

## Дәріс 5. Жер қозғалысы.

### Дәріс жоспары

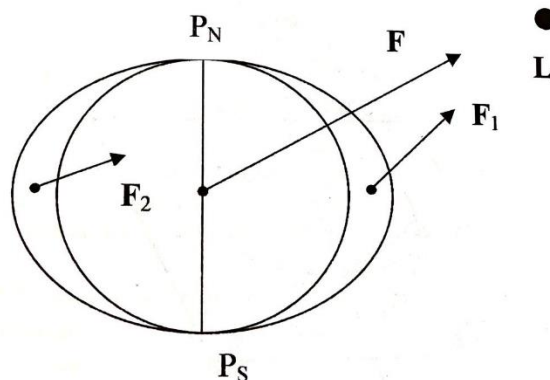
1. Жер қозғалысы. Жер осінің прецессиялық және нутациялық қозғалысы
2. Жер осінің прецессиялық қозғалысының салдарлары
3. Жер полюсінің жер беті бойымен қозғалысы.
4. Жер айналуының бірқалыпсыздығы.

### 1. Жер қозғалысы

Жер координаттар жүйесінің инерциялық координаттар жүйесіне қатысты орналасуы Жердің меншікті айналуынан, прецессия мен нутациядан өзгереді. Сондықтан зерттеліп отырған объектінің координаттарын бақылаушымен байланысты жүйеден әуелі жер координаттар жүйесіне, ал одан кейін инерциялық жүйеге айналдыру үшін Жер пішінін Жердің айналу параметрлерін білу керек.

Жер біртекті немесе тығыздықтары біртекті сфералық қабаттардан тұратын шар болса, онда, механика заңдарына сәйкес, Жердің айналу осінің бағыты мен айналу периоды мейлінші ұзақ уақыт аралығы ішінде тұрақты болып қалатын еді.

Бірақ Жердің пішіні дәл сфералық емес, сфероидке жақын. Сфероид материялық дененің ( $L$ ) тарту күші оның ішінде белініп алған шарды тарту күшінен ( $F$ ) (бұл күш сфероидті центріне түсірілген), экваторлық дөңестің (томпаюдың)  $L$  денеге ең жақын жартысына түсірілген  $F_1$  тарту күшінен, және экваторлық дөңестің (томпаюдың) екінші,  $L$  денеден алыс жартысына түсірілген  $F_2$  тарту күшінен қосылады (1-сурет).

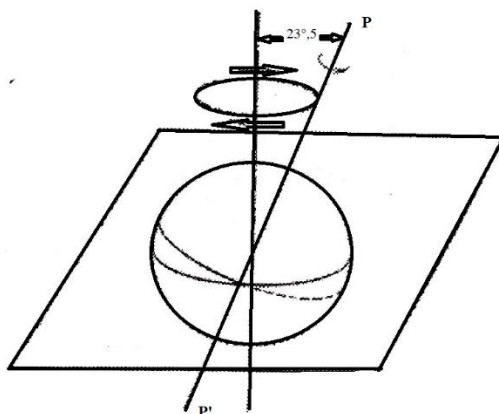


Сурет 1. Сфероидтің сыртқы денеге тартылысы

$F_1$  күші  $F_2$  күшінен көп болады, сондықтан L дененің тарту күші сфероидтің  $P_N P_s$  айналу осін сфероридтің экватор жазықтығы TL бағытымен беттесетіндей етіп бұруға тырысады. Бұл жағдайда  $P_N P_s$  айналу осі  $F_1$  мен  $F_2$  күштер жатқан жазықтыққа перпендикуляр бағытта бұрылатыны механикадан белгілі.

Сфероидті Жердің экваторлық дөңестеріне Ай мен Күн жағынан айнымалы тартылыс күштер әсер етеді. Бұның нәтижесінде Жердің айналу осі кеңістікте өте күрделі қозғалыс болады.

Ең алдымен, ол эклиптика жазықтығына  $66^{\circ}34'$  қа тең көлбеу бұрышын сақтап, эклиптика осі бойымен конусты сызады (2- сурет). Жер осінің бұл қозғалысы прецессиялық деп аталады, оның периоды 26000 жылға жақын. Жер осінің прецессиясы салдарынан элем полюстері осы период ішінде эклиптика полюстері бойымен радиусы  $23^{\circ} 26'$  қа жақын шеңберлерді сызады. Күн мен Ай әрекетімен себептелетін прецессия ай-күн прецессиясы деп аталады.



Сурет 2. Жер осінің прецессиялық қозғалысы

Нутациялық тербелістер Күн мен Айдың прецессиялық күштер ( $F_1$  мен  $F_2$  күштер) өз мәндері мен бағытын үздіксіз өзгертіп тұратынына байланысты келеді: Күн мен Ай Жер экваторының жазықтығында орналасқанда бұл күштердің моменті 0-ге тең, ал олар аталған жазықтықтан ең көп алшақтағанда максимал болады. Бұған байланысты Жердің айналу осі прецессиялық қозғалысқа коса өзінің орташа орналасу маңайында ұсақ тербелістерді жасайды, бұл тербелістер Жер осінің нутациясы деп аталады.

Негізгі нутациялық тербелістің периоды 13,7 тәул., 27,6 тәул., 6 айға, 1 жылға және 18,6 жылға тең. Периоды 18.6 жылға тең тербеліс Жер осінің ең басты нутациялық тербелісі болып табылады, оның амплитудасы максимал, 9,2 тең. Дәлірек айтсақ, бұл қозғалыс

салдарынан әлем полюстері аспан сферасында үлкен остері  $18''{,}42$  тең, ал кіші остері  $13{,}72$  тен эллипстерді сызады.  $18{,}6$  жыл ай түйіндерінің айналу периодына тең, яғни бұл нутациялық тербеліс ай орбитасы жазықтығының бұрылуымен себептеледі. Ұсақтау тербелістер Жер мен Ай орбиталарының эллипстігімен, Ай орбитасының эклиптикаға көлбеуімен, тағы басқа себептерімен байланысты болады. Жалпы, Жер нутациясының ХАО 1980 теориясы периодтары  $4{,}7$  тәуліктен  $18{,}6$  жылға дейін, ал амплитудалары доғаның  $9''{,}2$ -ден  $1$  миллисекундіне дейін өзгертін нутациялық қозғалыстың  $106$  гармоникасын ескереді.

Нутациялық қозғалыс екі құраушыға бөлінген:  $\Delta\psi$  – бойлықтағы нутация және  $\Delta\epsilon$  - көлбеудегі нутация. Жер осінің прецессиясы мен нутациясы нәтижесінде әлем полюстері аспанда күрделі толқынды сызықтарды сызады.

Ғаламшарлардың тартылысы Жер осінің орналасуын өзгерту үшін әлсіз болып табылады, бірақ ол Жердің Күн бойымен қозғалысына әсер етеді: ол эклиптика жазықтығының кеңістіктегі орналасуын өзгертеді. Бұл өзгерістер *ғаламшарлық прецессия* деп аталады, ол көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесін шығысқа қарай жыл сайын  $0''{,}114$  қа ығыстырады.

## **2. Жер осінің прецессиялық қозғалысының салдарлары**

Жоғарыда Жер осінің прецессиясы салдарынан әлем полюстері  $26\ 000$  жылға жуық период ішінде эклиптика полюстері бойымен радиусы  $23^{\circ}26'$  қа жақын шеңберлерді сызатыны айтылды. Бірақ эклиптика полюстері де ғаламшарлық прецессия себебінен аспан сферасындағы орнын ауыстырып тұратындықтан, әлем полюстері сызатын қисықтар түйікталмайды.

Қазіргі уақытта әлемнің солтүстік полюсі Жетіқарақшы шоқжұлдызының  $\alpha$  жұлдызына жақын орналасады, сондықтан оны *Полюстік жұлдыз* деп атайды (Темірқазық). Бірақ  $4000$  жыл бұрын әлемнің солтүстік полюсіне Айдаһардың  $\alpha$ -сы ең жақын орналасты, ал  $12000$  жылдан кейін Лираның  $\alpha$ -сы (Вега) «полюстік жұлдыз» болады.

Әлем осі бағытының өзгеруімен бірге жазықтығы бұл оське перпендикуляр, ал жер экваторына параллель әлем экваторының орналасуы да өзгереді. Эклиптика жазықтығы да ғаламшарлар әсерінен болатын прецессия салдарынан өзінің кеңістіктегі орналасуын өзгертеді. Сондықтан әлем экваторы мен эклиптикамен

қиылысу нүктелері (күн мен түннің теңелу нүктелері) жұлдыздар арасында батысқа қарай жылжиды.

Бұл жылжудың жылдамдығы бір жыл ішінде  $1=360^\circ/26000=50'',26$  құрайды да, *эклиптикадағы жалпы жылдық прецессия* деп аталады.

Экватордағы жалпы жылдық прецессия  $m = 50'',26 \cos \varepsilon = 46'',11$ , мұнда  $\varepsilon$  - эклиптиканың экваторға еңкеюі, ол қазіргі уақытта баяу (жыл сайын  $0'',47$  қа) азаяды, бірақ бірнеше мыңжылдықтан кейін бұл азаю тап осындай баяу көбейуге ауысады, өйткені бұл ұйытқу (ғаламшарлық прецессия) периодты сипатта болады.

Күн мен түннің теңелу нүктелерінің қозғалысы Күннің эклиптика бойымен жылдық көрінетін қозғалысына қарай бағытталғандықтан, Күн бұл нүктелерге әр жолы олар жылжымаған жағдайдағыдан көрі ертерек келеді («прецессия» деген сөзбен күн мен түн теңелулерінің алдын ала болуын түсіндіреміз). Бұл себептен тропикалық жыл деп аталатын Күн центрінің көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесін бірінен соң бірі болатын өтулер арасындағы уақыт аралығы жұлдыздық жыл деп аталатын Жердің Күн бойымен айналу периодынан қысқа болады. Бұл екі жыл арасындағы айырмасы 20 минутқа жуық тәулік ішінде шамамен  $1^0$  жылдамдықпен эклиптика бойымен қозғалып, Күн  $50'',26$  ты осы уақыт ішінде өтеді.

Көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі экваторлық және эклиптикалық координаттар жүйелерінде санаудың басы болып табылады. Сондықтан оның батысқа қарай қозғалысы салдарынан барлық жұлдыздардың эклиптикалық бойлықтары жыл сайын  $50'',26$  қа көбейеді, ал эклиптикалық ендіктер өзгермейді, өткені ай-күн прецессия эклиптика жазықтығының орналасуын өзгертпейді. Барлық жұлдыздардың экваторлық координаттарының екеуі де (тік шарықтау мен еңкею) үздіксіз өзгереді. Мұның нәтижесінде Жердегі берілген орында жұлдызды аспанның түрі баяу өзгеріп тұрады. Кейбір бұрыннан көрінбейтін жұлдыздар шығып бататын болады, ал кейбір көрінетін жұлдыздар шықпайтын шырақтарға ауысады. Мысалы, Еуропада бірнеше мың жылдан кейін қазір көрінбейтін Оңтүстік кресті бақылауға болады, ал Сириус пен Орион шоқжұлдызының бір бөлігі көрінбейтін болады.

### **3. Жер полюсінің жер беті бойымен қозғалысы**

Көптеген жыл ішінде Жер бетінің бірнеше нүктелеріндегі жүргізілген өлшеулер көмегімен пункттардың ендіктері тұрақты

болып қалмай, орташа мәнінен  $0''{,}3$ -қа дейін ауытқып периодты түрде өзгеретіні және де бір пункттің ендігі кейбір мәнге көбейгенде, басқа, қарама-қарсы меридианда жататын пункта ендік шамамен осындай мәнге азаятыны байқалған. Бұл географиялық ендіктердің тербелістері Жер денесі айналу осіне қатысты ығысатынымен, ал оның нәтижесінде айналу полюстерімен Жер бетінің әртүрлі нүктелері сәйкес келетінімен байланысты болады.

Жер полюстерінің қозғалысында, географиялық ендіктер тербелісіндегідей, ғасырлық және периодты құраушыларды айырады.

Негізгі периодты құраушыларға Чандлердің 14-айлық периоды мен 12-айлық (немесе жылдық) периоды жатады. Жер полюстерінің оның беті бойымен қозғалысы 19 ғасырдың соңында ашылған. 1898 жылы Халықаралық ендік қызметі (ХЕК) ұйымдастырылған, оның құрамына бір ендіктегі 6 станция кірді: Италиядағы, Ресейдегі (қазіргі Түрікменстандағы Чарджоу), Жапондағы және АҚШ-тағы 3 станция. Қазіргі уақытта бұл қызметтегі станциялардың саны 30 жетеді, олар әртүрлі географиялық ендіктерде орналасқан.

#### **4. Жер айналуының бірқалыпсыздығы**

Жердің өз осі бойымен айналуының периоды деп Жердің белгілі бір өзгермейтін бағытқа қатысты бір толық айналуын жасайтын уақыт аралығын айтады. Бұл аралық жұлдыздық тәуліктің ұзақтығына жақын болса да, дәлме-дәл оған тең болмайды, өйткені прецессия салдарынан көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесіне бағыт жыл ішінде шамамен  $46''$ -қа өзгереді. Бір жұлдыздық тәулік ішінде көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесіне бағыт  $46'' : 366 = 0''{,}126$  қа өзгереді. Жер мұндай бұрышқа  $0^s{,}008$  уақыт ішінде бұрылады, ал көктемгі күн мен түннің теңелу нүктесі батысқа қарай, яғни Жердің айналу бағытына қарсы ығысатындықтан, Жердің айналу периоды жұлдыздық тәуліктен  $0^s{,}008$  көп болып,  $23^h56^m04^s{,}098$  орташа күн уақытына тең келеді.

Көптеген зерттеулер нәтижесінде Жер айналуының бұрыштық жылдамдығы (демек Жердің өз осі бойымен өзгермейтін бағытқа қатысты айналуының периоды да) тұрақсыз екендігі, яғни Жер айналуы қалыпты емес екендігі анықталған.

Жер айналу жылдамдығының өзгерістері: *периодты (немесе квазипериодты), ғасырлық және реттелмеген (секірмелі)* болып үш түрге бөлінеді. Периодтары бірнеше тәуліктен бірнеше жылға дейінгі

аралықта жататын периодты вариациялар атмосферанын бұрыштық моментінің өзгерісімен қоздырылады. Бұл өзгерістердің ең ықтимал себебі ауа мен су массаларының Жер бетіндегі маусымдық қайта үлестірілуі. Тәулік ішіндегі вариациялар мұхиттардағы тасулармен түсіндіріледі. Ең маңызды (ірі) (екі апталық, айлық, жартыжылдық және жылдық) гармоникалардын амплитудалары 2-3 мс кұрайды. Ең қысқа тәулік әдетте шілдемен тамызға, ал ең ұзақ тәулік наурызға келеді. Бұл Жер айналу жылдамдығының өзгерістері ХХ ғасырдың 40-шы жылдары эксперимент жүзінде кварцтық сағат көмегімен ашылған еді. Ғасырлық өзгерістер нәтижесінде Жердің бір айналуының ұзақтығы соңғы 2000 жыл жүрісінде орташа мәнімен алғанда бір ғасыр ішінде  $0^s,0023$  қа артып отырды. Жер айналу жылдамдығының ғасырлық баяулауы ай мен күн тасуларының тежеуіш әсерімен байланысты.

Жер айналу жылдамдығының секірмелі өзгерістері тәуліктің ұзақтығын бірнеше ай ішінде секундтың мыңдық бөліктеріне арттыра немесе азайта алады. Бұл өзгерістердің себебі сенімді түрде әлі анықталмаған деп айтуға болады, бірақ оларды қоздыра алатын процестер ретінде әртүрлі құбылыстар қарастырылады. Олар ішіндегі ең белгілі квазипериодты түрде пайда болатын әйгілі Эль-Ниньо құбылысы мұхиттың жоғары қабатындағы су температурасының аномаль таралуынан болатын Үнді мен Тынық мұхиттардың экваторлық аймақтар үстіндегі ауа массаларының орнын ауыстыруы. Мысалы, 1983 жылы бақыланған Жердің айналу жылдамдығының аномаль жоғары өзгерісі сол уақытта орын алған күшті Эль-Ниньо құбылысымен байланысты болды.

Реттелмеген өзгерістерге «декадты» вариацияларды да жатқызады. Амплитудасы 4-5 мс-ке, ал периоды 20-30 жылға тен бұл вариациялар Жердің сұйық ядросы мен мантиясы арасындағы шекараның күрделі топографиясына, сондай-ақ олардың магниттік ілінісіне байланысты пайда болатын ядро мен мантияның әсерлесуімен себептеледі деген болжам бар.

ХІХ ғасырдың ортасында Айдың бақыланатын қозғалысының есептеліп шығарылған қозғалыстан тартылыс теориясымен түсіндірілмейтін ауытқулар ашылған еді. Сол кездің өзінде ақ бұл ауытқулар нақты емес және Жердің өз осі бойымен айналуының қалыпсыздығымен себептелген болуы мүмкін деген болжам жасалды. Шынымен, Жер айналуы баяулағанда, Ай өз орбитасы бойымен тезірек қозғалатындай, ал айналу үдегенде, Айдың

қозғалысы тежелгендей болып көрінеді. Бұл түсіндіру 20 ғасырда Меркурий мен Шолпанның қозғалысында Айға ұқсас, бір мезгілде болатын және бұл ғаламшарлардың орташа қозғалыстарына пропорционал ауытқулар ашылғанда расталды.

**Алтыншы дәріс бойынша бақылау сұрақтары:**

1. Жердің пішіні қандай?
2. Прецессиялық деп нені айтамыз?
3. Ай-күн прецессиясы дегеніміз не?
4. Жер осінің нутациясы деп нені айтамыз?
5. Ғаламшарлық прецессия деп нені айтамыз?
6. Полюстік жұлдыз деп нені айтамыз?
7. Жер айналуының бірқалыпсыздығын түсіндіріңіз.
8. Жер айналу жылдамдығының өзгерістері қаншаға бөлінеді?
9. Жердің периодты (немесе квазипериодты) айналу жылдамдығы деп қандай өзгерісті айтамыз?
10. Жердің ғасырлық және реттелмеген (секірмелі) айналу жылдамдығы деп қандай өзгерісті айтамыз?

**Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:**

1. Жаңабаев З.Ж., Наурызбаева А.Ж., Ізтілеуов Н.Т. Жалпы астрономия: Жоғарғы оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2010. – 184 б.