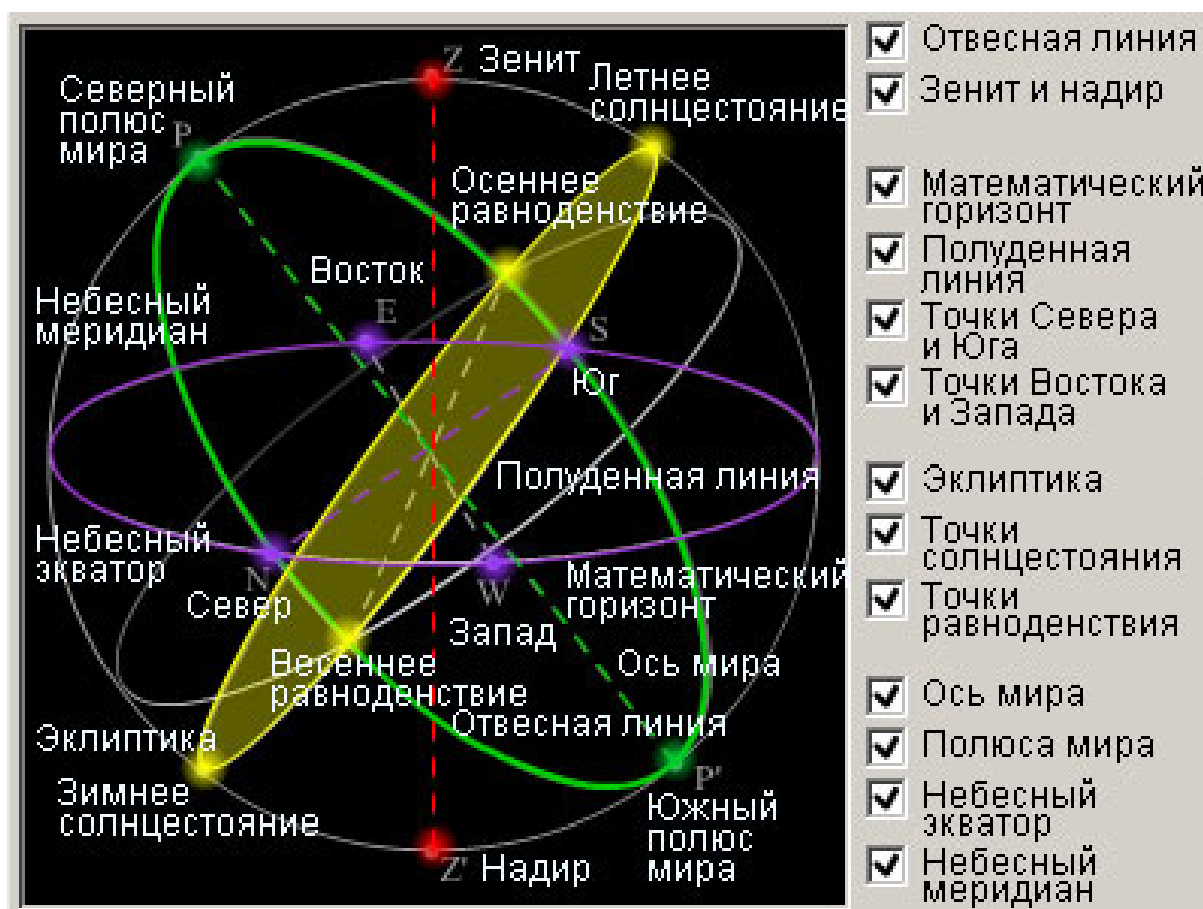
Геодезиялық ендік деп берілген нүктеде сфероид бетіне жүргізілген нормаль мен Жер экваторының жазықтығы арасындағы бұрышты атаймыз. Арнайы белгіленуі жоқ.

Астрономиялық өлшеулерден тек астрономиялық ендікті анықтауға болады. Геодезиялық және гравиметриялық өлшеулерден берілген нүктедегі ілменің ауытқуы, яғни ілме сызығының нормаль түзуден ауытқуы, ал оның негізінде геодезиялық ендік анықталады. Геоцентрлік ендік оны геодезиялық ендікпен байланыстыратын аналитикалық геометрияның формулалары негізінде анықталады. Астрономиялық ендік пен геодезиялық ендік арасындағы айырмашылық (аномальды жерлерді ескермейтін болсақ) $3''$ аспайды. Сондықтан әдетте астрономиялық есептеулерде ол еске алынбайды да, астрономиялық пен геодезиялық ендіктер бірдей деп саналады. Ал геоцентрлік ендік пен астрономиялық ендік арасындағы айырмашылық $12'$ дейін барады. Полюстар мен экваторда олардың айырмашылығы жоғалады.



2.3 сурет - Астрономиялық, геоцентрлік және геодезиялық ендіктерді анықтау

№ 3 дәріс



Аспан сферасы

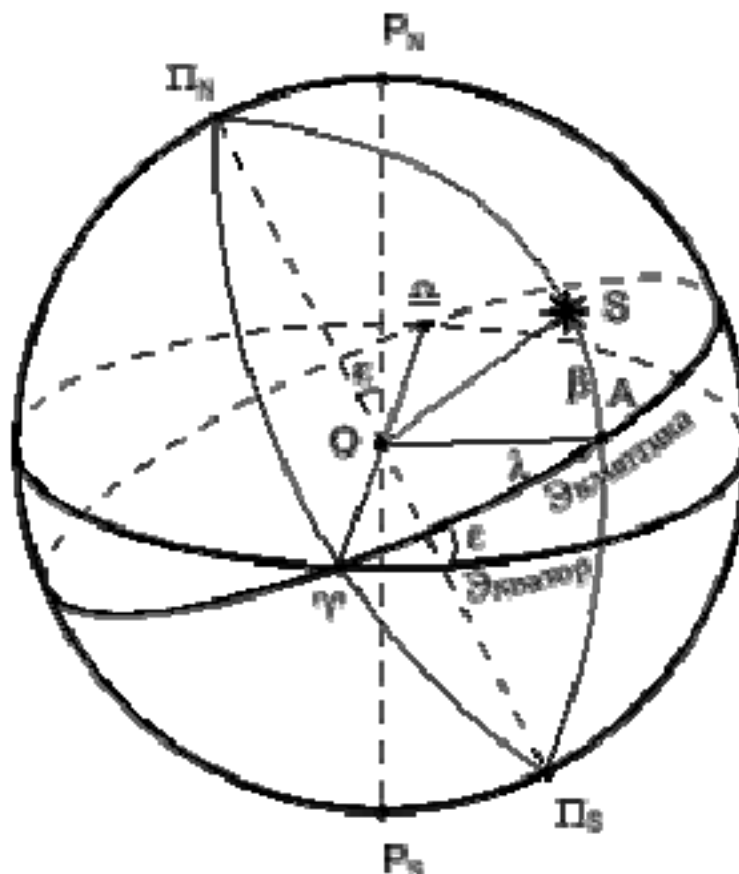
Эклиптикалық координаттар жүйесі

Ежелгі астрономдар Күннің аспандағы көрінетін қозғалысын зерттеу барысында оның жұлдыздарға қарағанда аспан сферасының үлкен шеңбері болып табылатын белгілі бір сызық бойымен аспан сферасының айналу бағытына қарама- қарсы бағытта біржылдық периодпен қозғалатынын анықтаған. Бойымен Күн жылдық қозғалыста болатын аспан сферасының осы үлкен шеңбері эклиптика деп аталады. Эклиптика аспан экваторымен көктемгі Υ және күзгі Ω күн мен түннің теңелу нүктелерінде қиылысады. Осы нүктелерден 90° қашықтықта орналасқан эклиптика бойындағы екі нүкте жазғы Σ (солтүстік жартысферада орналасқан) және қысқы Υ (оңтүстік жартысферада орналасқан) күн тоқырау нүктелері деп аталады. Эклиптика сызығы жатқан жазықтық эклиптика жазықтығы деп аталады. Эклиптика жазықтығы мен аспан экваторы жазықтығының қиылысу сызығы аспан экваторының түйіндер сызығы деп аталады. Күн мен түннің теңелу нүктелерін осы сызықтың эклиптикадағы түйіндері деп атайды. Эклиптика жазықтығы мен аспан экваторы жазықтығының арасындағы бұрыш $\varepsilon = 23^\circ 26'$. Эклиптика жазықтығына перпендикуляр болатын аспан сферасы диаметрі эклиптика осі деп аталады. Эклиптика осінің аспан сферасымен қиылысу нүктелері эклиптика полюстері деп аталады. Эклиптиканың

солтүстік полюсі аспан сферасының солтүстік жартысферасында, оңтүстік полюсі оңтүстік жартысферасында орналасқан.

Эклиптика полюстері мен шырақ арқылы өтетін аспан сферасының үлкен жартышеңбері ендік шеңбері деп аталады.

Эклиптикалық координаттар жүйесінің негізгі жазықтығы ретінде эклиптика жазықтығы алынады. Негізгі нүктелер ретінде эклиптика полюстері және көктемгі және күзгі күн мен түннің теңелу нүктелері алынады. Бірінші координат ретінде шырақтың эклиптикалық ендігі β алынады. Екінші координат ретінде шырақтың эклиптикалық бойлығы λ алынады.



3.1 сурет- Эклиптикалық координаттар жүйесі

Шырақтың эклиптикалық ендігі деп ендік шеңбері бойымен эклиптикадан бастап сол шыраққа дейінгі доғаны немесе эклиптика жазықтығы мен шыраққа дейінгі бағыттың арасындағы бұрышты айтамыз. Эклиптикалық ендік -90° 90° аралығындағы мәндерді қабылдайды. Шырақтың эклиптикалық ендігі эклиптиканың солтүстік полюсіне қарай 0° 90° арасында өлшенеді, оңтүстік полюсіне қарай 0° -90° арасында өлшенеді.

Шырақтың эклиптикалық бойлығы деп күннің жылдық қозғалысы бағытында өлшенетін көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесінен (γ) бастап эклиптика бойымен шырақтың ендік шеңберіне дейінгі доғаны немесе көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесіне дейінгі бағыт пен шырақтың ендік шеңбері жатқан жазықтық арасындағы бұрышты айтамыз. Шырақтың эклиптикалық бойлығы

градуспен алғанда 0° 360° аралығындағы мәндерді қабылдайды. Бір ендік шеңберінде жатқан шырақтардың эклиптикалық бойлықтары бірдей болады.

Эклиптикалық координаттар жүйесі негізінен теориялық астрономияда аспан денелерінің орбиталарын анықтауда қолданады.

№ 4 дәріс

Галактикалық координаттар жүйесі

Тағы бір жиі (әсіресе жұлдыздар динамикасында) қолданатын координаттар жүйесі – галактикалық жүйе.

Біздің Галактика, немесе Құс жолы, шиыршықты галактика болып табылады. Оның негізгі құраушылары – диаметрі 100000 жарық жылдан көп жазық диск, ядро және гало. Жұлдыздар мен газтозаңды бұлттардың көбі галактикалық дискте жиналған. Дискінің құрылымы біртекті емес: бірнеше шиыршықты тармақтың бар екені белгілі, бұл тармақтарда жұлдыздар мен газдың тығыздығы орта мәнінен айтарлықтай жоғары. Жұлдыздардың айтарлықтай бөлігі Галактиканың орталық аймағына (ядросына) қарай жиналған болып табылады да, Галактика центрінде **қампаюді** түзеді. Галонның пішіні сфераға жақын, ол ескі жұлдыздар мен шартәрізді шоғырлардан тұрады.

Күг Галактиканың шетіне жақын (центрінен шамамен 28000 жарық жыл қашықтықта) ораналасады және Галактиканың дискін құрайтын жұлдыздардың бірі б.т. Біз Галактикаға ішінен, оның дискінде орналасып қарағандықтан, бұл диск бізге аспан сферасында жұлдыздар жолағы (Құс долы) түрінде көрінеді. Оған жақын жұлдыздармен бірге Күн шамамен 250 км/с жылдамдықпен Аққу шоқжұлдыз бағытында қозғалады. Бұл қозғалыс галактикалық дискінің айналуымен себетелінеді. Күн Галактика центрі бойымен бір толық айналымды ~ 200 млн.жыл ішінде жасайды.

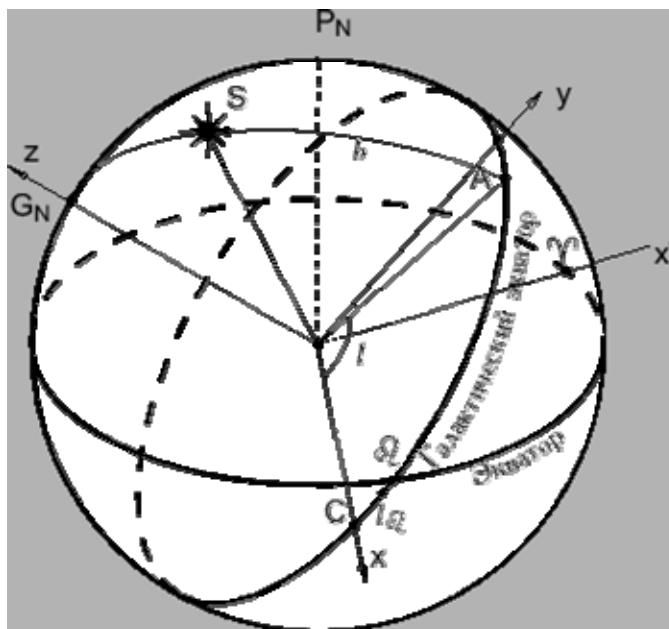
Галактикадағы жұлдыздардың қозғалысын зерттеу үшін галактикалық координаттар жүйесінің негізгі жазықтығы ретінде дискінің жазықтығын алуға ыңғайлы. Бұл жазықтықтың экваторлық координаттар жүйесіне қатысты орналасуы галактикалық жүйе полюстер біреуінің координаттарымен беріледі.

HIPPARCOS жобаның нәтижелерін өңдеу барысында галактикалық координаттар жүйесі былай анықталған болды. J2000.0 дәуірінде экваторлық координаттары $\alpha = 192^\circ,85948$, $\delta = 27^\circ,12825$ болған нүктені G_N деп белгілейік және *галактикалық солтүстік полюс* деп, ал оған диаметралды қарама-қарсы нүктені - *галактиканың оңтүстік полюсі* деп атайық. Бұл полюстерді жалғастыратын түзуге перпендикуляр үлкен шеңберді *галактикалық экватор* деп атайық.

S шырақтан және Галактика полюстерінен өтетін үлкен шеңбер *галактикалық ендік шеңбері* д.а.

Егер A нүкте ендік шеңбері мен галактикалық экватор қиылысунүктесі болса, онда $\widehat{AS}$ доғасы жұлдыздың галактикалық ендігі д.а.: $\widehat{AS} = b$. Галактикалық ендіктер солтүстік жартышарда оң, ал оңтүстік жартышарды теріс болады: $-90^\circ \leq b \leq 90^\circ$. Галактикалық бойлықтар (l) бұрын δ шығу түйінінен, яғни тік шарықтауы

$\sim 18^h 40^m$ тең, галактикалық және аспан экваторларының қиылысу нүктесінен есептелген еді. Қазір бойлықтарды санау басы ретінде Галактика центрінің бағытын белгілейтін (анықтайтын) С нүкте алынады, ол ϱ шығу түйінінің галактикалық бойлығымен анықталады: $l_{\varrho} = 32^{\circ},93192$ болу тиіс. Галактикалық бойлықтар 0° –тан 360° -қа дейін солтүстік полюстен қарағанда сағат тіліне қарама-қарсы бағытта есептелінеді.



4.1 сурет - Галактикалық координаттар жүйесі

Галактиканың солтүстік полюс бағытындағы бірлік векторды k_g деп белгілеп, ал Галактика центріне бағытталған бірлік векторды i_g деп белгілейік. Онда галактикалық жүйенің Ox осін i_g вектордың бойымен, ал Oz осі - k_g вектордың бойымен бағыттауға болады. Oy осі j_g бірлік векторымен анықталады, $j_g = k_g \times i_g$.

Бұған ұқсас әдіспен (базистік векторларының үштігін беру арқылы) кезкелген басқа да координаттар жүйелерін анықтауға болады. Мұндай анықтау координаталарды бір жүйеден басқа жүйеге түрлендіру өрнектерін табуды оңайлатады.

№ 5 дәріс

Қазіргі заманғы астрометрияда координат жүйелерін анықтау

Астрометрияның негізгі міндеті бақылаулар нәтижелеріне сүйеніп, аспан денелерінің орналасу мен жылдамдықтарының векторларын, сондай-ақ денелер пішінін анықтауда тұратыны сендерге белгілі. Дененің орналасуы (немесе координаталары) тек басқа бір денеге (немесе таңдап алынған белгілі бір нүктеге) қатысты анықталуы мүмкін. Астрономияда координаттар таңдап алынған санақ жүйесінде анықталады.

Денелердің координаттары мен жылдамдықтарын анықтау үшін классикалық механика қолданылса, санақ жүйесі инерциялық болуға тиісті. Кеңістік Евклидікі

(Ньютон терминологиясы бойынша абсолютті) болып табылады деген болжауда, абсолютті кеңістікке қатысты тыныштықтағы немесе тұзусызықты бірқалыпты қозғалыстағы ғана жүйе инерциялық бола алады. Нютон механикасында уақыт та абсолютті болып табылады, яғни уақыт ағысы сағаттың кеңістіктегі орналасуына және жылдамдығына тәуелсіз болады. Сонда координаттар басын кеңістіктің бір нүктесінен екіншіге ауыстырғанда (яғни бір инерциялық санақ жүйесінен екіншіге ауысқанда) физика заңдары өзгермейді. Олар мұндай координаттар түрлендіруіне қатысты ковариантты болып табылады деп айтады. Бірмезгілде болған екі оқиға арасындағы қашықтық та әр түрлі инерциялық жүйелерде бірдей болады, яғни инвариантты шама болып табылады.

Классикалық механикадан салыстырмалылықтың арнайы теориясына ауысқанда кейбір ұғымдарды өзгерту керек. Бір инерциялық санақ жүйесінен екіншіге түрленуі Лоренц теңдеулер көмегімен жасалынады. Салыстырмалылық теориясында Лоренц-түрлендіру барысында физика заңдары өзгермейтіні, яғни олар лоренц-ковариантты болып табылатыны дәлелденеді. Уақыт ағысы сағаттың кеңістіктегі жылдамдыққа тәуелді болады. Бұл әртүрлі инерциялық жүйелердегі екі оқиға арасындағы уақыт аралығы инвариант болып табылмайтының көрсетеді: мысалы, меншікті уақыт (яғни қозғалыстағы бақылаушымен байланыстырылған лабораториялық санақ жүйесінде өлшенетін уақыт) инерциялық координаттар жүйесіне қатысты тыныштықтағы сағатпен өлшенетін уақыттан баяу ағады.

Тартылыс өрістері болғанда салыстырмалылықтың арнайы теориясының заңдары жалпы жағдайда орындалмайды. Бірақ, салыстырмалылықтың жалпы теориясы көрсететіндей, кеңістіктің шектелген аймақтарында арнайы тәсіл көмегімен үдемелі қозғалатын координаттар жүйесін таңдап алуға болады: жүйенің үдеуі кеңістіктің қарастырылып отырған аймағына орналастырылған еркін бөлшек алатындай үдеуге (яғни бұл аймақтағы гравитациялық өрістің әсерінен алатын үдеуіне) тең болса, онда бұл жүйені локальды инерциялық деп есептеуге болады. Бұл жүйеде салыстырмалылықтың арнайы теориясының заңдары жоғары дәлдікпен орындалады. Бір локальды инерциялық жүйеден екіншіге ауысқан кезде координаттар түрлендіруі Лоренц теңдеулерімен анықталады.

Санақ жүйесі теориялық ұғым болып табылатыны түсінікті: сол жүйенің негізгі жазықтықтар мен нүктелер, сондай-ақ координат остері ресми келісімдер негізінде белгіленеді. Сендер астрономияда қолданылатын негізгі жүйелермен таныстындар.

Ал аспанда (аспан сферасында) бұл нүктелер мен остер белгілінген (сызылған) емес. Сондықтан астрономияда координаттар жүйелерін анықтау (белгілеу) үшін аспан денелері қолданылады. Яғни санақ жүйесінің жүзеге асырылуы (практикадағы реализациясы) ретінде қалап алынған **белгілі бір сандағы** объекттердің (мысалы, жұлдыздардың немесе радиокөздердің) координаттары мен жылдамдықтарының тізімі қабылданады. Мұндай тізім каталог деп аталады. Әр жеке каталог санақ жүйенің жүзеге асырылуларының (реализацияларының) бірі болып табылады.

Іс жүзінде санақ жүйесінің негізгі жазықтықтар мен остерін екі тәсіл көмегімен анықтауға болады: кинематикалық және динамикалық. Кинематикалық

тәсіл мынада тұрады. Егер координаттары белгілі және тұрақты болып табылатын денелер бар болса, онда бұл денелермен инерциялық, немесе, астрометрияда айтылатындай, іргелі (түбегейлі, фундаменталь) координаттар жүйесін байланыстыруғы болады.

Бірақ бақылаулардың қателіктері болғандықтан іс жүзінде аспан денелерінің координаттары дәлме-дәл белгілі болмайды, оған қоса олар әртүрлі себептерден өзгеруі мүмкін. Бұл жағдайда инерциялық жүйеге ең жақын жуықтау ретінде координаттары ең жоғары дәлдікпен белгілі және тек кездейсоқ қателіктерден бұрмаланған объекттермен анықталатын жүйе алынады. Мұндай жүйе *орта есеппен алғанда* айналмайды деп санап, оны *квазиинерциялық* деп атауға болады. Қазіргі уақытта Галактикадан тыс радиокөздердің координаттарымен белгіленетін жүйе ең жақсы жүйе болып табылады. Жұлдыздардың HIPPARCOS каталогы квазиинерциялық жүйенің ең жақсы оптикалық жүзеге асырылуы болып табылады.

HIPPARCOS ғарыштық жобасы 20 ғ. 90-шы жылдары іске асырылған еді, оның негізгі жетістіктерінің бірі – Күннен 1 кпк-ке дейінгі қашықтықта орналасқан ~120000 жұлдыздардың параллакстарын (яғни оларға дейінгі қашықтықтарды) жоғары дәлдікпен өлшеу (олардың дәлдігі жоғары каталогын жасау). Бұл жұлдыздар орналасқан көлем Галактика көлемінің өте аз бөлігі болып табылса да, бұл қашықтықтарды анықтау өте маңызды болды, өйткені ол Күннің ең жақын төнірегіннің үшөлшемді суретін құруға мүмкіндік берді. Бұл жоба туралы толығырақ кейін әлі сөйлейміз.

Егер санақ денелер ретінде Күн жүйесінің құрамына кіретін денелер алынса, және де олардың координаттары Кориолис мүшелерін кіргізбейтін қозғалыс теңдеулері негізінде анықталса, координаттар жүйесі динамикалық тәсіл көмегімен анықталған дейді. Ең қарапайым жағдайда, яғни дене орталық денеге қатысты эллипстік орбита бойымен Кеплер қозғалысында болған жағдайда, координаттар жүйесін орбита жазықтығымен анықтауға болады, бұл жағдайда орбита өзінің кеңістіктегі орналасуын сақтайды; z осін орбита жазықтығына перпендикуляр деп белгілеуге, ал x осі ретінде эллипстің үлкен жартыосін алуға болады, Ньютон механикасы шеңберінде x осі өзінің орбита жазықтығындағы орналасуын сақтайды. y осін арнайы теңдеумен беріп, координаттардың инерциялық жүйесін анықтауға болады. Дененің айналу периоды тұрақты болғандықтан, динамикалық санақ жүйесінде уақыттың динамикалық шкаласын анықтауға болады, оны *эфемеридалық* деп атайды.

Іс жүзінде орбита жазықтығының кеңістіктегі орналасуы да, үлкен жартыостің орбита жазықтығындағы орналасуы да күн жүйесінің басқа денелер жағынан әсерден пайда болатын *ұйытқулар* себебінен, салыстырмалылықтың жалпы теориясының эффектері себебінен тұрақты болып қалмайды. Сондықтан динамикалық санақ жүйесі *эфемеридалармен*, яғни Күн, Ай және үлкен планеталардың орналасулар кестелерімен, беріледі. Қазіргі уақытта Реактивті қозғалыстың лабораториясымен (Jet Propulsion Laboratory, JPL) есептелінген DE200/LE200, DE403/LE403 және DE405/LE405 эфемеридалар кең қолданылады. DE405/LE405 эфемеридалар Жер айналуының халықаралық қызметімен (International Earth Rotation Service, IERS) стандартты ретінде қолдану үшін

ұсынылған, және олар жуырда жылнамаларды құрастыру үшін негіз болып табылатын DE200/LE200 эфемеридаларды алмастырады деп күтілуде.

Динамикалық эклиптиканың кинематикалық жүйедегі орналасуын анықтау үшін арнайы зерттеулер (Айдың қозғалысын зерттеу, ғарыштық зондтардың квазарларға қатысты бақылаулар, яғни бірізгі кинематикалық та, динамикалық та жүйелердегі бақылаулар, т.с.с.) қажет. Көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесін кинематикалық жүйеге байланыстырудың ең ұтымды әдісі - асаузын базалардағы радиointерферометрлер (АҰБР, олар туралы сөз кейін болады) көмегімен пульсарларды квазарларға қатысты бақылау және онымен бірізгіде пульсарларды хронометрлеу (немесе *тайминг*).