Дәріс №9. Тақырыбы: Ғарыш аппараттарының бастапқы орны мен жылдамдығы бойынша орбитасы.

Дәрістің мақсаты: ғарыш аппаратының бастапқы орны мен жылдамдығының оның орбиталық қозғалысына әсерін түсіндіру; Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы негізінде ғарыш аппаратының қозғалысын сипаттау; бастапқы шарттар арқылы орбитаның түрін анықтау және негізгі орбиталық параметрлерді есептеу принциптерін меңгерту.
Дәріс жоспары:

1. Кіріспе. Ғарыш аппараттарының орбиталық қозғалысы.
2. Ғарыш аппаратының қозғалысына әсер ететін негізгі күштер.
3. Бастапқы орын және жылдамдық.
4. Ғарыш аппаратының орбитасының түрлері.
5. Орбиталық энергия.
6. Бірінші ғарыштық жылдамдық.
7. Екінші ғарыштық жылдамдық.
8. Орбитаның негізгі элементтері.
9. Бастапқы жағдайлар бойынша орбитаны анықтау алгоритмі.
10. Нақты ғарыштық ұшудағы қосымша факторлар.
11. Қорытынды.

Кіріспе

Ғарыш аппараттарының қозғалысын зерттеу — аспан механикасының және ғарыштық динамиканың негізгі міндеттерінің бірі. Жердің немесе басқа аспан денесінің маңында қозғалып жүрген кез келген ғарыш аппаратының траекториясы оның бастапқы жағдайына, яғни белгілі бір уақыт мезетіндегі **орны мен жылдамдығына**, сондай-ақ оған әсер ететін гравитациялық күштерге байланысты анықталады.
Ғарыш аппаратын ұшырған кезде оның кеңістіктегі нақты координаталары және сол сәттегі жылдамдық векторы белгілі болады. Осы екі шама аппараттың кейінгі қозғалысын сипаттайтын бастапқы шарттар ретінде қарастырылады. Егер аспан денесінің массасы және оған дейінгі қашықтық белгілі болса, бастапқы орын мен жылдамдық арқылы аппараттың қандай орбита бойымен қозғалатынын анықтауға болады.
Орбитаны анықтау мәселесі ғарыштық ұшу траекториясын есептеуде, жасанды жер серіктерін басқаруда, планетааралық аппараттарды бағыттауда және ғарыштық миссияларды жоспарлауда үлкен маңызға ие.

1. Ғарыш аппаратының қозғалысына әсер ететін негізгі күш

Жер маңындағы ғарыш аппаратына әсер ететін негізгі күш — Жердің тартылыс күші. Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңына сәйкес, екі дененің арасындағы тартылыс күші $\mathbf{F = G\,Mm\,/\,r^2}$ формуласы арқылы анықталады. Мұндағы: **F** — тартылыс күші; **G** — гравитациялық тұрақты;
M — Жердің массасы; **m** — ғарыш аппаратының массасы; **r** — Жердің центрінен аппаратқа дейінгі қашықтық.

Ғарыш аппаратының массасы теңдеулерде көбінесе қысқарып кететіндіктен, оның қозғалысын анықтауда аппараттың массасынан гөрі бастапқы орны мен жылдамдығы маңызды болады.
Ньютонның екінші заңын пайдалансақ: **m a = F.**
Осыдан аппараттың үдеуі: $\mathbf{a = -GM/r^3 \cdot r}$
түрінде жазылады. Мұндағы минус таңбасы үдеу векторының Жердің центріне қарай бағытталғанын көрсетеді. Жердің гравитациялық параметрін $\mathbf{\mu = GM}$ деп белгілесек, қозғалыс теңдеуі: $\mathbf{\ddot{r} = -\mu r/r^3}$ түріне келеді.
Бұл — екі дене есебі деп аталатын классикалық есептің негізгі теңдеуі. Оның шешімі бойынша ғарыш аппаратының траекториясы конустық қималардың біріне жатады: шеңбер, эллипс, парабола немесе гипербола.

2. Бастапқы орын және жылдамдық — орбитаны анықтайтын негізгі шамалар

Ғарыш аппаратының белгілі бір уақыттағы жағдайын екі негізгі вектор сипаттайды: $\mathbf{r_0}$ — бастапқы радиус-вектор; $\mathbf{v_0}$ — бастапқы жылдамдық векторы.
Радиус-вектор аппараттың Жер центріне қатысты орнын көрсетеді. Ал жылдамдық векторы оның қозғалысының бағыты мен жылдамдығын анықтайды.
Демек, бастапқы уақыт мезетінде $\mathbf{r(t_0) = r_0}$ және $\mathbf{v(t_0) = v_0}$
берілсе, осы бастапқы шарттар арқылы аппараттың кейінгі қозғалысын есептеуге болады.
Бұл жерде жылдамдықтың тек сандық мәні ғана емес, оның **бағыты** да өте маңызды. Бірдей биіктіктен бірдей жылдамдықпен қозғалған екі аппараттың жылдамдық бағыттары әртүрлі болса, олардың орбиталары да әртүрлі болуы мүмкін.
Мысалы, егер аппараттың жылдамдық векторы Жерге қатысты шеңберлік орбитаның қажетті жылдамдығына тең және қозғалыс бағыты радиус-векторға перпендикуляр болса, аппарат шеңберлік орбитаға шығуы мүмкін.
Ал жылдамдықтың бағыты немесе шамасы өзгерсе, орбита эллипстік, параболалық немесе гиперболалық болуы ықтимал.

3. Орбитаның түрін анықтау

Ғарыш аппаратының орбитасын анықтаудың маңызды тәсілдерінің бірі — оның **меншікті орбиталық энергиясын** есептеу. Меншікті механикалық энергия: $\mathbf{\varepsilon = v^2/2 - \mu/r}$ формуласы арқылы анықталады.
Мұндағы: $\mathbf{\varepsilon}$ — меншікті орбиталық энергия; $\mathbf{v}$ — аппараттың жылдамдығы; $\mathbf{\mu}$ — орталық дененің гравитациялық параметрі; $\mathbf{r}$ — аппараттың орталық денеге дейінгі қашықтығы.
Энергияның таңбасына қарай орбитаның негізгі түрін анықтауға болады.

Эллипстік орбита

Егер $\mathbf{\varepsilon < 0}$ болса, аппараттың траекториясы байланысқан орбита болып табылады. Екі дене моделінде мұндай траектория эллипс түрінде болады. Шеңбер — эллипстің ерекше жағдайы.

Жердің жасанды серіктерінің басым бөлігі Жермен байланысқан орбиталарда қозғалады.

Параболалық траектория

Егер **ε = 0** болса, аппараттың жылдамдығы қашып шығу шегіндегі жылдамдыққа сәйкес келеді. Мұндай жағдайда траектория парабола болады.

Гиперболалық траектория

Егер **ε > 0** болса, аппараттың траекториясы гипербола түрінде болады. Бұл жағдайда аппарат орталық дененің тартылыс өрісінен қашып, шексіздікке қарай қозғала алады.

Осылайша бастапқы орын мен жылдамдықтың шамасы аппараттың Жерге немесе басқа аспан денесіне гравитациялық тұрғыдан байланысқан-байланыспағанын анықтайды.

4. Бірінші ғарыштық жылдамдық және шеңберлік орбита

Шеңберлік орбита үшін аппаратқа қажетті жылдамдықты центрге тартқыш үдеу мен гравитациялық үдеуді теңестіру арқылы табуға болады.

Центрге тартқыш үдеу: $\mathbf{a = v^2/r}$. Ал гравитациялық үдеу: $\mathbf{a = \mu/r^2}$.

Оларды теңестірсек: $\mathbf{v^2/r = \mu/r^2}$.

Осыдан шеңберлік орбитадағы жылдамдық: $\mathbf{v = \sqrt{(\mu/r)}}$ болады.

Бұл формуладан орбита радиусы артқан сайын шеңберлік орбитаның жылдамдығы азаятынын көруге болады.

Мысалы, Жер бетіне жақын орналасқан орбитада аппараттың орбиталық жылдамдығы шамамен **7,9 км/с** болады. Бұл мәнді бірінші ғарыштық жылдамдық деп атайды.

Алайда нақты ғарыш ұшырылымында атмосфераның кедергісі, Жердің айналуы, гравитациялық өрістің біркелкі болмауы және басқа факторлар да ескеріледі.

5. Екінші ғарыштық жылдамдық және ашық траектория

Ғарыш аппаратының Жердің тартылыс өрісінен толық шығуы үшін оның кинетикалық энергиясы жеткілікті болуы керек.

Жер бетінен басталған жағдайда қашып шығу жылдамдығы шамамен:

11,2 км/с болады.

Бұл — екінші ғарыштық жылдамдық деп аталады.

Жалпы жағдайда қашу жылдамдығы: $\mathbf{v_e = \sqrt{(2\mu/r)}}$ формуласы бойынша есептеледі.

Шеңберлік орбита жылдамдығымен салыстырғанда қашу жылдамдығы $\sqrt{2}$ есе үлкен: $\mathbf{v_e = \sqrt{2} \cdot v_{or}b.}$

Егер аппараттың жылдамдығы жергілікті қашу жылдамдығынан жоғары болса, екі дене моделінде оның траекториясы гиперболалық болады.

6. Орбитаның геометриялық элементтері

Бастапқы орын мен жылдамдық векторларынан орбитаның бірнеше маңызды параметрлерін анықтауға болады.

Олардың қатарына:

- орбитаның үлкен жарты осі;
- эксцентриситет;
- орбитаның көлбеулігі;
- көтерілуші түйіннің бойлығы;
- перицентр аргументі;
- нақты аномалия жатады.

Эллипстік орбитаның үлкен жарты осі **a** оның өлшемін сипаттайды. Орбитаның эксцентриситеті **e** оның пішінін анықтайды.
Егер:
e = 0 болса — шеңбер;
0 < e < 1 болса — эллипс;
e = 1 болса — парабола;
e > 1 болса — гипербола.
Эксцентриситетті радиус пен жылдамдықтың бастапқы мәндерінен тікелей есептеуге болады. Бұл үшін орбиталық механикада бұрыштық импульс және эксцентриситет векторы сияқты шамалар пайдаланылады.

7. Бұрыштық импульс және орбитаның жазықтығы

Ғарыш аппаратының орбитасын сипаттайтын тағы бір маңызды шама — меншікті бұрыштық импульс векторы:
h = r × v.
Бұл вектор радиус-вектор мен жылдамдық векторына перпендикуляр бағытталады. Сондықтан ол орбитаның жазықтығына перпендикуляр болады. Егер аппаратқа тек орталық гравитациялық күш әсер етсе, оның бұрыштық импульсі сақталады. Осы себепті аппараттың қозғалысы белгілі бір жазықтықта жүреді.
Бастапқы $\mathbf{r_0}$ және $\mathbf{v_0}$ векторларын білу арқылы осы жазықтықты анықтауға болады.
Ғарыш аппараттарының нақты қозғалысын есептеу кезінде орбитаның кеңістіктегі бағытын білу өте маңызды. Себебі спутниктің Жер бетінің қай нүктелерінің үстінен өтетіні, Күнге немесе басқа аспан денесіне қатысты орналасуы осы орбиталық элементтерге тәуелді.

8. Орбитаны бастапқы жағдайлардан анықтау

Ғарыш аппараттарының орбитасын анықтау процесін бірнеше кезеңге бөлуге болады.
Бірінші кезеңде аппараттың бастапқы координаталары анықталады. Бұл координаталар белгілі бір координаталар жүйесінде беріледі.
Екінші кезеңде бастапқы жылдамдықтың үш компоненті анықталады:
v_x, v_γ, v_z.
Үшінші кезеңде радиус-вектор мен жылдамдық векторынан орбиталық энергия және бұрыштық импульс есептеледі.
Төртінші кезеңде эксцентриситет және басқа орбиталық параметрлер анықталады.

Соңында алынған орбиталық элементтер арқылы аппараттың болашақтағы орнын, жылдамдығын және қозғалыс бағытын есептеуге болады.
Бұл есептерді компьютерлік бағдарламалар арқылы орындау қазіргі ғарыштық навигацияның маңызды бөлігі болып табылады.

9. Нақты ғарыштық есептердегі қосымша факторлар
Жоғарыда қарастырылған модельде тек екі дененің — мысалы, Жер мен ғарыш аппаратының — өзара әсері ескеріледі. Бұл модель көптеген есептер үшін өте ыңғайлы және түсінікті болғанымен, нақты ғарыштық ұшуда қосымша факторларды ескеру қажет.
Оларға:

- Жердің атмосфералық кедергісі;
- Жердің біркелкі емес гравитациялық өрісі;
- Ай мен Күннің тартылыс әсері;
- Күн сәулесінің қысымы;
- аппараттың қозғалтқышынан туындайтын үдеу;
- ғарыш аппаратындағы басқару жүйелерінің әсері жатады.

Мысалы, Жердің төмен орбитасында атмосфераның өте сирек қабаттары да аппараттың қозғалысына кедергі келтіреді. Соның нәтижесінде аппарат энергия жоғалтып, уақыт өте келе орбитасының биіктігі төмендеуі мүмкін.
Сондықтан нақты миссияларды жоспарлау кезінде бастапқы орын мен жылдамдықты анықтау ғана емес, олардың уақыт бойынша өзгерісін есептеу де қажет.

Қорытынды
Ғарыш аппаратының орбитасын анықтаудың негізгі бастапқы деректері — белгілі бір уақыт мезетіндегі оның **орны және жылдамдығы**. Осы екі вектор аппараттың қозғалысын анықтайтын бастапқы шарттарды құрайды.
Ньютонның қозғалыс заңдары мен бүкіләлемдік тартылыс заңын пайдалана отырып, ғарыш аппаратының болашақ траекториясын есептеуге болады. Бастапқы жылдамдықтың шамасы мен бағытына және аппараттың бастапқы орнына байланысты оның орбитасы шеңбер, эллипс, парабола немесе гипербола болуы мүмкін.
Орбитаның түрін анықтауда меншікті механикалық энергия маңызды рөл атқарады. Ал бұрыштық импульс орбитаның кеңістіктегі жазықтығын сипаттауға мүмкіндік береді. Осы шамалардың көмегімен орбитаның негізгі элементтері анықталып, ғарыш аппаратының қозғалысын болжауға болады.
Бұл принциптер жасанды Жер серіктерін ұшыруда, навигациялық жүйелерде, ғарыш аппараттарын басқаруда және планетааралық миссияларда кеңінен қолданылады. Сондықтан бастапқы орын мен жылдамдық бойынша орбитаны анықтау — ғарыштық динамиканың іргелі мәселелерінің бірі.

Бақылау сұрақтары

1. Ғарыш аппаратының орбитасын анықтайтын негізгі бастапқы шамалар қандай?
2. Радиус-вектор дегеніміз не?
3. Жылдамдық векторының бағыты орбитаның пішініне қалай әсер етеді?
4. Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы қалай тұжырымдалады?
5. Екі дене есебі дегеніміз не?
6. Ғарыш аппаратының қозғалыс теңдеуін жазыңыз.
7. Орбиталық энергия дегеніміз не?
8. Меншікті механикалық энергияның формуласы қандай?
9. Орбиталық энергияның таңбасы орбитаның түрін қалай анықтайды?
10. Қандай жағдайда ғарыш аппараты шеңберлік орбита бойымен қозғалады?
11. Эллипстік орбитаның негізгі ерекшелігі қандай?
12. Параболалық және гиперболалық траекториялардың айырмашылығы неде?
13. Бірінші ғарыштық жылдамдық дегеніміз не?
14. Бірінші ғарыштық жылдамдық қандай формуламен анықталады?
15. Екінші ғарыштық жылдамдық дегеніміз не?
16. Бірінші және екінші ғарыштық жылдамдықтардың айырмашылығы қандай?
17. Бұрыштық импульс дегеніміз не және ол орбитаны сипаттауда қандай рөл атқарады?
18. Орбитаның эксцентриситеті нені сипаттайды?
19. Бастапқы координаталар мен жылдамдық компоненттері арқылы орбитаны қалай анықтауға болады?
20. Нақты ғарыш аппараттарының қозғалысына қандай қосымша күштер мен факторлар әсер етеді?
21. Атмосфералық кедергі ғарыш аппаратының орбитасына қалай әсер етеді?
22. Ай мен Күннің тартылыс күші Жер маңындағы ғарыш аппаратының қозғалысына қалай ықпал етеді?
23. Орбитаның биіктігі артқан кезде шеңберлік орбитадағы жылдамдық қалай өзгереді?
24. Ғарыш аппаратын басқару кезінде бастапқы жылдамдықты дәл анықтаудың маңызы қандай?
25. Бастапқы орын мен жылдамдықты білу арқылы ғарыш аппаратының болашақтағы қозғалысын қалай болжауға болады?