Дәріс 4. Инерциалдық координаттар жүйесіндегі жасанды ЖС-нің кеплерлік орбиталдық қозғалысы. Жер серіктерінің орбиталары және жұмыстық жиіліктері.

Егер жерсерігі қозғалысын анықтағанда оның Жер массасы ортасындағы тек тартылыс орталығымен қозғалысын қарастырсақ, онда мұндай қозғалыс қоздырылмаған немесе кеплерлік қозғалыс деп аталады.

Ньютонның екінші заңына сәйкес $OX_0Y_0Z_0$ инерциалдық координаттар жүйесіндегі ЖС массасы орталығы қозғалысы келесі теңдеумен беріледі

$$F = mg\ , \qquad (4.1)$$

мұнда m – ЖС массасы, g – ортаға тартқыш үдеу векторы.
Өз кезегінде Жердің тартылыс күші

$$F = kMm/r^2,$$

мұнда $k = 6{,}672\cdot10^{-11}$ м^3/кг с^2 - әмбебап гравитациялық тұрақты; $M = 5{,}974242\cdot10^{24}$ кг – Жер массасы, $\mu = kM = 3{,}9860044\cdot10^{14}$ м^3/с^2 – Жердің геоцентрлік гравитациялық тұрақтысы, r- Жер ортасынан ЖС-ға дейінгі қашықтық.
Отаға тарту үдеуін g –ны r –ден уақыт бойынша туынды ретінде көрсетсек, яғни

$$g = d^2r/dt^2\ ,$$

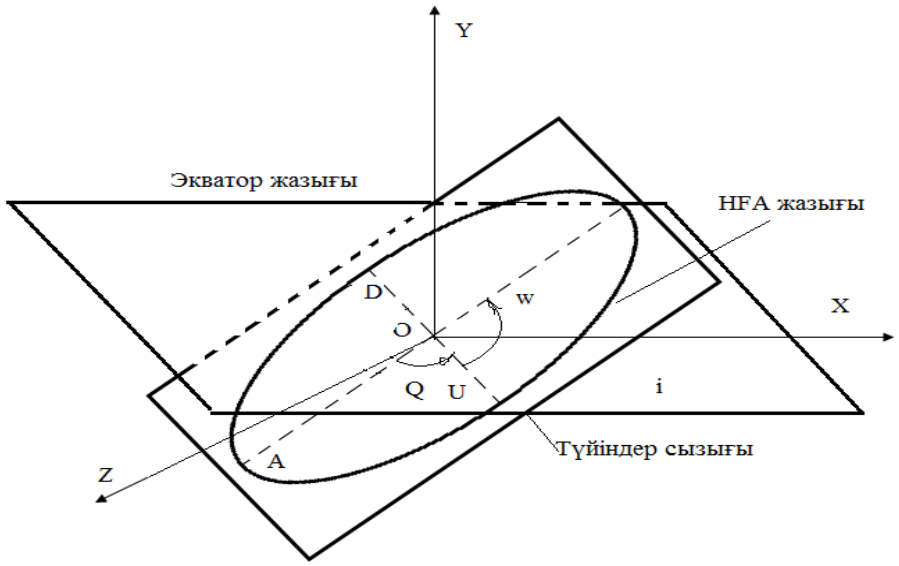
онда қозғалыс теңдеуі (1) мына түрге келеді $F = m(d^2r/dt^2)$.

Кеңістіктегі орбита деп аталатын ЖС қозғалыс траекториясын инерциалдық координат жүйесі осіндегі оның проекциялары арқылы сипаттауға болады:

$$\frac{d^2x_0}{dt^2} = -\mu\frac{x_0}{r^3};\frac{d^2y_0}{dt^2} = -\mu\frac{y_0}{r^3};\frac{d^2z_0}{dt^2} = -\mu\frac{z_0}{r^3}. \qquad (4.2)$$

Мұнда x_0, y_0, z_0 - радиус –вектор r –дің координаттар осіне проекцияларындағы ЖС (ғарыштық аппарат) ағымдық координаттары, $r = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}$.

Кеплердің 1 –ші заңы бойынша: Тартылыстың орталық өрісінде қозғалып келе жатқан ЖС кезкелген траекториясын, тартылыс орта нүктесі арқылы өтетін, инерциалды координаттар жүйесіне қарағанда қозғалмайтын жазықтықта жатады да, екінші ретті қисық болып табылады, оның бір фокусінде тартылыс ортасы тұрады.



4.1– сурет. Жерсерігінің кеплерлік орбитасы элементтері

ЖС қозғалыс траекториясы жататын жазықтық орбиталдық жазықтық деп аталады (3.1 –сурет). Экватор арқылы өтетін жазықтық *XOУ*- экваторлық жазықтық. Орбиталдық жазықтық бағыт-бағдары (ориентациясы) оның экваторлық жазықтыққа қарағандағы орнымен анықталады. Осы жазықтықтарды кесіп өту сызықтары түйіндер сызығы деп аталады, ал ЖС орбиталарының түйіндері ретінде орбитаның экваторлық жазықтықпен қиылысу нүктелері алынады. ЖС-нің оңтүстік аспандық жарты сферасынан солтүстігіне қозғалысындағы пайда болатын түйін *U* шығыстық деп, ал солтүстік аспандық жарты сферадан оңтүстікке қарай қозғалғандағы пайда болатын *D* түйіні – төмендегіш деп аталады.

Экваторлық жазықтыққа қарағанда орбиталық жазықтықтың орнын бір мәнді анықтау үшін екі орбиталдық элемент қолданылады: шығыстық түйін бойлығы Ω және орбита еңкеюі *i*. Ω бұрышын *OX* осінен экваторлық жазықтықта түйіндер сызығына дейін есептейді, 0 - 360° аралығында. *i* бұрышын 0 –ден 180° аралығында, экватриалдық пен орбиталдық жазықтықтар арасындағы бұрыш ретінде анықтайды. *i* бұрышы шамасына байланысты орбитаның келесі атаулары бар:

$i = 90°$ - полюстік орбита;

$i \approx 90°$ - полюстікке жақын орбита;

$i = 0°$ - экватриалдық орбита;

$0 < i < 90°$ - еңкейген орбита .

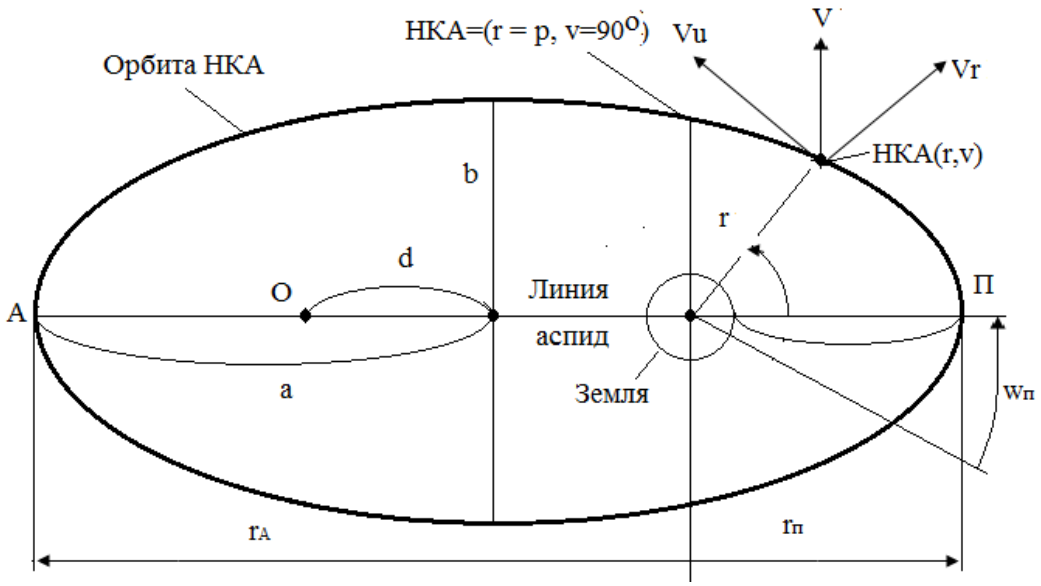
Ортасы Жер массасы ортасымен дәл келетін полярлық координаттар (r, ϑ) жүйесіндегі ЖС орбитасы екінші ретті қисық теңдеуімен сипатталады, оның фокусы координаттар ортасымен дәл келеді :

$$r = \frac{p}{1 + e\cos(\theta - \theta_0)}, \qquad (4.3)$$

мұнда p- фокалдық көрсеткіш, e – эксцентритет; ϑ - полюстік ось пен фокалдық ось оң бағыттары арасындағы бұрыш. ϑ=0 боланда полюстік ось ортадан қисықтың жақындағы ұшына қарай бағытталған, ал $\vartheta=\pi$ болғанда қарама-қарсы жаққа. Анықтылық үшін ϑ_0 = 0 деп алайық. ϑ бұрышы шындық аномалиясы деп аталады (3.2 – сурет).

Эксцентритет e орбита қалпын анықтайды. e = 0 болса орбита дөңгелек болады, 0< e < 1 болғанда элиптикалық орбита, e мен p –ға байланысты сызықтылықты болады; e = 1 болса параболикалық, e > 1 болғанда орбита гипербола түрінде сипатталады.

Байланыстық және навигациялық ЖС-тері ережеге сәйкес эллиптикалық орбиталар бойынша қозғалады, ал орбитаның фокустерінің біреуінде Жер орналасқан.



4.2 – сурет. Эллиптикалық орбита көрсеткіштері

Эллипс фокустері О арқылы өтетін тіке сызықты *апсид сызығы* деп атайды, осы сызықтың эллипспен қиылысқан нүктелерін - *апсидтер* дейді. Полюстік жүйе координаттары ортасына жақын төбені (П – нүктесі) периорталық (перицентр) деп, ал қашықталған төбені (А-нүктесі) – апоорталық (апоцентр) деп атайды. Егер ЖС Жерді айналып эллиптикалық орбитамен қозғалса, онда осы нүктелер сәйкесті түрде *перигей* мен *апогей* деп аталады. Айта кетейік, апоцентр нүктесі тек қана эллиптикалық орбиталарда бар.

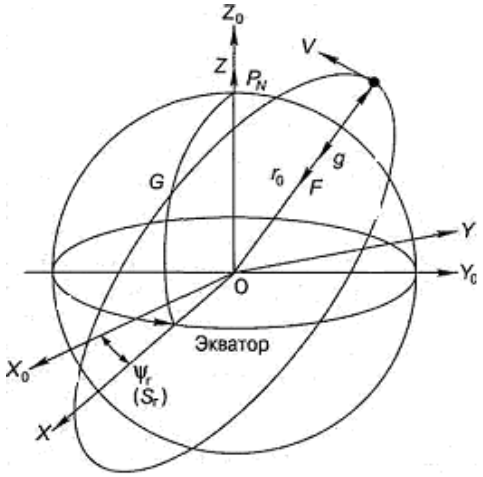
Жер радиусы белгілі $R_ж$ = 6371 км, сондықтан апогей мен перигей

қашықтытарын былай табады

$$r_A = R_ж + H_A; \qquad r_п = + H_п,$$

мұнда H_A мен $H_п$ Жер үстіне қарағандағы апогей мен перигейдің биіктіктері. $\omega_п$ –көрсеткіші перигей бағытындағы, орбиталдық жазықтықта, орбита бағыт-бағдарын (ориентациясын) сипаттайтын түйіндер сызықтары арасындағы перигей бұрышы (аргументі).

Сонымен координаттардың классикалық жүйесінде ғарыштық аппараттың (ҒА) траекториялық қозғалысын сипаттайтын геоцентрлік инерциалдық координата жүйесі болып табылады, $OX_0 Y_0 Z_0$. Координата басы Жер ортасында орналасқан. OX_0 осі экватор жазықтығында жатыр және көктемдік теңесу нүктесіне бағытталған. OZ_0 осі Жердің айналу осінен алыста солтүстік полюске P_N қарай бағытталған, ал OY_0 осі оңға дейін координтата жүйесін толтырып тұрады (3.3 –сурет).



4.4-сурет. Геоцентрлік координаталар жүйесі

Жер басқару сегменті геоцентрліе қозғалмалы координаталар жүйесінде ҒА қозғалысы туралы хабарды қалыптастырады, содан кейін ол тұтынушыға навигациялық хабар ретінде беріледі.

Хабарды екінші өңдегеннен кейін осы координата жүйесінде тұтынушының позициясы (орны) анықталады.

Бақылау сұрақтары.

1. Инерциалдық координаттар жүйесіндегі ЖС қозғалысы туралы айтып бер.
2. Жерсерігінің кеплерлік орбитасы элементтері туралы не білесіңдер?
3. Орбиталық жазықтық қалай анықталады?
4. Экваторлық жазықтық қалай анықталады?
5. Апсид сызығы, апсидтер деген атауларды түсіндіріп беріңдер.
6. Апогей мен перигей дегендеріміз не?