ДӘРІС №2. Тақырыбы: Ғарыштық аппараттардың орбиталдық қозғалысы. Жердің пішіні мен гравитациялық өрісі.

Дәрістің мақсаты: студенттерге ғарыштық аппараттардың орбиталдық қозғалысының негізгі заңдылықтарын, Жердің пішіні мен гравитациялық өрісінің ғарыш аппараттарының қозғалысына әсерін түсіндіру. Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы мен Кеплер заңдарын орбиталық қозғалысты сипаттауда қолдануды меңгерту, орбиталардың негізгі түрлерін және орбиталық қозғалыстың бұзылу себептерін қарастыру.

Дәріс жоспары:

1. Ғарыштық аппараттардың орбиталдық қозғалысы туралы жалпы түсінік.
2. Орбиталардың негізгі түрлері.
3. Орбиталық жылдамдық және ғарыштық жылдамдықтар.
4. Кеплер заңдары.
5. Жердің пішіні.
6. Жердің гравитациялық өрісі.
7. Гравитациялық өрістің ғарыш аппаратының қозғалысына әсері.
8. Орбиталық қозғалысқа әсер ететін сыртқы факторлар.
9. Орбиталық элементтер.
10. Орбиталық қозғалыстың практикалық маңызы.
11. Қорытынды.

Кіріспе

Ғарыштық аппараттардың орбиталдық қозғалысы — ғарыштық ұшу динамикасының негізгі бөлімдерінің бірі. Жасанды жер серіктерінің, ғылыми-зерттеу аппараттарының, навигациялық және байланыс спутниктерінің қозғалысын дұрыс түсіну үшін олардың Жердің гравитациялық өрісіндегі қозғалыс заңдылықтарын білу қажет.

Ғарыш аппараты орбита бойымен қозғалған кезде оған ең алдымен Жердің тартылыс күші әсер етеді. Идеал жағдайда, яғни атмосфералық кедергі және басқа да сыртқы әсерлер ескерілмеген кезде, аппараттың қозғалысы екі дене есебі арқылы сипатталады. Бұл жағдайда Жер мен ғарыш аппаратының өзара тартылысы Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңына бағынады.

Алайда нақты жағдайда Жер мінсіз шар емес, ол полюстері жағынан сәл сығылған айналмалы дене болып табылады. Сонымен бірге Жердің массасы оның көлемі бойынша біркелкі таралмаған. Сондықтан Жердің гравитациялық өрісі де идеал нүктелік масса өрісінен ерекшеленеді. Осы ерекшеліктерді ескеру ғарыш аппараттарының дәл орбиталық қозғалысын есептеу үшін өте маңызды.

1. Ғарыштық аппараттардың орбиталдық қозғалысы туралы түсінік

Орбита — ғарыш аппаратының тартылыс өрісіндегі қозғалыс траекториясы. Жерді айналып ұшатын аппараттың орбитасы оның бастапқы жылдамдығына, ұшу бағытына, биіктігіне және Жердің гравитациялық өрісіне байланысты қалыптасады.

Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы бойынша екі дененің арасындағы тартылыс күші:

$F = G(mM/r^2)$,

мұндағы: G — гравитациялық тұрақты; M — Жердің массасы; m — ғарыш аппаратының массасы; r — Жердің центрінен аппаратқа дейінгі қашықтық.

Ғарыш аппаратының массасы Жердің массасынан өте аз болғандықтан, есептеулерде Жерді негізгі тартушы дене деп қарастырады.

Гравитациялық күш аппараттың қозғалыс бағытын үнемі өзгертіп отырады. Егер аппараттың жылдамдығы жеткілікті болса, ол Жерге құламай, Жерді айнала қозғалады. Осылайша орбиталық қозғалысты белгілі бір мағынада үздіксіз «құлау» қозғалысы ретінде түсіндіруге болады: аппарат Жерге қарай құлағанымен, оның көлденең жылдамдығы Жер бетінің қисықтығына байланысты оны Жерге соқтырмайды.

2. Орбиталардың негізгі түрлері

Ғарыш аппаратының жылдамдығы мен қозғалыс жағдайына байланысты оның траекториясы әртүрлі болуы мүмкін.

Жерді айналатын жасанды серіктер үшін негізгі орбиталар:

- шеңберлік орбита;
- эллипстік орбита;
- геостационарлық орбита;
- полярлық орбита;
- экваторлық орбита;
- жоғары эллипстік орбиталар.

Шеңберлік орбита

Шеңберлік орбитада аппараттың Жер центрінен қашықтығы тұрақты болып қалады. Бұл жағдайда орбиталық жылдамдықтың шамасы да тұрақты деп қарастыруға болады.

Шеңберлік орбитадағы жылдамдық:

$V = \sqrt{(GM/r)}$.

Бұл формуладан орбита радиусы артқан сайын орбиталық жылдамдықтың азаятынын көруге болады.

Эллипстік орбита

Нақты ғарыштық ұшу кезінде көптеген аппараттар эллипстік орбиталарда қозғалады. Эллипстік орбитаның Жерге ең жақын нүктесі **перигей**, ал ең алыс нүктесі **апогей** деп аталады.

Эллипстік орбитада аппараттың жылдамдығы тұрақты болмайды. Перигейде оның жылдамдығы жоғары, ал апогейде төмен болады. Бұл құбылыс орбиталық энергия мен импульс моментінің сақталу заңдарымен түсіндіріледі.

3. Орбиталық жылдамдық және ғарыштық жылдамдықтар

Ғарыш аппаратын Жер орбитасына шығару үшін оған белгілі бір бастапқы жылдамдық берілуі қажет. Жылдамдықтың шамасы аппараттың қандай траекториямен қозғалғанын анықтайды.

Жер маңындағы шеңберлік орбита үшін қажетті жылдамдық:

$$V_o = \sqrt{(\mu/r)},$$

мұндағы $\mu = GM$ — Жердің гравитациялық параметрі.

Жер бетіне жақын орналасқан идеал шеңберлік орбита үшін бұл жылдамдық шамамен 7,9 км/с болады.

Егер аппараттың жылдамдығы белгілі бір шектен асып кетсе, ол Жердің тартылыс өрісінен шығып, ашық траекториямен қозғала алады. Жердің тартылысынан толық босап шығуға сәйкес келетін минималды жылдамдық **екінші ғарыштық жылдамдық** деп аталады. Жер бетіне жақын жерде оның мәні шамамен 11,2 км/с.

Орбиталық қозғалысты зерттеуде бірінші және екінші ғарыштық жылдамдықтар маңызды теориялық ұғымдар болып табылады.

4. Кеплер заңдары

Ғарыш аппараттарының орбиталдық қозғалысын түсіндіруде Кеплердің планеталар қозғалысының үш заңы маңызды рөл атқарады.

Бірінші заң: планеталар және идеал екі денелі есептегі орбиталық денелер фокусында тартушы дене орналасқан эллипс бойымен қозғалады.

Екінші заң: тартушы денеден аппаратқа жүргізілген радиус-вектор тең уақыт аралықтарында тең аудандар сызады.

Бұл заң аппараттың орбитадағы жылдамдығының өзгеретінін көрсетеді: перигей маңында аппарат жылдамырақ, ал апогей маңында баяуырақ қозғалады.

Үшінші заң: орбитаның үлкен жарты осінің кубы орбиталық периодтың квадратына пропорционал:

$$T^2 \propto a^3.$$

Бұл заң әртүрлі биіктіктегі орбиталардың айналу периодтарын салыстыруға мүмкіндік береді.

5. Жердің пішіні

Орбиталық қозғалысты дәл есептеу үшін Жерді мінсіз шар ретінде қарастыру жеткіліксіз. Жер өз осінен айналатындықтан, оның пішіні полюстері бағытында сәл сығылған.

Жердің нақты геометриялық пішінін сипаттауда **айналу эллипсоиды** және **геоид** ұғымдары қолданылады.

Айналу эллипсоиды — Жердің математикалық жуықталған пішіні. Ол экваторлық радиус пен полярлық радиустың айырмашылығын ескереді.

Ал **геоид** — Жердің нақты гравитациялық өрісіне байланысты анықталатын күрделі деңгейлік бет. Геоидтың пішіні эллипсоидқа қарағанда күрделірек, себебі Жердің ішкі құрылысы мен массасының таралуы біркелкі емес.

Жердің экваторлық радиусы шамамен 6378 км, ал полярлық радиусы шамамен 6357 км. Осы айырмашылық Жердің мінсіз шар емес екенін көрсетеді.
Жердің пішінін дәл ескеру спутниктердің ұзақ мерзімді орбиталарын есептеуде, навигацияда және геодезиялық өлшеулерде маңызды.

6. Жердің гравитациялық өрісі

Гравитациялық өріс — Жер массасының басқа денелерге тартылыс күшін туғызатын кеңістік аймағы.
Идеал шар тәрізді Жер үшін гравитациялық потенциал:
$$U = -GM/r.$$
Ал гравитациялық үдеудің шамасы:
$$g = GM/r^2.$$
Бұл өрнектер Жердің массасы бір нүктеге жинақталған немесе Жер мінсіз сфералық симметриялы дене болған жағдайда өте қолайлы.
Бірақ нақты Жердің пішіні мен массасының таралуы күрделі болғандықтан, оның гравитациялық өрісі де күрделі сипатқа ие.
Жердің гравитациялық өрісін сипаттау үшін гравитациялық потенциалды көбіне математикалық қатар түрінде өрнектейді. Бұл қатарда Жердің сфералық емес пішіні мен массаның біркелкі таралмауы ескеріледі.

7. Жердің гравитациялық өрісінің біртексіздігі

Жердің ішкі құрылымы біркелкі емес. Таулар, мұхиттар, жер қыртысының тығыздығының айырмашылығы және мантиядағы массалардың таралуы гравитациялық өрістің жергілікті өзгерістеріне әкеледі.
Сонымен қатар Жердің өз осінен айналуы да гравитациялық өлшеулер мен аппарат қозғалысына жанама әсер етеді.
Гравитациялық өрістің сфералық симметриядан ауытқуы ғарыш аппаратының орбитасына біртіндеп әсер етеді. Мысалы, орбитаның жазықтығы, перигейдің орналасуы және орбитаның басқа элементтері уақыт өте өзгеруі мүмкін.
Бұл өзгерістер **орбитаның бұзылуы**, немесе **пертурбация** деп аталады.

8. Орбиталық қозғалыстың бұзылуы

Идеал екі дене моделінде орбита тұрақты эллипс болып қалады. Бірақ нақты ғарыш аппараттарына бірнеше қосымша факторлар әсер етеді:

- Жердің сфералық емес гравитациялық өрісі;
- Жер атмосферасының кедергісі;
- Күннің тартылысы;
- Айдың тартылысы;
- Күн сәулесінің қысымы;
- басқа да әлсіз сыртқы әсерлер.

Осы факторлар орбитаның параметрлерін біртіндеп өзгертеді.

Мысалы, төмен Жер орбитасында атмосфераның қалдық кедергісі аппараттың механикалық энергиясын азайтып, оның орбитасының біртіндеп төмендеуіне себеп болуы мүмкін.
Ал Жердің экваторлық томпаюы орбитаның түйіндерінің және перигейінің уақыт бойынша ығысуына әкеледі. Бұл әсерлерді ұзақ мерзімді орбиталық есептеулер кезінде міндетті түрде ескеру қажет.

9. Геостационарлық орбита

Ғарыштық аппараттардың маңызды орбиталарының бірі — **геостационарлық орбита**.
Геостационарлық аппарат экватор жазықтығында Жердің айналу бағытымен қозғалып, Жердің өз осінен айналу периодына тең периодпен орбитаны айналып шығады. Соның нәтижесінде ол Жер бетіндегі бақылаушыға аспанда бір нүктеде тұрғандай көрінеді.
Мұндай орбиталар байланыс және телехабар тарату спутниктерінде кеңінен қолданылады.
Геостационарлық орбитаның биіктігі Жер центрінен есептегенде шамамен 42 164 км радиусқа сәйкес келеді, яғни Жер экваторынан шамамен 35 786 км биіктікте орналасады.

10. Орбиталық қозғалысты анықтайтын элементтер

Ғарыш аппаратының орбитасын толық сипаттау үшін **алты классикалық орбиталық элемент** пайдаланылады:

1. Үлкен жарты ось (*a*) — орбитаның өлшемін сипаттайды.
2. Эксцентриситет (*e*) — орбитаның пішінін анықтайды.
3. Орбита көлбеулігі (*i*) — орбита жазықтығының экваторға қатысты орналасуын көрсетеді.
4. Өрлеме түйіннің бойлығы (Ω) — орбита жазықтығының кеңістіктегі бағытын анықтайды.
5. Перицентр аргументі (ω) — орбитадағы перигейдің орналасуын сипаттайды.
6. Белгілі бір уақыттағы орта аномалия немесе оған балама параметр — аппараттың орбитадағы нақты орнын анықтауға мүмкіндік береді.

Осы элементтер арқылы аппараттың орбитасын белгілі бір уақыттағы күйімен сипаттауға және оның болашақтағы қозғалысын есептеуге болады.

11. Орбиталық қозғалыстың практикалық маңызы

Орбиталық қозғалыс заңдарын білу қазіргі ғарыштық техниканың барлық дерлік салаларында қажет.
Жасанды Жер серіктері:

- байланыс жүйелерінде;
- навигацияда;
- Жерді қашықтан зондтауда;
- метеорологиялық бақылауда;
- ғылыми зерттеулерде;

- әскери және азаматтық ғарыштық жүйелерде қолданылады.

Әрбір спутник үшін оның орбитасы нақты мақсатқа байланысты таңдалады. Мысалы, Жер бетін жоғары жиілікпен бақылау үшін төмен орбиталар тиімді болса, тұрақты байланыс жүйелері үшін геостационарлық орбиталар қолданылады.

Орбитаны дұрыс таңдау аппараттың қызмет ету мерзіміне, энергия шығынына, қамту аймағына және бақылау мүмкіндіктеріне әсер етеді.

Қорытынды

Ғарыштық аппараттардың орбиталдық қозғалысы Жердің гравитациялық өрісіндегі денелер қозғалысының заңдарына негізделеді. Идеал жағдайда аппараттың қозғалысын Ньютон заңдары мен Кеплер заңдары арқылы сипаттауға болады.

Алайда нақты ғарыштық ұшу жағдайында Жердің мінсіз шар еместігін, оның айналуын және массаның біркелкі таралмағанын ескеру қажет. Жердің экваторлық томпаюы мен гравитациялық өрістің біртексіздігі ғарыш аппаратының орбитасына ұзақ мерзімді әсер етеді.

Сондықтан қазіргі орбиталық динамика екі денелі қарапайым модельмен ғана шектелмейді. Дәл есептеулерде Жердің гравитациялық өрісінің жоғары ретті мүшелері, атмосфералық кедергі, Күн мен Айдың тартылысы және басқа да пертурбациялық факторлар ескеріледі.

Осы заңдылықтарды меңгеру ғарыш аппараттарын орбитаға шығару, олардың қозғалысын басқару, орбитаны түзету және аппараттың ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз ету үшін аса маңызды.

Бақылау сұрақтары

1. Ғарыш аппаратының орбиталдық қозғалысы дегеніміз не?
2. Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы орбиталық қозғалыста қалай қолданылады?
3. Шеңберлік және эллипстік орбиталардың айырмашылығы қандай?
4. Перигей мен апогей дегеніміз не?
5. Орбиталық жылдамдық қандай факторларға тәуелді?
6. Бірінші және екінші ғарыштық жылдамдықтардың физикалық мағынасы қандай?
7. Кеплердің үш заңын атаңыз және олардың мағынасын түсіндіріңіз.
8. Неліктен Жерді мінсіз шар деп қарастыру дәл орбиталық есептеулер үшін жеткіліксіз?
9. Эллипсоид пен геоидтың айырмашылығы қандай?
10. Жердің гравитациялық өрісі дегеніміз не?
11. Гравитациялық потенциал мен гравитациялық үдеу қалай сипатталады?
12. Жердің массасының біркелкі таралмауы ғарыш аппаратының орбитасына қалай әсер етеді?
13. Орбиталық пертурбациялар дегеніміз не?
14. Геостационарлық орбитаның негізгі ерекшеліктері қандай?
15. Ғарыш аппаратының орбитасын сипаттайтын алты классикалық элементті атаңыз.

16. Атмосфералық кедергі төмен орбитадағы аппараттың қозғалысына қалай әсер етеді?
17. Күн мен Айдың тартылысы ғарыш аппаратының орбитасына қандай әсер береді?
18. Жердің экваторлық томпаюы орбиталық қозғалысқа қалай ықпал етеді?
19. Орбитаны түзету не үшін қажет?
20. Жердің пішіні мен гравитациялық өрісін ескеру ғарыштық аппараттарды басқаруда не үшін маңызды?