ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ОЛИЙ ТАЪЛИМ ТИЗИМИ ПЕДАГОГ ВА РАҲБАР КАДРЛАРИНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШНИ ТАШКИЛ ЭТИШ БОШ ИЛМИЙ - МЕТОДИК МАРКАЗИ

МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ПЕДАГОГ КАДРЛАРНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШ ТАРМОҚ (МИНТА Қ АВИЙ) МАРКАЗИ

«МЕХАНИКА» ЙЎНАЛИШИ УЧУН

“МЕХАНИКАНИНГ ДОЛЗАРБ МАСАЛАЛАРИ” модули бўйича

ЎҚУВ –УСЛУБИЙ МАЖМУА

Тошкент 2019

МУНДАРИЖА

I. ИШЧИ ДАСТУР

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ПЕДАГОГ КАДРЛАРНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШ ТАРМОҚ (МИНТАҚАВИЙ) МАРКАЗИ

«Тасдиклайман»
Тармок (минтакавий)
маркази директори
И.Х.Хамиджонов
____
________ 2019 йил

“МЕХАНИКАНИНГ ДОЛЗАРБ МАСАЛАЛАРИ” МОДУЛИНИНГ

ИШЧИ ЎҚУВ ДАСТУРИ

Қайта тайёрлаш ва малака ошириш курси йўналиши: Механика

Тингловчилар контингенти: Олий таълим муассасаларининг
профессор-ўқитувчилари

Тошкент – 2019

Мазкур ишчи ўқув дастур Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2019 йилнинг _____ ________даги _____-сонли буйруғи билан тасдиқланган ўқув режа ва дастур асосида тайёрланди.

Тузувчи:	ЎзМУ, ф-м.ф.д., профессор **Н.А.Коршунова**
Тақризчи:	ф-м.ф.н., доцент **А.Х.Зокиров**

Ишчи ўқув дастур ЎзМУ нинг Кенгашининг 2019 йил _________даги ___- сонли қарори билан нашрга тавсия қилинган.

КИРИШ

Дастур Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-4732-сонли, 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сонли Фармонлари, шунингдек 2017 йил 20 апрелдаги “Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ–2909-сонли қарори ҳамда 2019 йил 27 августдаги “Олий таълим муассасалари раҳбар ва педагог кадрларининг узлуксиз малакасини ошириш тизимини жорий этиш тўғрисида”ги ПФ-5789 – сонли Фармонида белгиланган устувор вазифалар мазмунидан келиб чиққан ҳолда тузилган бўлиб, у олий таълим муассасалари педагог кадрларининг касб маҳорати ҳамда инновацион компетентлигини ривожлантириш, соҳага оид илғор хорижий тажрибалар, янги билим ва малакаларни ўзлаштириш, шунингдек амалиётга жорий этиш кўникмаларини такомиллаштиришни мақсад қилади.

Мазкур дастур ривожланган хорижий давлатларнинг олий таълим соҳасида эришган ютуқлари ҳамда орттирган тажрибалари асосида “Механика” қайта тайёрлаш ва малака ошириш йўналиши учун тайёрланган намунавий ўқув режа ҳамда дастур мазмунидан келиб чиққан ҳолда тузилган бўлиб, у замонавий талаблар асосида қайта тайёрлаш ва малака ошириш жараёнларининг мазмунини такомиллаштириш ҳамда олий таълим муассасалари педагог кадрларининг касбий компетентлигини мунтазам ошириб боришни мақсад қилади.

Жамият тараққиёти нафақат мамлакат иқтисодий салоҳиятининг юксаклиги билан, балки бу салоҳият ҳар бир инсоннинг камол топиши ва уйғун ривожланишига қанчалик йўналтирилганлиги, инновацияларни тадбиқ этилганлиги билан ҳам ўлчанади. Демак, таълим тизими самарадорлигини ошириш, педагогларни замонавий билим ҳамда амалий кўникма ва малакалар билан қуроллантириш, чет эл илғор тажрибаларини ўрганиш ва таълим амалиётига тадбиқ этиш бугунги куннинг долзарб вазифасидир.

Дастур мазмуни олий таълимнинг норматив-ҳуқуқий асослари ва қонунчилик нормалари, илғор таълим технологиялари ва педагогик маҳорат, таълим жараёнларида ахборот-коммуникация технологияларини қўллаш, амалий хорижий тил, тизимли таҳлил ва қарор қабул қилиш асослари, махсус фанлар негизида илмий ва амалий тадқиқотлар, технологик тараққиёт ва ўқув жараёнини ташкил этишнинг замонавий услублари бўйича сўнгги ютуқлар, педагогнинг касбий компетентлиги ва креативлиги, глобал Интернет тармоғи, мультимедиа тизимлари ва масофадан ўқитиш усулларини ўзлаштириш бўйича янги билим, кўникма ва малакаларини шакллантиришни назарда тутади.

Дастур доирасида берилаётган мавзулар таълим соҳаси бўйича педагог кадрларни қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш мазмуни, сифати ва уларнинг тайёргарлигига қўйиладиган умумий малака талаблари ва ўқув режалари асосида шакллантирилган бўлиб, унинг мазмуни жамият ривожи ва таълим–тарбия жараёнининг инновацион масалалари, олий таълимнинг норматив-ҳуқуқий асослари ва қонунчилик ҳужжатлари, илғор таълим технологиялари ва педагогик маҳорат, таълим жараёнларида ахборот-коммуникация технологияларини қўллаш, амалий хорижий тил, тизимли таҳлил ва қарор қабул қилиш асослари, махсус фанлар негизида илмий ва амалий тадқиқотлар, ўқув жараёнини ташкил этишнинг замонавий услублари бўйича сўнгги ютуқлар, педагогнинг креатив компетентлигини ривожлантириш, глобал Интернет тармоғи, мультимедиа тизимларидан фойдаланиш ва масофавий ўқитишнинг замонавий шаклларини қўллаш бўйича тегишли билим, кўникма, малака ва компетенцияларни ривожлантиришга йўналтирилган. Қайта тайёрлаш ва малака ошириш йўналишининг ўзига хос хусусиятлари ҳамда долзарб масалаларидан келиб чиққан ҳолда дастурда тингловчиларнинг махсус фанлар доирасидаги билим, кўникма, малака ҳамда компетенцияларига қўйиладиган талаблар такомиллаштирилиши мумкин.

Модулнинг мақсади ва вазифалари

“Механиканинг долзарб масалалари” модулининг мақсади: педагог кадрларни қайта тайёрлаш ва малака ошириш курси тингловчиларини механика соҳасидаги энг сўнгги ютуқлар, муаммолар ва уларни ҳал этиш йўлларини аниқлаш усуллари, шунингдек, натижаларни амалий аҳамиятлари ва ишлаб чиқариш объектларида қўллаш йўлларини ўрганиш ҳисобланади.

Модулнинг вазифаси мазкур дастур доирасида тингловчиларга назарий ва амалий механиканинг долзарб муаммоларини аниқлаш, таҳлил қилиш ва уларни ечиш усуллари бўйича назарий билим бериш ва муайян кўникмалар ҳосил қилиш ҳисобланади.

Модул бўйича тингловчиларнинг билими, кўникмаси, малакаси ва компетенцияларига қўйиладиган талаблар

“Механиканинг долзарб масалалари” модулини ўзлаштириш жараёнида амалга ошириладиган масалалар доирасида**:**

Тингловчи:

- механика фанларида математик моделлаштиришни сўнгги ютуқларини;
- классик масалаларни ечишда асосий принципларни ва теоремаларни қўллашни;
- механика масалаларини ечишда математик ва алгоритмик моделлаштириш усулларини;
- илмий-тадқиқот ёки ишлаб чиқариш фаолиятида олинган натижаларнинг механик маъносини;
- механика фанларини ўқитишдаги илғор тажрибаларни ***билиши*** керак.

Тингловчи:

- механик ҳаракатга тегишли вариацион масалаларини қўйиш;
- Ньютон майдонида бошқарилувчи нуқта экстремал траекторияларини

аниқлаш;

- ноидеал боғланишли системаларда ишқаланиш қонунини аниқлаш:
- шартли боғланишларни амалга оширувчи реакция кучларини аниқлаш;
- механиканинг асосий принципларини ва интеграллаш усулларини қўллаш ва таснифлаш ***кўникмаларига*** эга бўлиши лозим;

Тингловчи:

- таълим жараёнини ташкил этиш ва бошқариш;
- механика фанига тегишли асосий усулларни амалда қўллаш;
- касбий мулоқот усулларидан фойдаланиш, ҳамкорлик ишларини олиб бориш;
- олиб борилган илмий-амалий ишлар натижалари бўйича ишланмалар ишлаб чиқиш ***малакаларига*** эга бўлиши лозим.

Тингловчи:

- механикага тегишли янги масалаларни қўйиш;
- ҳаракат тенгламаларни тузиш, ечимларни келтириб чиқариш, олинган натижаларни таҳлил қилиш;
- олиб борилган механик амалий тадқиқот натижаларини ўрганилаётган ҳодисаларга мутаносиблиги хақида тавсиялар бериш;
- илмий тадқиқот ишларининг натижаларини тахлил қилиш;
- ўқув масканларида фан соҳаси ихтисослигидан келиб чиқиб педагогик фаолиятни режалаштириш ва амалга ошириш;
- механика фанлари соҳаларида методик ҳамда экспертлик ишларини олиб бориш ***компетенцияларига*** эга бўлиши лозим.

Модулни ташкил этиш ва ўтказиш бўйича тавсиялар

“Механиканинг долзарб масалалари” курси маъруза ва амалий (семинар) машғулотлар шаклида олиб борилади.

Курсни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий методлари, ахборот-коммуникация технологиялари қўлланилиши назарда тутилган:

- маъруза дарсларида замонавий компьютер технологиялари ёрдамида презентацион ва электрон-дидактик технологиялардан;
- ўтказиладиган семинар машғулотларда техник воситалардан, тест сўровлари, ақлий ҳужум, гуруҳли фикрлаш, коллоквиум ўтказиш ва бошқа интерактив таълим усулларини қўллаш назарда тутилади.

Модулнинг ўқув режадаги бошқа модуллар билан боғлиқлиги ва узвийлиги

“Механиканинг долзарб масалалари” модули мазмуни ўқув режадаги “Таълимда ахборот-коммуникацион технологиялар” ўқув модули билан узвий боғланган ҳолда механиканинг долзарб муаммолари бўйича педагогларнинг касбий педагогик тайёргарлик даражасини орттиришга хизмат қилади.

Модулнинг олий таълимдаги ўрни

Модулни ўзлаштириш орқали тингловчилар туташ муҳитлар, гидротехник иншоотлар, экспериментал механика, техника, қурилиш ва ишлаб чиқаришнинг бошқа соҳаларида учрайдиган муаммоларни тадқиқ қилиш йўлларини ўрганиш, уларни таҳлил қилиш ва амалда қўллашга касбий компетентликка эга бўладилар.

“Механиканинг долзарб масалалари” модул бўйича соатлар тақсимоти

№	Модул мавзулари	Ҳаммаси	Аудитория			
			Жами	жумладан		
				Назаий	Амалий	Кўчма машғулот
1.	Ньютон тортиш майдонида экстремал траекторияларни аниқлаш.	8	8	4	4	
2.	Ноидеал сервобоғланишли механик системалар.	6	6	4	2	
3.	Бошқарилувчи механик системалар, ҳаракат тенгламаларининг хусусий ечимларини стабиллаш.	2	2			2
	Жами	**16**	**16**	**8**	**6**	**2**

НАЗАРИЙ ВА АМАЛИЙМАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-Мавзу: Ньютон тортиш майдонида экстремал траекторияларни аниқлаш.

Ньютон тортиш майдонида экстремал траекторияларни аниқлаш.

2-Мавзу: Ноидеал сервобоғланишли механик системалар.

Ноидеал сервобоғланишли механик системалар. Сервобоғланиш реакция кучлари. Сервобоғланишли системанинг ҳаракат тенгламалари.

КЎЧМА МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

Кўчма машғулотлар модул соҳаси бўйича етакчи олий таълим кафедралари ва илмий-тадқиқот муассасалари лабораториялари ҳамда ишлаб чиқариш корхоналари бўлимларида ташкил этилади. Мазкур машғулотлар соҳага оид долзарб мавзуларда тажриба-синов ва лаборатория машғулотлари ҳамда танишув амалиёти шаклларида олиб борилади. Шунингдек, таъкидланган муассасалар ва корхоналар етакчи мутахассислари томонидан республика ва хорижий илмий марказларда соҳа йўналишида амалга оширилаётган илғор илмий ва амалий тадқиқотлар бўйича таҳлилий шарҳлар берилиши мақсадга мувофиқдир.

Кўчма машғулот учун қуйидаги мавзу тавсия этилади:

1мавзу: “Бошқарилувчи механик системалар, ҳаракат тенгламаларининг хусусий ечимларини стабиллаш” мавзуси бўйича кўчма машғулот ўтказилади.

ЎҚИТИШ ШАКЛЛАРИ

Мазкур модулни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий методлари, педагогик технологиялар ва ахборот-коммуникация технологиялари қўлланилиши назарда тутилган:

- маъруза дарсларида замонавий компьютер технологиялари ёрдамида презентацион ва интерфаол педагогик (Ақлий хужим, Венн диаграммаси, концептуал жадвал) усул ва технологиялардан фойдаланилади;
- ўтказиладиган амалий машғулотларда техник воситалардан, график органайзерлардан, кейслардан фойдаланиш, гуруҳли фикрлаш, кичик гуруҳлар билан ишлаш, блиц-сўровлардан ва бошқа интерактив таълим усулларини қўллаш назарда тутилади.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

I. Ўзбекистон Республикаси Президентининг асарлари

1. Каримов И.А. Ўзбекистон мустақилликка эришиш остонасида. -Т.: “Ўзбекистон”. 2011. - 440 б.
2. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажагимизни мард ва олижаноб ҳалқимиз билан бирга қурамиз. – Т.: “Ўзбекистон”. 2017. – 488 б.
3. Мирзиёев Ш.М. Миллий тараққиёт йўлимизни қатъият билан давом эттириб, янги босқичга кўтарамиз – Т.: “Ўзбекистон”. 2017. – 592 б.

II. Норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар

4. Ўзбекистон Республикасининг Конституцияси. – Т.: Ўзбекистон. 2018.
5. Ўзбекистон Республикасининг “Таълим тўғрисида”ги Қонуни.
6. Ўзбекистон Республикасининг “Коррупцияга қарши курашиш тўғрисида”ги Қонуни.
7. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муасасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПФ-4732-сонли Фармони.
8. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги 4947-сонли Фармони.
9. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 3 февралдаги “Хотин-қизларни қўллаб-қувватлаш ва оила институтини мустаҳкамлаш соҳасидаги фаолиятни тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5325-сонли Фармони.
10. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 17 июндаги “2019-2023 йилларда Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий

университетида талаб юқори бўлган малакали кадрлар тайёрлаш тизимини тубдан такомиллаштириш ва илмий салоҳиятини ривожлантири чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4358-сонли Қарори.

11. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 11 июлдаги «Олий ва ўрта махсус таълим тизимига бошқарувнинг янги тамойилларини жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида »ги ПҚ-4391- сонли Қарори.

12. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 11 июлдаги «Олий ва ўрта махсус таълим соҳасида бошқарувни ислоҳ қилиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПФ-5763-сон Фармони.

13. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 августдаги “Олий таълим муассасалари раҳбар ва педагог кадрларининг узлуксиз малакасини ошириш тизимини жорий этиш тўғрисида”ги ПФ-5789-сонли Фармони.

14. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “2019-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини инновацион ривожлантириш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида”ги 2018 йил 21 сентябрдаги ПФ-5544-сонли Фармони.

15. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 майдаги “Ўзбекистон Республикасида коррупцияга қарши курашиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5729-сон Фармони.

16. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 2 февралдаги “Коррупцияга қарши курашиш тўғрисида”ги Ўзбекистон Республикаси Қонунининг қоидаларини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2752-сонли Қарори.

17. Ўзбекистон Республикаси Президентининг "Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 20 апрелдаги ПҚ-2909-сонли Қарори.

18. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий маълумотли мутахассислар тайёрлаш сифатини оширишда иқтисодиёт соҳалари ва тармоқларининг иштирокини янада кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 27 июлдаги ПҚ-3151-сонли Қарори.

19. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Нодавлат таълим хизматлари кўрсатиш фаолиятини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 15 сентябрдаги ПҚ-3276-сонли Қарори.

20. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий таълим муассасаларида таълим сифатини ошириш ва уларнинг мамлакатда амалга оширилаётган кенг қамровли ислоҳотларда фаол иштирокини таъминлаш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги 2018 йил 5 июндаги ПҚ-3775-сонли Қарори.

21. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 26 сентябрдаги “Олий таълим муассасалари педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 278-сонли Қарори.

Ш. Махсус адабиётлар

22. Ишмухамедов Р.Ж., Юлдашев М. Таълим ва тарбияда инновацион

педагогик технологиялар.– Т.: “Ниҳол” нашриёти. 2013, 2016. – 279 б.

23. Креативная педагогика. Методология, теория, практика. / под. ред. Попова В.В., Круглова Ю.Г.-3-е изд.–М.: “БИНОМ. Лаборатория знаний”. 2012. – 319 с.

24. Каримова В.А., Зайнутдинова М.Б. Информационные системы.- Т.: Aloqachi. 2017. - 256 стр.

25. Информационные технологии в педагогическом образовании / Киселев Г.М., Бочкова Р.В. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Дашков И.К. 2018. - 304 с.

26. Natalie Denmeade. Gamification with Moodle. Packt Publishing - ebooks Accoun 2015. - 134 pp.

27. Paul Kim. Massive Open Online Courses: The MOOC Revolution. Routledge; 1 edition 2014. - 176 pp.

28. William Rice. Moodle E-Learning Course Development - Third Edition. Packt Publishing - ebooks Account; 3 edition 2015. - 350 pp.

29. English for academics. Cambridge University Press and British Council Russia, 2014. Book 1,2.

30. Karimova V.A., Zaynutdinova M.B., Nazirova E.Sh., Sadikova Sh.Sh. Tizimli tahlil asoslari.– T.: “O’zbekiston faylasuflar milliy jamiyati nashriyoti”, 2014. – 192 b.

31. Yusupbekov N.R., Aliev R.A., Aliev R.R., Yusupbekov A.N. Boshqarishning intellectual tizimlari va qaror qabul qilish. –Toshkent: “O’zbekiston milliy ensiklopediyasi” DIN. 2015. – 572 b.

32. Mark A Friend, James P Kohn, Fundamentals of Occupational Safety and Health. 2015.

33. Lawden D.F. Optimal Trajectories for Space Navigation Butterworth, Washington, D.C. 2013

34. Natalya.A.Korshunova and Dilmurat.M.Azimov. Analytical Solutions for Thrust Arcs in a Field of Two Fixed Centers // «Journal of Guidance, Control, and Dynamics» (AIAA), USA, 2014. V.37, №5, pp. 1716-1719.

35. Herbert Goldstein. Classical Mechanics. Pearson New International Edition. USA, 2013

36. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. 3-е изд. М.: Физматлит, 2012. — С. 262. — ISBN 5-9221-0067-X.

37. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.2. М.: Наука, 2004 (электрон вариант).

38. Р. Темам, А. Миранвиль. Математическое моделирование в механике сплошных сред . Изд. Бином. 2-издание, М., 2014. 320 с.

IV. Интернет сайтлар

39. Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги: www.edu.uz.

40. Бош илмий-методик марказ: www.bimm.uz

41. www. Ziyonet. Uz

42. www.arxiv.org

43. www.ams.mathscinet.org
44. http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/theoretical.htm/
45. http://www.ruscommech.ru/
46. http://www.knigapoisk.ru/book
47. www.natlib.uz
48. www.twirpx.com

II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТРЕФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ.

“SWOT-таҳлил” методи.

Методнинг мақсади: мавжуд назарий билимлар ва амалий тажрибаларни таҳлил қилиш, таққослаш орқали муаммони ҳал этиш йўлларни топишга, билимларни мустаҳкамлаш, такрорлаш, баҳолашга, мустақил, танқидий фикрлашни, ностандарт тафаккурни шакллантиришга хизмат қилади.

S – (strength)	• кучли томонлари
W – (weakness)	• заиф, кучсиз томонлари
O – (opportunity)	• имкониятлари
T – (threat)	• тўсиқлар

S	Механиканинг долзарб масалаларига тегишли усуллардан фойдаланишнинг кучли томонлари	Бу усуллар кенг қамровли бўлиб механиканинг барча соҳаларини қамраб олади ва муҳитларга тегишли моделларнинг кўплиги билан ажралиб туради.
W	Механиканинг долзарб масалаларига тегишли усуллардан фойдаланишнинг кучсиз томонлари	Механик системаларнинг пластиклик соҳаларида аниқ ечимларни олиш катта муаммо туғдиради.
O	Механиканинг долзарб масалалари фанининг усулларидан фойдаланиш имкониятлари	Ҳар доим ҳам умумий ечимни аниқлаб бўлмасада, аналитик механиканинг усуллари ёрдамида хусусий ечимларни аниқлаш имконияти мавжуд.
T	Тўсиқлар (ташқи)	Моделларнинг торлиги ва муҳитларни танлаб олиш зарурати.

“Ассесмент” методи

Методнинг мақсади: мазкур метод таълим олувчиларнинг билим даражасини баҳолаш, назорат қилиш, ўзлаштириш кўрсаткичи ва амалий кўникмаларини текширишга йўналтирилган. Мазкур метод орқали таълим олувчиларнинг билиш фаолияти турли йўналишлар (тест, амалий кўникмалар, муаммоли вазиятлар машқи, қиёсий таҳлил, симптомларни аниқлаш) бўйича ташҳис қилинади ва баҳоланади.

Методни амалга ошириш тартиби:

“Ассесмент” лардан маъруза машғулотларида талабаларнинг ёки қатнашчиларнинг мавжуд билим даражасини ўрганишда, янги маълумотларни баён қилишда, семинар, амалий машғулотларда эса мавзу ёки маълумотларни ўзлаштириш даражасини баҳолаш, шунингдек, ўз-ўзини баҳолаш мақсадида индивидуал шаклда фойдаланиш тавсия этилади. Шунингдек, ўқитувчининг ижодий ёндашуви ҳамда ўқув мақсадларидан келиб чиқиб, ассесментга қўшимча топшириқларни киритиш мумкин.

“Ассесмент” методига мисол

Тест

- 1.Гамильтон принципида қандай ҳаракатлар бир-бири билан солиштирилади ?
- А. ихтиёрий
- В. Хақиқий ва кинематик мумкин бўлган ҳаракатлар
- С. Бир нуқтадан чиқувчи

Қиёсий таҳлил

- Гамильтон принципини қулланиш соҳасини таҳлил қилинг?

Тушунча таҳлили

- Гамильтон бўйича таъсир қисқармасини изоҳланг...

Амалий кўникма

- Каноник алмаштириш аломатини бажариш кетма-кетлтгини чизиқли алмаштиришда келтиринг

III. НАЗАРИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ

1-мавзу. Ньютон тортиш майдонида экстремал траекторияларни аниқлаш.

Оптимизация траекторий в гравитационных полях»

Махсус курс гравитацион майдонларда нуқтанинг (космик аппаратнинг массалар маркази) харакатини оптималлаш масаласига багишланган. Айрим муоммоларига багишланган булиб, Асосий эътибор Лоуден усулига багишланган. Бундан ташкари космик аппаратнинг масса марказини гравитацион майдон таъсирида харакат тенгламаларини тузиш, тахлил килиш ва оптимал траекторияларини топиш методлари урганилади.

Методы определения аналитических решений на активных участках оптимальных траекторий точки (центр масс космического аппарата) в центральных и нецентральных гравитационных полях (центральное ньютоновское поле, поле двух неподвижных центров, ограниченная задача трех тел, произвольное поле). Исследование на устойчивость и на управляемость. Стабилизация движения. Построение регулятора. Конкретные задачи небесной баллистики.

1. Оптимал бошқарув масаласини қўйилиши. Экстремал масалаларнинг асосий синфлари.
2. Ҳаракатни бошқариш назариясининг икки асосий масаласи: дастурий бошқарувни қуриш масаласи ва бошқаришни синтез масаласи.
3. Майернинг вариацион масаласини қўйилиши. Функционалнинг тўлиқ вариацияси.
4. Стационарликнинг зарурий шартлари (Эйлер-Лагранж тенгламалари).
5. Трансверсаллик шартлари. Бошқаришнинг узилиш нуқталаридаги шартлар.
6. Вариацион масала дифференциал тенгламаларининг биринчи интеграли.
7. Вейерштрасс шарти.
8. Гравитацион майдонда оптимал траекторияларини топишнинг умумий назарияси. Базис-вектор. Базис-вектор учун дифференциал тенглама.
9. Нол, максимал, оралиқ тортиш қисмлари. Базис-вектор гадографи.
10. Вариацион масаланинг ечимини Гамильтон системаларини интеграллашга келтириш.
11. Нол, оралик ва максимал тортиш кисмларидаги биринчи интеграллар.
12. Интеграллаш муаммоси. Интеграллаш усуллари. Хусусий аналитик ечимларни кулланиш.
13. Марказий Ньютон майдонида нол, оралик ва максимал тортиш кисмларида базис-векторнинг узгариш характери.

14. Орбиталараро учиб утишлар.
15. Макбул чикиб кетиш маневрлари.
16. Гравитацион майдонида муайян маневрларни амалга ошириш учун хусусий ечимларни кулланиш.
17. Массаси узгарувчи моддий нуқтани марказий ньютон майдонидаги оралиқ тортишиш қисми учун интегралланувчи ҳол.
18. Марказий булмаган гравитация майдонларида моддий нуқтанинг актив ҳаракати траекторияларини оптималлаштириш.
19. Дастурий тортиш кучини аниқлаш масаласи.
20. Чизиқли бошқарилувчи системалар учун дастурий бошқарувни қуриш.
21. Чизиқли стационар системалар учун бошқарилиш критерийси.
22. Бошқаришни текширишга оид ва скаляр бошқаришларни аниқлашга оид асалалар.
23. Икки тортиш марказидан бири чексизликка интилган ҳол учун нуқта харакатини оптималлаштириш ва стабиллаштириш.
24. Чегараланган уч жисм масаласининг айланма харакат ҳоли учун нуктанинг оптимал траекториялари.
25. Чегаранган уч жисм масаласи холида актив қисмида нуқта ҳаракатини стабиллаштириш.

Режа:

1. Вариацион масаланинг қўйилиши.
2. Интеграллаш муаммолари.
3. Хусусий ечимларни топиш усуллари

Таянч сўзлар: *массаси ўзгарувчи нуқта, минимал қиймати талаб қилинувчи функционал, актив соҳалар, базис-вектор, гамильтон системаси, тортиш кучининг қиймати ва йўналиши, массанинг вақт оралиғидаги сарфи.*

1.1. Вариацион масаланинг қўйилиши

Қуйида ўзгарувчан массали нуқта – космик кеманинг (КА) фазодаги ҳаракатини, яъни фазонинг бир нуқтасидан бошқа нуқтасига ўтиш масаласини экстремал траекторияларини аниқлаш масаласини кўриб чиқамиз. Бундай масала хозирда космик парвозлар механикасининг долзарб масалаларидан ҳисобланади. Массаси ўзгарувчи моддий нуқта ҳаракат тенгламаси - Мешчерский тенгламасига кўра бу нуқта ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\mathrm{M}\,\frac{d\vec{v}}{dt}=\vec{\Phi}+M\vec{g}\,. \qquad (1.1.1)$$

Бунда M-космик кема (КА) массаси; $\vec{g}$-гравитацион тезланиш; $\vec{\Phi}$-реактив куч бўлиб, бундан кейин бу кучни тортувчи куч деб айтиб кетамиз. Умумий назарияга кўра

$$\vec{\Phi} = \vec{v}_r \frac{dM}{dt} .$$

Бунда $\vec{v}_r$ –ёниш натижасида отилиб чиқаётган зарраларнинг нисбий тезлиги: $\vec{v}_r = -c\vec{e}$; $\vec{e}$-тортувчи куч бўйлаб йўналган бирлик вектор. c ни ўзгармас деб хисоблаймиз (кимёвий ёқилғи сарфлайдиган космик кемаларда нисбий тезлик c доимий).

Масса ўзгаришининг моҳиятига кўра, $\frac{dM}{dt} = -m < 0$ (нуқта массаси камаяди) ва m-масса сарфи чегараланган, $0 \le m \le \tilde{m}$. У ҳолда қуйидаги дифференциал тенгламага келамиз:

$$\begin{cases} \dot{\upsilon} = \frac{cm}{M}\vec{e} + \vec{g}, \\ \dot{\vec{r}} = \vec{v}, \\ \dot{M} = -m. \end{cases} \qquad (1.1.2)$$

Бу ерда $\vec{r}$-нуқта радиус вектори , $\vec{v}$-унинг тезлиги .

Қуйида берилган дастлабки холатдан якуний ҳолатга ўтганда олдиндан берилган маълум функционални минималлаштирувчи тортувчи кучнинг йўналиши ва қийматини топишга қаратилган (m ва $\vec{e}$) вариацион масалани кўриб чиқамиз.

Минималлаштирилувчи функционал сифатида одатда характеристик тезлик

$$\Im = c \ln \frac{M_0}{M} .$$

олинади.

Бу масала механик маъносига кўра, масса сарфини минималлаштириш масаласи билан бир хил кучга эга .

$$\Im = \int_0^t \frac{cm}{M} dt = -\int_0^t \frac{c}{M} \frac{dM}{dt} dt = -c \int_0^t \frac{dM}{M} dt = c \ln \frac{M_0}{M} .$$

Масаланинг қўйилишига кўра, тортиш кучининг йўналиши ва масса сарфи бошқарувчи параметрлар ролини бажаради. Бу ҳолда тортиш кучини йўналишини белгиловчи базис-вектор $\left|\vec{\lambda}\right| = 1, \vec{e} = \vec{\lambda}$ киритилади[1] [1] ва оптималликнинг зарурий шартидан оптимал траектория 3 та қисмдан иборат бўлиши келиб чиқади:

Нол тортиш кучи қисми (НТ), $m = 0, \quad \kappa \le 0$

Оралиқ тортиш кучи қисми (ОТ), $0 < m(t) < 0, \quad \kappa \equiv 0$,

Максимал тортиш кучи қисми (МТ), $m = \tilde{m}, \quad \kappa \ge 0$.

---

[1] Lawden D.F. Optimal Trajectories for Space Navigation Butterworth, Washington, D.C. 2003

$$\kappa = \frac{c}{M}\lambda - \lambda_7 , \ \vec{e} = \frac{\vec{\lambda}}{\lambda} .$$

Вариацион масаланинг дифференциал тенгламалари:

$$\dot{\vec{\upsilon}} = \frac{cm}{M}\frac{\vec{\lambda}}{\lambda} + \vec{g}(\vec{r}) ;$$

$$\dot{\vec{r}} = \vec{\upsilon} ; \quad \dot{M} = -m ;$$

$$\dot{\vec{\lambda}} = -\vec{\lambda}_r \ ; \ \dot{\vec{\lambda}}_r = -\frac{\partial \vec{g}}{\partial \vec{r}}\vec{\lambda} ; \ \dot{\lambda}_7 = \frac{cm}{M^2}\lambda .$$

Стационарлик ва Вейерштрасс шартларини қўллаган ҳолада, бизнинг оптимал бошқарув масаласи ўн тўртинчи тартибли ёпиқ Гамильтон системасини НТ, ОТ ва МТ ораliқларда интеграллаш масаласига келади [1]. Бунда Гамильтон функцияси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\mathrm{H} = \sum_{i=1}^{7} \lambda_i \dot{x}_i .$$

Бу ерда λ_i-Лагранж кўпайтувчилари.

$$\mathrm{H} = \vec{\lambda}\left(\frac{cm}{M}\frac{\vec{\lambda}}{\lambda} + \vec{g} \right) + \vec{\lambda_r}\vec{v} - \lambda_7 m . \qquad (1.1.3)$$

Бу ердаги қўшимча функция – m бошқарув параметрини фазавий ўзгарувчилар орқали киритишимиз мумкин [1]. Бунда $\vec{\lambda},\vec{\lambda_r},\lambda_7$ лар $\vec{v},\vec{r},$М ўзгарувчиларга мос кўпайтувчилар. Масаланинг дифференциал тенгламалар системаси Гамильтон системаси кўринишида ёзилади ва ушбу кўринишга эга бўлади:

$$\dot{x}_i = \frac{\partial \mathrm{H}}{\partial \lambda_i}, \ \dot{\lambda}_i = -\frac{\partial \mathrm{H}}{\partial x_i} \quad (\, i = \overline{1{,}7} \,) , \qquad (1.1.4)$$

1.2. Вариацион масаланинг дифференциал тенгламалари

Чегараланган масса сарфи билан ҳаракат қилаётган нуқта (КА массалар маркази) ҳаракатини оптимал траекториясини топиш масаласини гравитацион майдонда жойлашган ўзаро бир-бири билан Ньютон қонунига кўра тортишишаётган уч жисм масаласи сифатида кўриб чиқамиз. Бу масаладаги жисмларнинг массаларини мос равишда M_1, M_2 ва M деб оламиз. Бунда M_2 массали жисм M_1 массали жисм атрофида радиуси a га тенг айлана бўйлаб ҳаракат қилади деб қабул қиламиз. Биз кўраётган масалада $M(t)$ ўзгарувчан массали космик кема (КА) массаси биз қараётган қолган икки осмон жисмларининг массасидан анча кичик чеб қабул қиламиз. Чегараланган уч жисм масаласига кўра, жисмлардан биронтасининг массаси бошқа $M_1 > M_2 >> M$ иккитасиникига қараганда анча кичик бўлади. Демак кўрилаётган масала доиравий чегараланган уч жисм масаласига келди. Шартли равишда M_1 ва M_2 ларни Ер ва Ой деб атаймиз Уларнинг массалари бир-бирига нисбатан ўлчовдош ва M массали жисмнинг тортиш марказларига таъсирини йўқ деб қараймиз.

Юқорида келтирилган соддалаштириларни ҳисобга олган ҳолда, КА нинг (КА массалар марказининг) ҳаракатини иккита тортиш майдони таъсида кўриб чиқамиз. Бунинг учун геоцентрик ва инерциал x, y, z координаталар системаларини киритамиз. Бунда координаталар бошини ер марказида, XY текислик Ой орбитаси текислигида ётади. Нуқта ҳаракатини цилиндрик координаталар системасида қараймиз.

$$\left|\vec{r}_1\right| = a. \tag{1.2.1}$$

a Ой орбитаси радиуси. Ой орбитаси бизга маълум бўлиб, уни Ер атрофидаги бурчак тезлигини n га тенг деб оламиз. Бу ҳолда нуқтанинг координаталари учун :

$$\begin{cases} x_1 = a\cos nt, \\ y_1 = a\sin nt, \\ z_1 = 0. \end{cases} \tag{1.2.2}$$

муносабат ўринли. Ойнинг тезлиги $v_{кр} = \sqrt{\dfrac{\mu}{a}}$ ($\mu = f(M_1 + M_2)$)га тенг эканлигини ҳисобга олсак,

$$n^2 = \frac{\mu}{a^3} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{a^3} \tag{1.2.3}$$

Бунда $\mu_1 = f\,M_1,\ \mu_2 = f\,M_2$ мос равишда Ой ва Ернинг гравитацион доимийлари. Биз цилиндрик координаталарда қараётганимиз учун цилиндрик координата системасида

$$\begin{cases} x = r\cos\varphi, \\ y = r\sin\varphi, \\ z = z. \end{cases} \tag{1.2.4}$$

бўлади. Бу ерда $\alpha = nt - \varphi$.

Бизга маълумки, доиравий чегараланган уч жисм масаласининг дифференциал тенгламалари қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{d^2\tilde{\vec{r}}}{dt^2} = \frac{cm}{M}\vec{e} - \frac{\mu_1}{\tilde{r}^2}\frac{\tilde{\vec{r}}}{\tilde{r}} - \frac{\mu_2}{\rho^2}\frac{\left(\tilde{\vec{r}} - \vec{r}_1\right)}{\rho} - \frac{\mu_2}{a^2}\frac{\vec{r}_1}{a}.$$

Вектор кўринишдаги тенгламани цилиндрик координата системасида ёзиш учун кинематик катталикларга мурожат қиламиз. Нуқтанинг тезлик ва тезланишларини цилиндрик координата системасидаги проекциялари қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{cases} v_1 = \dot{r}, \\ v_2 = r\dot{\varphi}, \\ v_3 = \dot{z}. \end{cases} \tag{1.2.5}$$

Тезланиши эса

$$\begin{cases} W_1 = \ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 = \dot{v}_1 - \dfrac{\dot{v}_2^2}{r}, \\ W_2 = 2\dot{r}\dot{\varphi} + r\,\ddot{\varphi} = \dot{v}_2 + \dfrac{v_1 v_2}{r}, \\ W_3 = \ddot{z} = \dot{v}_3. \end{cases} \tag{1.2.6}$$

кўринишга эга.

КА ва Ой радиус векторларини цилиндрик координаталар системасига проекциялаcак

$$\vec{\tilde{r}}\left(r;0;z\right);\ \vec{r}_1\left(a\cos\alpha;\ a\sin\alpha;\ 0\right). \tag{1.2.7}$$

Энди ҳаракат тенгламаларини цилиндрик координаталарга проекциялаcак

$$\begin{cases} W_1 = \dfrac{cm}{M}e_1 - \mu_1\dfrac{r}{\tilde{r}^3} + \mu_2(\dfrac{a\cos\alpha - r}{\rho^3} - \dfrac{\cos\alpha}{a^2}), \\ W_2 = \dfrac{cm}{M}e_2 + \mu_2\dfrac{a\sin\alpha}{\rho^3} - \mu_2\dfrac{\sin\alpha}{a^2}, \\ W_3 = \dfrac{cm}{M}e_3 - \mu_1\dfrac{z}{\tilde{r}^3} - \mu_2\dfrac{z}{\rho^3}. \end{cases} \tag{1.2.8}$$

(1.2.5), (1.2.6) ва (1.2.8) ни ҳисобга олиб қуйидагиларни хосил қиламиз :

$$\begin{cases} \dot{v}_1 = \dfrac{cm}{M}\lambda_1 - \dfrac{\mu_1 r}{\tilde{r}^3} - \dfrac{\mu_2}{\rho^3}\left(r - a\cos\alpha\right) - \dfrac{\mu_2}{a^2}\cos\alpha + \dfrac{v_2^2}{r}, \\ \dot{v}_2 = \dfrac{cm}{M}\lambda_2 + \dfrac{\mu_2}{\rho^3}a\sin\alpha - \dfrac{\mu_2}{a^2}\sin\alpha - \dfrac{v_1 v_2}{r}, \\ \dot{v}_3 = \dfrac{cm}{M}\lambda_3 - \dfrac{\mu_1 z}{\tilde{r}^3} - \dfrac{\mu_2 z}{\rho^3}. \end{cases} \tag{1.2.9}$$

$$\begin{cases} \dot{r} = v_1, \\ \dot{\varphi} = \dfrac{v_2}{r}, \\ \dot{z} = v_3. \end{cases} \tag{1.2.10}$$

Бу ерда $\lambda_i = e_i$ $(i = \overline{1,3})$. Бизнинг масала ОТ ораликда қараляпти. Ушбу холатда базис – вектор e_i катталиги

$$e_i = \frac{\lambda_i}{\lambda} = \lambda_i, (i = 1,2,3),\ \lambda = \left|\vec{\lambda}\right| = 1. \tag{1.2.11}$$

$\vec{\lambda} = \vec{\lambda}\left(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\right)$. Ўзгарувчи массали КА да масса ўзгариши

$$\frac{dM}{dt} = -m < 0 \; . \qquad (1.2.12)$$

яъни

$$\dot{M} = -m \, . \qquad (1.2.13)$$

Демак биз (1.2.9), (1.2.10) ва (1.2.13) тенгламаларга эга вариацион масалага келамиз[2] [2,4]. Агар юқоридаги тенгамаларни ва

$$\mathrm{H} = \sum_{i=1}^{7} \lambda_i \dot{x}_i \; . \qquad (1.2.14)$$

ни ҳисобга олсак

$$\begin{aligned} H = {} & \lambda_1 \left(\frac{cm}{M}\,\lambda_1 - \frac{\mu_1 r}{\tilde{r}^3} - \frac{\mu_2}{\rho^3}(r - a\cos\alpha) - \frac{\mu_2}{a^2}\cos\alpha + \frac{v_2^2}{r} \right) + \\ & + \lambda_2 \left(\frac{cm}{M}\,\lambda_2 + \frac{\mu_2}{\rho^3} a\sin\alpha - \frac{\mu_2}{a^2}\sin\alpha - \frac{v_1 v_2}{r} \right) + \lambda_3 \left(\frac{cm}{M}\,\lambda_3 - \frac{\mu_1 z}{\tilde{r}^3} - \frac{\mu_2 z}{\rho^3} \right) + \qquad (1.2.15) \\ & + \lambda_4 v_1 + \lambda_5 \frac{v_2}{r} + \lambda_6 v_6 - \lambda_7 m. \end{aligned}$$

Бизга маълумки, Гамильтон системасида $\dot{x}_i = \frac{\partial \mathrm{H}}{\partial \lambda_i},\ \dot{\lambda}_i = -\frac{\partial \mathrm{H}}{\partial x_i} \quad (i = \overline{1{,}7})$ бўлади. Энди $\dot{\lambda}_i$ ларни топсак

$$\dot{\lambda}_1 = \lambda_2 \frac{v_2}{r} - \lambda_4 , \qquad (1.2.16)$$

$$\dot{\lambda}_2 = \frac{1}{r}(\lambda_2 v_1 - 2\lambda_1 v_2 - \lambda_5), \qquad (1.2.17)$$

$$\dot{\lambda}_3 = -\lambda_6 , \qquad (1.2.18)$$

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_4 = {} & \lambda_1 \left(\frac{\mu_1}{\tilde{r}^3} + \frac{\mu_2}{\rho^3} + \frac{v_2^2}{r^2} - \frac{3\mu_1 r^2}{\tilde{r}^5} - \frac{3\mu_2}{\rho^5}(r - a\cos\alpha)^2 \right) + \\ & + \lambda_2 \left(\frac{3\mu_2 a}{\rho^5}\sin\alpha(r - a\cos\alpha) - \frac{v_1 v_2}{r^2} \right) - \lambda_3 \left(\frac{3\mu_1 r\, z}{\tilde{r}^5} + \frac{3\mu_2 z}{\rho^5}(r - a\cos\alpha) \right) + \lambda_5 \frac{v_2}{r^2} \end{aligned} \;, \; (1.2.19)$$

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_5 = {} & \lambda_1 \mu_2 \sin\alpha \left(\frac{1}{a^2} - \frac{a}{\rho^3} + \frac{3ar}{\rho^5}(r - a\cos\alpha) \right) + \\ & + \lambda_2 \mu_2 \left(\frac{a}{\rho^3}\cos\alpha - \frac{\cos\alpha}{a^2} - \frac{3a^2 r}{\rho^5}\sin^2\alpha \right) + \lambda_3 \cdot 3\mu_2 \frac{zar}{\rho^5}\sin\alpha \end{aligned} \;, \qquad (1.2.20)$$

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_6 = {} & -3\lambda_1 z \left(\frac{\mu_1 r}{\tilde{r}^5} + \frac{\mu_2}{\rho^5}(r - a\cos\alpha) \right) + \lambda_2 \frac{3\mu_2 a z}{\rho^5}\sin\alpha + \\ & + \lambda_3 \left(\frac{\mu_1}{\tilde{r}^3} + \frac{\mu_2}{\rho^3} - \frac{3\mu_1 z^2}{\tilde{r}^5} - \frac{3\mu_2 z^2}{\rho^5} \right), \end{aligned} \;, \qquad (1.2.21)$$

$$\dot{\lambda}_7 = \frac{c\dot{m}}{M^2} \, . \qquad (1.2.22)$$

---

[2] 1. Азизов А.Г.,Коршунова Н.А. Вариационные задачи механики космического полета.- Ташкент, 1990.
2.Azizov A.G.,Korshunova N.A. On an analytical solution of optimum trajectory problem in a gravitational field // Celestial Mech.- 1986.- V.38. № 4.

(1.2.9), (1.2.10), (1.2.13) ва (1.2.16) - (1.2.22) тенгламалар системаси автоном бўлмаган системага киради. Бу холда бизда фақат 2 та интеграл бор[3] [2].

$$\lambda_7 M = c;\ \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1. \qquad (1.2.23)$$

Шунинг учун хусусий ечимни топиш масаласига келамиз. Хусусий ечимни топиш усулларидан бири Докшевич методи бўлиб интеграл тузилиши тахлили натижасида ушбу система учун янги хусусий ечимларни олишимиз мумкин [1].

2. Интеграллаш муаммоси

Кўп сонли изланишларга қарамай нуқтанинг оптимал траекторияларини аниқлаш ва ҳаракатини бошқариш масаласи ҳозиргача марказий ньютон майдони учун ҳам бошқа майдонлар учун ҳам муаммо бўлиб келмоқда. Ҳозирги кунда ўзгарувчи ва ўзгармас тортишиш кучи қисмларида аналитик ечимларни аниқлаш, актив ва пассив қисмларни синтез қилиш, орбиталараро учиб ўтиш траекторияларини қуриш масалалари ечилмаган. Вариацион масалани квадратураларга келтиришдаги қийинчиликларни кўриб чиқайлик.

Гравитацион майдонларда нуқтанинг оптимал ҳаракати дифференциал тенгламаларини анатилик интеграллаш масалаларига кўплаб илмий ишлар бағишланган. Бу турдаги масалаларни ечиш учун аналитик механика усулларини қўллашга ҳаракат қилинган, масалан, каноник алмаштиришлар назарияси ва Гамильтона-Якоби назарияси, Нётер теоремаси, Леман-Филе ва Леви-Чивита усуллари ва бошқалар. Гравитацион майдонда космик аппаратни оптимал ҳаракати масаласини ечишда келинадиган дифференциал тенгламалар системасининг биринчи интегралларини аниқлашга бағишланган ишлар мавжуд.

Базис-вектор ва ўтиш функциясини киритишга асосланган Лоуден усули [1] актиф қисмларда аналитик ечимларни аниқлаш муаммосини нол, оралиқ ва максимал тортишиш кучи қисмлари учун 14-тартибли гамильтон системаларига келтириш ва шу ёпиқ системани интеграллаш масаласига олиб келиш имконини берди[4] [1]. Бундай ёндошув вариацион масалани ечишда гамильтон системалари учун яхши қўлланиладиган анатитик механика аппаратидан, ҳамда назарий механиканинг классик масалалари тенгламаларини интеграллаш соҳасидаги фундаментал натижалардан фойдаланиш имконини беради.

---

[3] Азизов А.Г.,Коршунова Н.А. Вариационные задачи механики космического полета.- Ташкент, 1990.

[4] Lawden D.F. Optimal Trajectories for Space Navigation Butterworth, Washington, D.C. 2003

Гамильтон системаси учун қуйидаги интеграллар мавжуд[5] [2]. Стационар майдон учун барча қисмларда $\sum \lambda_i \dot{x}_i = h$ интеграл мавжуд, бу ерда h ўзгармас сон учта қисм учун ҳам бир хил. Бу интеграл бутун траектори бўйлаб гамильтонианни сақланишига мос келади ва ушбу кўринишга келтирилади:

$$\vec{\lambda}\vec{g} + \vec{\lambda}_r\vec{\upsilon} + \beta m = h,$$

бу ерда β – ўтиш функцияси $\beta = \frac{c}{M}\lambda - \lambda_7$.

НТ ва ПТ қисмлар учун қуйидаги интегрални олиш мумкин:

$$\lambda_7 M = a_4,$$

бу ерда a_4 ўзгармас. [2]. Характеристик тезликни минималлаш масаласида a_4 чиқиш тезлиги c га тенг

$$\lambda_7 M = c.$$

Бунинг учну янги ўзгарувчи сифатида харатеристик тезлик миқдорини киритамиз

$$V = \int_0^t \frac{cm}{M}dt = c\ln\frac{M_0}{M}.$$

Ушбу $\frac{d(\lambda_7 M)}{dV}$ ифодани кўриб чиқамиз, у (1.5) га кўра қуйидагига тенг

$$\frac{d}{dt}m\left(\frac{c}{M}\lambda - \lambda_7\right) = \frac{M}{c}\left(\frac{c\lambda}{M} - \lambda_7\right).$$

НТ қисмларида λ_7 ва M ўзгармас, ПТ қисмларида эса қавслардаги ифода нолга тенг.

ПТ қисмларида базис-вектор миқдорини доимийлигини ифодаловчи интеграл ўринли [2]

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = a_5,$$

Марказий майдон учун ушбу вектор интеграл ўринли

$$\vec{\upsilon} \times \vec{\lambda} + \vec{r} \times \vec{\lambda}_r = \vec{a},$$

ўққа симметрик майдонлар учун эса шу интегралнинг фақатгина битта ташкил этувчиси ўринли бўлади

$$\lambda_5 = a.$$

Бу интеграл циклик интеграли бўлади ва гамильтон системаси тартибини икки бирликка пасайтириш имконини беради.

Шундай қилиб ПТ қисмларида фақат тўртта умумий интеграл мавжуд.

3. Хусусий ечимни аниқлаш усули

Кўрилаётган 14-тартибли (1.2.9),(1.2.10), (1.2.13) ва (1.2.16)-(1.2.22)

---

[5] Азизов А.Г.,Коршунова Н.А. Вариационные задачи механики космического полета.- Ташкент, 1990.

Гамильтон системаси учун оралиқ тортиш кучи қисмида фақат иккита

$$\lambda_7 M = c;\ \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1.$$

интеграл мавжуд. Шундай экан хусусий интеграллар ва хусусий ечимларни топишга ҳаракат қиламиз. Хусусий интегрални топишда Докшевич усулидан фойдаланамиз. Хусусий интегрални

$$F(v_1, v_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_4, \lambda_5) = const. \tag{1.3.1}$$

кўринишда қидирамиз. (1.2.9),(1.2.10),(1.2.13) ва (1.2.16)-(1.2.22) вариацион масала дифференциал тенгламаларига қарасак, F функциядан вақт бўйича тўла хосила 0 га тенг. F функцияни қаноатлантирувчи 1 тартибли хусусий хосилали, чизиқли бир жинсли тенгламага эга бўламиз:

$$\frac{dF}{dt} \equiv 0, \tag{1.3.2}$$

$$\frac{\partial F}{\partial v_1}\dot{v}_1 + \frac{\partial F}{\partial v_2}\dot{v}_2 + \frac{\partial F}{\partial \lambda_1}\dot{\lambda}_1 + \frac{\partial F}{\partial \lambda_2}\dot{\lambda}_2 + \frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\dot{\lambda}_4 + \frac{\partial F}{\partial \lambda_5}\dot{\lambda}_5 \equiv 0, \tag{1.3.3}$$

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial F}{\partial v_1}\left(\frac{cm}{M}\lambda_1 - \frac{\mu_1 r}{\tilde{r}^3} - \frac{\mu_2 b}{\rho^3} - \frac{\mu_2}{a^2}\cos\alpha + \frac{v_2^2}{r}\right) + \\
&+ \frac{\partial F}{\partial v_2}\left(\frac{cm}{M}\lambda_2 + \frac{\mu_2}{\rho^3}a\sin\alpha - \frac{\mu_2}{a^2}\sin\alpha - \frac{v_1 v_2}{r}\right) + \frac{\partial F}{\partial \lambda_1}\left(\lambda_2\frac{v_2}{r} - \lambda_4\right) + \\
&+ \frac{\partial F}{\partial \lambda_2}\cdot\frac{1}{r}(\lambda_2 v_1 - 2\lambda_1 v_2 - \lambda_5) + \frac{\partial F}{\partial \lambda_4}[\lambda_1\left(\frac{\mu_1}{\tilde{r}^3} + \frac{\mu_2}{\rho^3} + \frac{v_2^2}{r^2} - \frac{3\mu_1 r^2}{\tilde{r}^5} - \frac{3\mu_2 b^2}{\rho^5}\right) + \\
&+ \lambda_2\left(\frac{3\mu_2 ab}{\rho^5}\sin\alpha - \frac{v_1 v_2}{r^2}\right) - 3\lambda_3 z\left(\frac{\mu_1 r}{\tilde{r}^5} + \frac{\mu_2 b}{\rho^5}\right) + \lambda_5\frac{v_2}{r^2}] + \\
&+ \frac{\partial F}{\partial \lambda_5}[\lambda_1\mu_2\sin\alpha\left(\frac{1}{a^2} - \frac{a}{\rho^3} + \frac{3arb}{\rho^5}\right) + \lambda_2\mu_2\left(\frac{a}{\rho^3}\cos\alpha - \frac{\cos\alpha}{a^2} - \frac{3a^2 r}{\rho^5}\sin^2\alpha\right) + \\
&+ \lambda_3\cdot 3\mu_2 z\frac{ar}{\rho^5}\sin\alpha] \equiv 0.
\end{aligned} \tag{1.3.4}$$

$b = r - a\cos\alpha.$

Бу ерда (1.3.1) интегралга кирмайдиган ўзгарувчиларни коэффицентлари 0 га тенг бўлиши керак. (1.3.4) дан кўринадики $v_3, \lambda_6, \lambda_7$ лар юқоридаги интегралда қатнашмайди. $r, \varphi, z, M, \lambda_3$ ларни ўз ичига олувчи $\frac{cm}{M};\ \lambda_3;\ \frac{1}{\tilde{r}^3};\ \frac{1}{\rho^3};\ \frac{1}{\rho^5};\ \frac{1}{r}$ ифодаларни коэффицентларини 0 га тенглаймиз.

$$\frac{\partial F}{\partial v_1}\lambda_1 + \frac{\partial F}{\partial v_2}\lambda_2 = 0, \tag{1.3.5}$$

$$-\frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\left(\frac{\mu_1 z r}{\tilde{r}^5} + \frac{\mu_2 z b}{\rho^5}\right) + \frac{\partial F}{\partial \lambda_5}\frac{\mu_2 z a r}{\rho^5}\sin\alpha = 0, \tag{1.3.6}$$

$$\frac{\partial F}{\partial v_1}r - \frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\lambda_1 = 0, \tag{1.3.7}$$

$$\frac{\partial F}{\partial v_1}b-\frac{\partial F}{\partial v_2}a\sin\alpha-\frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\lambda_1+\frac{\partial F}{\partial \lambda_5}\left(\lambda_1 a\sin\alpha-\lambda_2 a\cos\alpha\right)=0, \qquad (1.3.8)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\left(\lambda_1 b^2-\lambda_2 ab\sin\alpha\right)-\frac{\partial F}{\partial \lambda_5}\left(\lambda_1 arb\sin\alpha-\lambda_2 a^2 r\sin^2\alpha\right)=0, \qquad (1.3.9)$$

$$\frac{\partial F}{\partial v_1}v_2^2-\frac{\partial F}{\partial v_2}v_1v_2+\frac{\partial F}{\partial \lambda_1}\lambda_2 v_2+\frac{\partial F}{\partial \lambda_2}\left(\lambda_2 v_1-2\lambda_1 v_2-\lambda_5\right)=0 \ . \qquad (1.3.10)$$

Қолган хадларни ҳам 0 га тенглаймиз.

$$\begin{aligned}&\frac{\partial F}{\partial v_1}\frac{\mu_2}{a^2}\cos\alpha+\frac{\partial F}{\partial v_2}\frac{\mu_2}{a^2}\sin\alpha+\frac{\partial F}{\partial \lambda_1}\lambda_4-\\&-\frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\left(\lambda_1\frac{v_2^2}{r^2}-\lambda_1\frac{3\mu_1 r^2}{\tilde{r}^5}-\lambda_2\frac{v_1v_2}{r^2}+\lambda_5\frac{v_2}{r^2}\right)+\frac{\partial F}{\partial \lambda_5}\frac{\mu_2}{a^2}\left(\lambda_1\sin\alpha-\lambda_2\cos\alpha\right)=0.\end{aligned} \qquad (1.3.11)$$

(1.3.6) тенгламага этибор қаратсак, бунда иккита холат бўлиши мумкин:

1. $z=0$,
2. $z\neq 0;\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\left(\frac{\mu_1 r}{\tilde{r}^5}+\frac{\mu_2 b}{\rho^5}\right)+\frac{\partial F}{\partial \lambda_5}\frac{\mu_2 ar}{\rho^5}\sin\alpha=0$.

1-холатда КА ой орбитаси текислигида ҳаракат қилади. 2-холатда эса КА ой орбитаси текислигида ҳаракат қилмайди. Биз

$$z=0. \qquad (1.3.12)$$

деб олиб КА ой орбитаси текислигида ҳаракат қилсин дейлик. Мос равишда

$$v_3=0,\ \lambda_3=0. \qquad (1.3.13)$$

бўлади. Қуйидагича белгилашлар киритамиз:

$$\begin{aligned}&A=\lambda_2 v_1-2\lambda_1 v_2-\lambda_5,\\&B=\lambda_1\frac{3\mu_1 r^2}{\tilde{r}^5}-\lambda_1\frac{v_2^2}{r^2}+\lambda_2\frac{v_1v_2}{r^2}-\lambda_5\frac{v_2}{r^2},\\&C=\lambda_1 b-\lambda_2 a\sin\alpha,\\&D=\lambda_1\sin\alpha-\lambda_2\cos\alpha.\end{aligned} \qquad (1.3.14)$$

Энди Докшевич усулини қўллаш учун $X_i(F)$ операторларни киритамиз. У холда (1.3.5),(1.3.7)-(1.3.11) тенгламалар (1.3.14) ни хисобга олиб, қуйидаги кўринишга келади

$$X_1=\frac{\partial F}{\partial v_1}\lambda_1+\frac{\partial F}{\partial v_2}\lambda_2=0,$$

$$X_2=\frac{\partial F}{\partial v_1}r-\frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\lambda_1=0,$$

$$X_3 = -\frac{\partial F}{\partial v_1} b + \frac{\partial F}{\partial v_2} a \sin\alpha + \frac{\partial F}{\partial \lambda_4}\lambda_1 - \frac{\partial F}{\partial \lambda_5} aD = 0, \qquad (1.3.15)$$

$$X_4 = -\frac{\partial F}{\partial \lambda_4} Cb + \frac{\partial F}{\partial \lambda_5} Car \sin\alpha = 0,$$

$$X_5 = \frac{\partial F}{\partial v_1} v_2^2 - \frac{\partial F}{\partial v_2} v_1 v_2 + \frac{\partial F}{\partial \lambda_1}\lambda_2 v_2 + \frac{\partial F}{\partial \lambda_2} A = 0,$$

$$X_6 = \frac{\partial F}{\partial v_1}\frac{\mu_2}{a^2}\cos\alpha + \frac{\partial F}{\partial v_2}\frac{\mu_2}{a^2}\sin\alpha + \frac{\partial F}{\partial \lambda_1}\lambda_4 + \frac{\partial F}{\partial \lambda_4} B - \frac{\partial F}{\partial \lambda_5}\frac{\mu_2}{a^2} D = 0.$$

$X_i(F)$=0 операторлар сони (1.3.1) интегралдаги ўзгарувчилар сонига тенг бўлди. (1.3.15) система детерминанти 0 га тенг бўлиши керак.

$$\begin{vmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ r & 0 & 0 & 0 & -\lambda_1 & 0 \\ -b & a\sin\alpha & 0 & 0 & \lambda_1 & -aD \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -Cb & Car\sin\alpha \\ v_2^2 & -v_1 v_2 & \lambda_2 v_2 & A & 0 & 0 \\ \frac{\mu_2}{a^2}\cos\alpha & \frac{\mu_2}{a^2}\sin\alpha & \lambda_4 & 0 & B & -\frac{\mu_2}{a^2} D \end{vmatrix} = 0$$

Ушбу детерминантни соддалаштирамиз, $ra \neq 0$ эканлигини эътиборга олсак

$$\lambda_4 AC\left(\lambda_1\lambda_2 r\sin\alpha - \lambda_1^2 a\sin^2\alpha - \lambda_2 bD - \lambda_1\lambda_2 b\sin\alpha\right) = 0.$$

b, A, C, D ифодаларни ўз ўрнига қўйиб қуйидагига келамиз.

$$\lambda_4\left(2\lambda_1 v_2 - \lambda_2 v_1 + \lambda_5\right)\left(\lambda_1 r - \lambda_1 a\cos\alpha - \lambda_2 a\sin\alpha\right)(\lambda_2\cos\alpha - \\ -\lambda_1\sin\alpha)(\lambda_1 a\sin\alpha - \lambda_2 a\cos\alpha + \lambda_2 r) = 0. \qquad (1.3.16)$$

Ҳар бир қавс ичидаги ифодани 0 га тенглаб, [8] да келтирилган ечимлардан бошқа хусусий ечимларни берувчи инвариант муносабатларни олишимиз мумкин[6].

Назорат саволлари:

1. Нуқтани гравитацион майдондаги фазовий ҳаракати ҳақидаги вариацион масалада дифференциал тенгламалар системасининг тартиби нечага тенг?

---

[6] Зиядинова Э.Д., Коршунова Н.А. Методы определения аналитических решений для активных участков в поле двух неподвижных центров// Аналитическая механика, устойчивость и управление. Труды X Международной Четаевской конференции, том 1, Секция 1. Аналитическая механика.- Казань, 2012, С. 192-200

2. Импульсли тортишиш ҳолида масса сарфи нимага тенг?

3. Нол тортишиш кучи майдонида ўтиш функцияси нимага тенг?

4. Оптимал траекториянинг актив қисмларида тортишиш кучи қандай йўналган?

5. Марказий ньютон майдонининг потенциали нимага тенг?

6. Энергия интеграли Гамильтон системаси тартибини нечтага пасайтиради?

7. Иккита циклик интеграллар Гамильтон системаси тартибини нечтага пасайтиради?

8. Оралиқ тортишиш кучи қисмида ўтиш функцияси нима тенг?

9. Қандай интеграллар инволюцияда бўлади?

10. Инвариант муносабатлар нима? Улар интеграллардан нима билан фарқ қилади?

11. Инволюцияда бўлган интеграллар система тартибини нечтага пасайтиради?

Адабиётлар

1. Lawden D.F. Optimal Trajectories for Space Navigation Butterworth, Washington, D.C. 2003

2. Азизов А.Г.,Коршунова Н.А. Вариационные задачи механики космического полета.- Ташкент, 1990.

3. Natalya.A.Korshunova and Dilmurat.M.Azimov. Analytical Solutions for Thrust Arcs in a Field of Two Fixed Centers // «Journal of Guidance, Control, and Dynamics» (AIAA), USA, 2014. V.37, №5, pp. 1716-1719.

4. Azizov A.G.,Korshunova N.A. On an analytical solution of optimum trajectory problem in a gravitational field // Celestial Mech.- 1986.- V.38. № 4.

5. Архангельский Ю.А. Аналитическая динамика твердого тела.-М.: Наука. 1977.

6. Азизов А.Г., Коршунова Н.А. Применение метода Леви -Чивита при анализе оптимальных траекторий // Космические исследования. 1979. Т17. Вып3.

7. Коршунова Н.А., Зиядинова Э.Д. Применение метода Докшевича при оптимизации траекторий в поле двух неподвижных центров // Узбекский журнал «Проблемы механики» ».- 2012, № 3.- С.3-6.

8. Зиядинова Э.Д., Коршунова Н.А. Методы определения аналитических решений для активных участков в поле двух неподвижных центров// Аналитическая механика, устойчивость и управление. Труды X Международной Четаевской конференции, том 1, Секция 1. Аналитическая механика.- Казань, 2012, С. 192-200

2- Мавзу: Ноидеал сервобоғланишли механик системалар.

Режа:

1. Шартли боғланишлар
2. Ноидеал боғланишлар
3. Ноидеал шартли боғланишли ситема ҳаракат тенгламалари
4. Боғланишларга нисбатан бўшатилган система

Таянч сўзлар: *ноидеал боғланишлар, шартли боғланишлар, вариация, стабиллаш*

Шартли боғланишлар

Одатда механик система нуқталарига қўйилган боғланишлар пассив кучлар ёрдамида амалга оширилади ва бу боғланишлар трос, стержен, сирт, ҳар-хил шарнирлар кўринишида бўлади. Боғланишлар остидаги системаларни бошқариш масаласи эса кўпгина ҳолларда ташқи актив кучлар ёрдамида амалга оширилада. Аммо шундай системалар мавжудки, бу системаларда боғланишлар махсус йўллар билан амалга оширилади ёки бошқача қилиб айтганда, реакция кучлари ёрдамида системада маълум ҳаракатлар амалга оширилади. Адабиётларга эътибор берадиган бўлсак, бошқарилувчи системалар назариясида асосан экстремал траекторияларни аниқлаш мухим ўрин тутада. Қуйида классик механикага тегишли ноидеал боғланишли системалар назариясига асосланган ҳолда шартли боғланишларнинг реакция кучлари ёрдамида механик системаларда асимптотик турғун ҳаракатни амалга ошириш масаласини кўриб чиқамиз. Бунда бошқариш параметрлари сифатида реакция кучлари қатнашади. Бундай масала биринчи бўлиб француз механиги А.Беген томонидан Сперри гироскопларини ўрганишда кўриб чиқилган. Масала моҳиятига кўра, асоси ҳаракатланадиган гироскопик ускуна ўзининг ишлатилиш мақсадидан оғишини бартараф қилишдан иборат. Бу масалани ҳал қилишда А.Беген системага қушимча, яъни оғишларни нолга тенг бўлиш шартини қўйган ва бошқариш параметрлари сифатида реакция кучларини олган. Хозирда ишлаб чиқилган бошқарилувчи механик системалар назариясига эътибор берадиган бўлсак, шартли боғланишлар механик система учун инвариант муносабатлар сифатида қаралади, яъни вақтнинг бошланғич вақтида ўринли бўлган муносабат бутун ҳаракат давомида бажарилиши талаб қилинади. Биринчи навбатда ноидеал боғланишларга тегишли П.Пенлеве томонидан ишлаб чиқилган асосий натижалар устида тўхталамиз.

Маълумки, А. Беген томонидан ишлаб чиқилган назарияга кўра системага қўйилган биринчи тур боғланишлар орасида, иккинчи тур боғланиш реакция кучларининг бажарган ишлари нолга тенг бўладиган кўчишлар мавжуд, яъни иккинчи тур боғланишлар идеал боғланишлардан иборат. Бунга кўра, бундай системалар учун Даламбера – Лагранжа принципи барча мумкин бўлган кўчишлар учун ўринли эмас. Ўз ўзидан туғиладиган савол, бу ноидеал боғланишли системаларга тегишли натижалар шартли боғланишли системалар учун ҳам ўринлими. Агар бизга n моддий нуқтадан иборат S механик система берилган бўлса, системага қўйилган боғланишлар идеал дейилади, агар система некталарининг мумкин бўлган кўчишларидаги реакция кучларининг бажарган ишларини йиғиндиси нолга тенг бўлса. Агар виртуал кўчишлардаги бажарилган иш нолга тенг бўлмаси, $\overline{R}$ реакция кучини доимо иккита ташкил этувчига ажратса бўлади. Бунда $\overline{R}_1$ – реакция кучининг ташкил этувчиси бўлиб, ишқаланиш йўқ бўлган ҳалдагиси ва $\overline{R}-\overline{R}_1=\overline{\rho}$ ишқаланиш кучи. Системага таъсир қилаётган реакция кучларининг ташкил этувчилари қуйидаги шартларни қаноатлантиради:

1. Система нуқталарининг ҳар қандай виртуал кўчишларида

$$\sum_{\gamma=1}^{3N} R_\gamma^n\, \delta x_\gamma = 0$$

2. $\vec{\rho}\delta t$ векторлар системанинг мумкин бўлган кўчишлари тўпламида ётади ва

$$\sum_{\gamma=1}^{3N} R^{\tau}{}_{\gamma}\delta\, x_\gamma = \tau \neq 0$$

Бошқача қилиб айтганда, боғланиш реакция кучн $\overline{R}$ни доимо иккита $\overline{\rho}$ ва $\overline{R}_1$ ташкил этувчилрга ажратиш мумкинки, бунда $\overline{\rho}$ ишқаланиш кучи ва $\overline{R}_1$ ташкил этувчи эса боғланиш кучидан иборат. [1](21-25)[7], [2](12-16)[8],[6][9]

Қуйида шартли боғланишларни ноидеаллиги ва бўшатилиши ҳисобга олинган ҳолда динамик системаларнинг ҳаракатини кўриб чиқамиз. Аниқ масалада шартли боғланишга нисбатан стабиллаш муаммосини ҳал қиламиз.

Фараз қиламиз, бизга ҳолати $q_i(\ i=1,2,...,n)$ умумлашган координаталар билан аниқланадиган геометрик боғланишли механик система берилган бўлсин. Бунда система системага таъсир қилаётган умумлашган кучлар Q_i ва система ҳаракати қуйидаги бир-бирини инкор қилмайдиган

$$f_\alpha(q_j,t)=0\ \ (f_\alpha \in C_2;\ \alpha=1,2,...,a) \qquad (1)$$

геометрик ва

$$\varphi_\beta(q_i,q_i^\bullet,t)=0\ \ (\varphi_\beta \in C_1;\ \beta=1,2,...,b) \qquad (2)$$

умумий ҳолда чизиқсиз кинематик боғланишлар остида бўлсин.

Боғланишларга кўра, системанинг мумкин бўлган кўчишлари қуйидаги муносабатларни қаноатлантиради:

---

[7] Herbert Goldstein. Classical Mechanics. Pearson New International Edition. USA, 2013

[8] Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. 3-е изд. М.: Физматлит, 2002. — С. 262. — ISBN 5-9221-0067-X.

[9] Пенлеве П. Лекции о трении. М.: Гостехиздат, 1954. 316 с.

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_\alpha}{\partial q_i}\delta q_i = 0, \qquad \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial \varphi_\beta}{\partial q_i^\bullet}\delta q_i = 0$$

ва системанинг ҳолатини қуйидаги, ўзаро боғлиқ бўлмаган ўзгарувчилар орқали аниқлаш мумкин:

$$q_i = a_i(q_j, t),\ q_i^\bullet = b_i(q_j, p_s, t)\ (a_i \in C_2,\ b_i \in C_1) \tag{3}$$

Бунда $q_j(j = 1,2,...,p)$- ўзаро боғлиқ бўлмаган Лагранж координаталари, $p_s(s = 1,2,...,r)$ - ўзаро боғлиқ бўлмаган тезлик параметрлари. Кинематик боғланишли системалар назариясига кўра, δq_i координаталарнинг вариацияларини $\delta\pi_s$ эркин вариациялар орқали ифодалаш мумкин.

$$\delta q_i = \sum_{s=1}^{r}\frac{\partial b_i}{\partial p_s}\delta\pi_s \tag{4}$$

Фараз қиламиз, (1) боғланишлар ичида биринчи c, таса биринчи тур боғланишлардан иборат бўлсин. Агар биринчи тур боғланиш реакция кучларини $\vec{N}_i$ ва $\vec{\Phi}_i$ -билан шартли боғланишлар реакия кучларини белгиласак $\vec{R}_i = \vec{N}_i + \overline{\Phi}_i$. Бунга кўра, ноидеал боғланишли система учун

$$\sum_{i=1}^{n} N_i\delta q_i = 0, \quad \sum_{i=1}^{n}\Phi_i\delta q_i = \tau \neq 0.$$

ўринли ва шартли боғланишларнинг реакция кучларини шундай иккита Φ_i^n, Φ_i^nташкил этувчига ажратиш мумкинки, бунда $\Phi_i^n\delta t$ векторлар системанинг мумкин бўлган кўчишлар тўпламида ётади. Ноидеал боғланишли системалар назариясига кўра бу ташкил этувчиларнинг компоненталари учун қуйидаги муносабатлар ўринли:

$$\Phi_i^n = \sum_{\alpha=c+1}^{a}\lambda_\alpha\frac{\partial f_\alpha}{\partial q_i} + \sum_{\beta=c+1}^{b}\mu_\beta\frac{\partial \varphi_\beta}{\partial \dot{q}_i},$$

$$\Phi_i^\tau = \sum_{\nu=1}^{m} u_\nu\frac{\partial b^*}{\partial p_\nu}$$

Бунда $\lambda_\alpha, \mu_\beta$ -Лагранж кўпайтувчилари, u_ν -пропорционаллик коэффициент-лари.

Системанинг ҳаракат тенгламалари эса қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i + N_t + \Phi_i.$$

Бунда T-система кинетик энергияси боғланишларни ҳисобга олинмаган ҳолда тузилган. [2](25-28)[10]

Реакция кучларининг структураси эса

$$N_i = \sum_{\alpha=1}^{c} \lambda_\alpha \frac{\partial f_\alpha}{\partial q_i} + \sum_{\beta=1}^{d} \mu_\beta \frac{\partial \varphi_\beta}{\partial \dot{q}_i},$$

$$\Phi_i = \sum_{\alpha=c+1}^{a} \lambda_\alpha \frac{\partial f_\alpha}{\partial q_i} + \sum_{\beta=c+1}^{b} \mu_\beta \frac{\partial \varphi_\beta}{\partial \dot{q}_i} + \sum_{\nu=1}^{m} u_\nu \frac{\partial b^*}{\partial p_\nu}.$$

Энди системага қўйилган биринчи ва иккинчи тур боғланишлар билан биргаликда шартли боғланишларга нисбатан қуйидаги

$$t_{c+\gamma}(q_i, t) = \eta_\gamma \quad (\gamma = 1,2,....,e) \tag{5}$$

$$\varphi_{d+\rho}(q_i, q_i^\bullet, t) = \zeta_\rho \quad (\rho = 1,2,...., f)$$

муносабатларни киритамиз. Бунда η_γ ва ζ_ρ - геометрик ва кинематик шартли боғланишлардан узлуксиз оғиш параметрларини билдиради. Бу оғишлар сифатида кўпгина ҳолларда шартли боғланишларнинг чап томонлари олинади. Бунга кўра системанинг кинематик мумкин бўлган ҳолатлари учун қуйидаги муносабатларга эга бўламиз:

$$q_i = A_i^*(q_\mu, \eta_\gamma, t) \quad (A_i^* \in C_1)$$
$$\dot{q}_i = B_i^*(q_\mu, \eta_\gamma, p_\nu, \zeta_\rho, \dot{\eta}_\gamma, t) \quad (B_i^* \in C_1)$$

Бу муносабатлар шундай танлаб олинадики $\eta_\gamma = \dot{\eta}_\gamma = \zeta_\rho = 0$ да бўшатилмаган система ҳолатини бериши керак.

(1) ва (2) геометрик ва кинематик боғланишларни ҳисобга олиш учун система ҳолатини аниқлайдиган муносабатларни умумлашган $q_{p+1}, q_{p+2}, ..., q_k$, координаталарга ва $p_{r+1}, p_{r+2}, ..., p_m$ тезлик параметрларига нисбатан ечиб оламиз. Бунга кўра, системанинг мумкин бўлган ҳолатлари қуйидагича аниқланади:

$$q_i = A_i(q_j, \eta_\gamma, t)$$
$$\dot{q}_i = B_i(q_j, \eta_\gamma, p_s, \zeta_\rho, \eta_\gamma^\bullet, t) \tag{6}$$

Системага тегишли умумлашган координаталарнинг вариациялари учун

$$\delta q_i = \sum_{s=1}^{r} \frac{\partial B_i}{\partial p_s} \delta\pi_s + \sum_{\rho=1}^{f} \frac{\partial B_i}{\partial \zeta_\rho} \delta\sigma_\rho + \sum_{\gamma=1}^{e} \frac{\partial B_i}{\partial \eta_\gamma} \delta\eta_\gamma$$

---

[10] Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. 3-е изд. М.: Физматлит, 2002. — С. 262. — ISBN 5-9221-0067-X.

муносабат ўринли.

Бизга маълумки, шартли боғланишлардан озод қилинган система учун Даламбер – Лагранж принципи $\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}-\frac{\partial T}{\partial q_i}-Q_i-\Phi_i\right)\delta q_i=0$ ўринли.

Шуни таъкидлаш керакки, ўзгарувчиларнинг вариациялари оддий боғланишларни тўлиқ каноатлантиради

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_{c+\gamma}}{\partial q_i}\delta q_i=\delta\eta_\gamma,\quad \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial \varphi_{d+\rho}}{\partial \dot{q}_i}\delta q_i=\delta\sigma_\rho$$

Лагранж кўпайтувчилари усулидан фойдаланиб принципни

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}-\frac{\partial T}{\partial q_i}-Q_i-\Phi_i^{\tau}\right)\delta q_i=\sum_{\alpha=1}^{e}\lambda_{c+\alpha}\delta\eta_\alpha+\sum_{\beta=1}^{f}\mu_{d+\beta}\delta\sigma_\beta$$

кўринишда ёзиш мумкин. Ёки система тезланишлар энергияси S орқали бўшатилган система ҳаракат тенгламаларини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:[2](68-72)[11]

$$\frac{\partial S}{\partial \dot{p}_s}=Q_s^p+\Phi_s^p,\ Q_s^p=\sum_{i=1}^{n}Q_i\frac{\partial B_i}{\partial p_s},\ \Phi_s^p=\sum_{i=1}^{n}\Phi_i^{\tau}\frac{\partial B_i}{\partial p_s}$$

$$\frac{\partial S}{\partial \ddot{\eta}_\alpha}=Q_a^\eta+\Phi_a^\eta+\lambda_{c+\alpha},\ Q_a^\eta=\sum_{i=1}^{n}Q_i\frac{\partial B_i}{\partial \dot{\eta}_\alpha},\ \Phi_a^\eta=\sum_{i=1}^{n}\Phi_i^{\tau}\frac{\partial B_i}{\partial \dot{\eta}_\alpha}$$

$$\frac{\partial S}{\partial \dot{\zeta}_\beta}=Q_\beta^\zeta+\Phi_\beta^\zeta+\mu_{d+\beta},\ Q_\beta^\zeta=\sum_{i=1}^{n}Q_i\frac{\partial B_i}{\partial \zeta_\beta},\ \Phi_\beta^\zeta=\sum_{i=1}^{n}\Phi_i^{\tau}\frac{\partial B_i}{\partial \zeta_\beta}$$

Бу тенгламалар системаси (3) оғишларга мос муносабатлар билан биргаликда ёпиқ $p_s,q_i,\eta_\alpha,\zeta_\beta$ ўзгарувчиларга нисбатан тенгламалар системасини ташкил қилади. Бу тенгламалар системасида $\lambda_{c+1},\lambda_{c+2},...,\lambda_a$; $\mu_{d+1},\mu_{d+2},...,\mu_b$; $u_1,u_2,...,u_m$ бошқариш параметрлари ролини бажаради. Кўриш қийин эмаски, системани шартли боғланишлардан озод қилиш натижасида боғланишларга нисбатан оғдирилган тенглаиалар системасини ҳосил қилдик. Олинган тенгламалар системаси учун одатда стабиллаш ёки боғланишларга нисбатан оптимал стабиллаш масалалари кўрилади, яъни бошқариш параметрлари қўшимча шартлар аосида аниқланади.

Масала. Текисликда жойлашган Σ пластинка цилиндрик шарнир ёрдамида уланган Σ_1диск ёрдамида ҳаракатланади. Бунда диск электродвигателга уланган бўлиб, злектродвигател моменти шундай таъсир кўрсатидики, диск маркази билан шарнир уланган нуқтадан ўтказилган

---

[11] Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. 3-е изд. М.: Физматлит, 2002. — С. 262. — ISBN 5-9221-0067-X.

радиус, шарнир билан пластинка масса марказини бирлаштирувчи тўғри чизиқ орасидаги бурчак ҳаракат давомида $\pi/2$ га тенг бўлади.

Системанинг ҳаракат ва шартли боғланишдан узлуксиз бўшатилган ҳаракат тенгламаларини тузинг.

Биринчи навбатда $\alpha-\beta-\pi/2=0$ шартли боғланиш аниқ бажарилган ҳолни кўриб чиқамиз. Шартли боғланишни бажарилган деб ҳисобласак, система кинетик энергияси

$$T=T(\Sigma)+T(\Sigma_1)=\frac{1}{2}\{M[R^2\dot{\alpha}^2+(b^2+k^2)\dot{\beta}^2+2bR\dot{\alpha}\dot{\beta}\cos(\alpha-\beta)]+I_1\dot{\alpha}^2\},$$

кўринишга эга бўлади. Умумлашган координатларга мос умумлашган кучлар учун

$$Q_\alpha=-RF\sin\alpha,\ \ Q_\beta=-aF\sin\beta,$$

$$\Phi_\alpha^n=-\Phi_\beta^n=\lambda,\ \Phi_\alpha^\tau=\Phi_\beta^\tau=u$$

ўринли.

Бунга кўра система ҳаракат тенгламалари қуйидаги кўринишга эга бўлади:,

$$M\left[(b^2+k^2)\ddot{\beta}-bk\dot{\beta}^2\right]+aF\sin\beta=0$$

$$\left[M(b^2+k^2+R^2)+I_1\right]\ddot{\beta}+F(a\sin\beta+R\cos\beta)=2u$$

Фараз қиламиз, шартли боғланиш аниқ бажарилмайди, яъни бошланғич шартлар боғланишлрн аниқ қаноатлантирмайди. Бу ҳолда умумий назарияга кўра

$$\alpha=x+\eta+\pi/2,\ \beta=x$$

оғишлар киритамиз.

$$\alpha-\beta-\pi/2=\eta$$

ва ўзаро боғлиқ бўлмаган χ ва η ўзгарувчиларга нисбатан динамиканинг умумий тенгламаси

$$\left(\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial\dot{\alpha}}-\frac{\partial T}{\partial\alpha}-Q_\alpha-\Phi_\alpha^\tau\right)\delta\alpha+\left(\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial\dot{\beta}}-\frac{\partial T}{\partial\beta}-Q_\beta-\Phi_\beta^\tau\right)\delta\beta=\lambda\,\delta\eta$$

ва бу системага нолга тенг бўлган ечими асимптотик турғун бўлган системани қўшиб

$$\ddot{\eta}=V(\eta,\dot{\eta}),\ V(0,0)=0,\ \eta(0)=\eta^\circ,\ \dot{\eta}(0)=\dot{\eta}^\circ$$

$$\left[M(b^2+k^2+R^2-2bR\sin\gamma)+I_1\right]\ddot{\beta}+\left[MR(R-b\sin\gamma)+I_1\right]V(\eta,\dot{\eta})-$$
$$-MbR\dot{\eta}(\dot{\eta}+2\dot{\beta})\cos\eta+F\left[a\sin\beta+R\cos(\beta+\eta)\right]=2u$$
$$\left[MR(R-b\sin\eta)+I_1\right]\ddot{\beta}+(MR^2+I_1)V(\eta,\dot{\eta})+MbR\dot{\beta}^2\cos\eta+RF\cos(\beta+\eta)=2u$$

тенгламалар системасини ҳосил қиламиз. Бу тенгламалар системасида системанинг ҳаракатини ва системани шартли боғланишга нисбатан асимптотик турғунлигини таъминловчи бошқариш параметрини аниқлаш мумкин.[3][12],[7][13],[5][14]

Назорат саволлари:

1. Ноидеал боғланиш нима?
2. Шартли боғланиш нима?
3. Даламбер-Лагранж принципининг механик маъноси.
4. Системанинг ишқаланиш қонуни.
5. Боғланишларга нисбатан параметрик бўшатиш тушунчасининг механик маъноси.
6. Стабиллаш ва оптимал стабиллаш орасидаги фарқ нимадан иборат?

Фойдаланилган адабиётлар

1. Herbert Goldstein. Classical Mechanics. Pearson New International Edition. USA, 2013
2. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. 3-е изд. М.: Физматлит, 2002. — С. 262. — ISBN 5-9221-0067-X.
3. Иванов А.П. Основы теории систем с трением. М.: НИЦ «РХД», ИКИ, 2011.
4. Журавлев В.Ф. 500 лет истории закона сухого трения// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Естественные науки”. 2014. № 2.
5. Беген А. Теория гироскопических компасов. М.: Наука, 1967. 192 с.
6. Пенлеве П. Лекции о трении. М.: Гостехиздат, 1954. 316 с.
7. Азизов А.Г. О движении управляемых механических систем с сервосвязями (условными связями)// ПММ, т.54. 1990.

---

[12] Иванов А.П. Основы теории систем с трением. М.: НИЦ «РХД», ИКИ, 2011.

[13] Азизов А.Г. О движении управляемых механических систем с сервосвязями (условными связями)// ПММ, т.54. 1990.

[14] Беген А. Теория гироскопических компасов. М.: Наука, 1967. 192 с.

3-мавзу. Механика система устуворлиги ва бошқарилиши, ҳаракатнинг барқарорлаштиришни тадқиқ этиш

Режа:

1. Биринчи яқинлашиш бўйича устуворлик ва бошқариш.
2. Оғдирилмаган ҳаракатни стабиллаш.
3. Бошқарувчи кучларни синтезлаш.

Таянч сўзлар: *бошқарувчи функциялар, оғдирилган ҳаракат тенгламалари, Ляпунов бўйича устуворлик, асимптотик устуворлик, Гурвиц критерийси, бошқарувчанлик критерийси, ҳаракатни стабиллаш, чизиқли регулятор.*

Нуқтанинг бошланғич ҳолати фақатгина қандайдир хатолик билан амалга оширилиши мумкин, бу хатолик вақт ўтиши билан ортиши ёки камайиши мумкин. Шунинг учун вариацион масаланинг олинган ечимларини турғунликка текшириш зарур.

Нуқтанинг оғдирилмаган ҳаракат дифференциал тенгламаларини ушбу кўринишда ёзамиз:

$$\begin{cases} \dot{\upsilon}_1 = fe_1 - \left(\dfrac{\mu_1 r}{r_1^3} + \dfrac{\mu_2 r}{r_2^3}\right) + \dfrac{\upsilon_2^2}{r}; \\ \dot{\upsilon}_2 = fe_2 - \dfrac{\upsilon_1 \upsilon_2}{r}; \\ \dot{\upsilon}_3 = \pm f\sqrt{1 - e_1^2 - e_2^2} - \dfrac{\mu_1 z}{r_1^3} + \dfrac{\mu_2 (d - z)}{r_2^3}; \\ \dot{r} = \upsilon_1; \\ \dot{\varphi} = \dfrac{\upsilon_2}{r}; \\ \dot{z} = \upsilon_3. \end{cases} \qquad (1)$$

бу ерда $e_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda}$, $e_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda}$, $e_3 = \sqrt{1 - e_1^2 - e_2^2}$; $f = \frac{cm}{M}$ - реактив тезланиш.

Биринчи машғулотда олинган хусусий ҳолдаги ечимни турғунликка текширамиз.

$$\upsilon_1 = 0;$$

$$\upsilon_2 = \upsilon_{20} = \sqrt{Dr^2 + \frac{A}{3F}\left(kD - \frac{\mu_2}{r_2^3}\right)};$$

$$\upsilon_3 = 0;$$

$$r = r_0;$$

$$\varphi = \varphi_0 \pm \beta t, \text{ бу ерда } \quad \beta = \frac{\upsilon_{20}}{r_0};$$

$$z = z_0 = kd;$$

$$\lambda_1=\lambda_{10}=\frac{\dfrac{\mu_1}{r_1^3}-\dfrac{\mu_2}{r_2^3}+A-D}{\sqrt{\left(\dfrac{\mu_1}{r_1^3}-\dfrac{\mu_2}{r_2^3}+A-D\right)^2+9r^2d^2F^2}};$$

$$\lambda_2=0;$$

$$\lambda_3=\sqrt{1-\lambda_{10}^2}=\lambda_{30};$$

$$\lambda_4=\lambda_{40};\quad \lambda_5=\lambda_{50}=-2\lambda_{10}\upsilon_{20};\; \lambda_6=0;\; \lambda_7=\frac{c}{M}.$$

Кўрилаётган хусусий ечимлар синфига мос келувчи оғдирилмаган ҳаракат сифатида қуйидаги тенгламаларни оламиз:

$$\begin{cases}\upsilon_1^*=0;\\ \upsilon_2^*=\upsilon_{20};\\ \upsilon_3^*=0;\\ r^*=r_0;\\ \varphi^*=\varphi_0+\beta t;\\ z^*=z_0.\end{cases} \tag{2}$$

Бошқаришлар сифатида ушбу функцияларни оламиз

$$\begin{cases}e_1^*=\lambda_{10};\\ e_2^*=0;\\ e_3^*=\sqrt{1-\lambda_{10}^2};\\ f^*=\dfrac{cm^*}{M^*}=-\dfrac{N^*}{\lambda_{10}}>0.\end{cases} \tag{3}$$

бу ерда $f^*=f_0=-\dfrac{N_0}{\lambda_{10}}=-\dfrac{d}{\lambda_{30}}\left(\dfrac{\mu_2}{r_2^3}-kD\right);\; m^*=-M^*\dfrac{N^*}{c\lambda_1^*}$.

Оғдирилган ҳаракат ушбу кўринишга эга бўлади:

$$\begin{cases}\upsilon_1=x_1;\\ \upsilon_2=\upsilon_{20}+x_2;\\ \upsilon_3=x_3;\\ r=r_0+x_4;\\ \varphi=\varphi_0+\beta t+x_5;\\ z=z_0+x_6.\end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases}e_1=\lambda_{10}+u_1;\\ e_2=u_2;\\ f=f_0+u_3.\end{cases}$$

бу ерда $x_i\left(i=\overline{1,6}\right)$ – кичик қўзғалишлари, $u_i\left(i=\overline{1,3}\right)$, оғдирилган ҳаракатни сўндириш ва ҳақиқий ҳаракатни дастурий ҳаракатга яқинлаштириш учун қўйилган қўшимча бошқарувлар.

Оғдирилган ҳаракат тенгламасини тузамиз

$$\left\{\begin{aligned}
&\dot{x}_1 = (f_0 + u_3)(\lambda_{10} + u_1) - \frac{\mu_1 (r_0 + x_4)}{\left[(r_0 + x_4)^2 + (z_0 + x_6)^2\right]^{3/2}} - \frac{\mu_2 (r_0 + x_4)}{\left[(d - z_0 - x_6)^2 + (r_0 + x_4)^2\right]^{3/2}} + \\
&\qquad + \frac{(\upsilon_{20} + x_2)^2}{r_0 + x_4}; \\
&\dot{x}_2 = (f_0 + u_3) u_2 - \frac{x_1 (\upsilon_{20} + x_2)}{r_0 + x_4}; \\
&\dot{x}_3 = (f_0 + u_3)\sqrt{1 - (\lambda_{10} + u_1)^2 - u_2^2} - \frac{\mu_1 (z_0 + x_6)}{\left[(r_0 + x_4)^2 + (z_0 + x_6)^2\right]^{3/2}} + \\
&\qquad + \frac{\mu_2 (d - z_0 - x_6)}{\left[(d - z_0 - x_6)^2 + (r_0 + x_4)^2\right]^{3/2}}; \\
&\dot{x}_4 = x_1; \\
&\dot{x}_5 + \beta = \frac{\upsilon_{20} + x_2}{r_0 + x_4}; \\
&\dot{x}_6 = x_3.
\end{aligned}\right. \qquad (6)$$

Стационар ҳаракатни амалга ошириш шартларини топамиз

$$\left\{\begin{aligned}
&0 = f^* e_1^* - \frac{\mu_1 r^*}{\left(r^{*2} + z^{*2}\right)^{3/2}} - \frac{\mu_2 r^*}{\left(r^{*2} + (d - z^*)^2\right)^{3/2}} + \frac{\upsilon_2^{*2}}{r^*}; \\
&0 = 0; \\
&0 = f^* e_3^* - \frac{\mu_1 z^*}{\left(r^{*2} + z^{*2}\right)^{3/2}} + \frac{\mu_2 (d - z^*)}{\left(r^{*2} + (d - z^*)^2\right)^{3/2}}; \\
&0 = 0; \\
&\beta = \frac{\upsilon_2^*}{r^*}; \\
&0 = 0.
\end{aligned}\right.$$

Биринчи яқинлашиш бўйича тенгламаларни ажратиб оламиз. (6) тенгламаларнинг ўнг тарафларини қаторга ёямиз:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_i = F(0) &+ \left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)_0 x_1 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)_0 x_2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_3}\right)_0 x_3 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_4}\right)_0 x_4 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_5}\right)_0 x_5 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_6}\right)_0 x_6 + \\
&+ \left(\frac{\partial F}{\partial u_1}\right)_0 u_1 + \left(\frac{\partial F}{\partial u_2}\right)_0 u_2 + \left(\frac{\partial F}{\partial u_3}\right)_0 u_3 + \ldots
\end{aligned}$$

Биринчи яқинлашиш бўйича тенгламаларни оламиз:

$$
\begin{cases}
\dot{x}_1 = \dfrac{2\upsilon_{20}}{r_0}x_2 + \left[3r_0^2\left(\dfrac{\mu_1}{r_{10}^5}+\dfrac{\mu_2}{r_{20}^5}\right) - D - \dfrac{\upsilon_{20}^2}{r_0^2}\right]x_4 + 3r_0 dFx_6 + f_0u_1 + \lambda_{10}u_3; \\
\dot{x}_2 = -\dfrac{\upsilon_{20}}{r_0}x_1 + f_0u_2; \\
\dot{x}_3 = 3dr_0Fx_4 + Ax_6 + \dfrac{f_0\lambda_{10}}{\sqrt{1-\lambda_{10}^2}}u_1 + u_3\sqrt{1-\lambda_{10}^2}; \\
\dot{x}_4 = x_1; \\
\dot{x}_5 = \dfrac{x_2}{r_0} - \dfrac{\upsilon_{20}}{r_0^2}x_4; \\
\dot{x}_6 = x_3.
\end{cases}
\tag{7}
$$

$$
\frac{d\vec{x}}{dt} = A\vec{x} + B\vec{u} + \vec{g}(x,u),
\tag{8}
$$

бу ерда

$$
\vec{x} = \begin{Vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{Vmatrix}, \quad \vec{u} = \begin{Vmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Vmatrix},
$$

$\vec{g}(x,u)-$ x,u га нисбатан биринчидан юқори тартибли ҳадлар.

$u=0$ бўлганда оғдирилмаган ҳаракатни Лапунов бўйича устуворликка текшириш масаласига эга бўламиз $\left(x_i = 0, i = \overline{1,6}\right)$:

$$
\dot{\vec{x}} = W\vec{x} + g(x).
$$

Биринчи яқинлашиш бўйича тузилган системанинг характеристик тенгламасини тузамиз

$$
\left|W - SE\right| = 0,
$$

$$
\begin{vmatrix}
-S & 2\beta & 0 & R & 0 & 3dr_0F \\
-\beta & -S & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -S & 3dr_0F & 0 & A \\
1 & 0 & 0 & -S & 0 & 0 \\
0 & \dfrac{1}{r_0} & 0 & -\dfrac{\beta}{r_0} & -S & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -S
\end{vmatrix} = 0,
$$

$$S^2\left(S^4+S^2\left(2\beta^2-R-A\right)+\left(RA-9F^2d^2r_0^2-2\beta^2A\right)\right)=0 \qquad (9)$$

(9) тенглама иккита нол илдизга эга. Шундай экан, агар илдизлардан хеч бўлмаганда биттаси ҳақиқий мусбат қисмга эга бўлса, у ҳолда Ляпуновнинг биринчи яқинлашиш бўйича турғунлик ҳақидаги теоремасига кўра оғдирилмаган ҳаракат нотурғун бўлади. Бунинг учун характеристик тенгламадаги S^2 ни олдидаги ҳад манфий бўлиши етарли:

$$\cdot\left(3r^2\left(\frac{\mu_1}{r_1^5}+\frac{\mu_2}{r_2^5}\right)-\frac{\mu_1}{r_1^3}-\frac{\mu_2}{r_2^3}-3\beta^2\right)-9d^2r^2\left(\frac{\mu_1}{r_1^5}k-\frac{\mu_2}{r_2^5}(1-k)\right)^2<0 \qquad (10)$$

(10) тенгсизликда бешта (μ_1,μ_2,d,k,r_0) ўзгармас қатнашганлиги сабабли, уни тадқиқ қилиш аналитик нуқтаи назардан мураккаб. Шунинг учун аниқ параметрлар берилиб, MAPLE11 математик пакети ёрдамида графиклар олинди. Ноустуворлик соҳаси график аниқланди.

μ_1,μ_2,d,k,r_0 ларни бериб, χ функцияни марказлар чизиғигача бўлган r_0 масофага боғлиқлиги графиги олинди. Тортишиш марказлари орасидаги масофа шартли равишда сайёраларни бир-бирига энг яқин бўлган ҳолатида олинади. Ординаталар ўқида χ функциянинг қийматлари, абсциссалар ўқида эса - r_0 нинг қийматлари берилган. Графикларда ҳар бир чизиқ $k=\frac{1}{2},\frac{3}{5},\frac{2}{3},\frac{3}{4},\frac{4}{5},\frac{5}{6}$ нинг аниқ қийматига мос келади ва ўзининг рангига эга: k=1/2 га қора, k=3/5 га кўк, k=2/3 га сариқ, k=3/4 га ҳаворанг, k=4/5 га яшил, k=5/6 га қизил ранг мос келади.

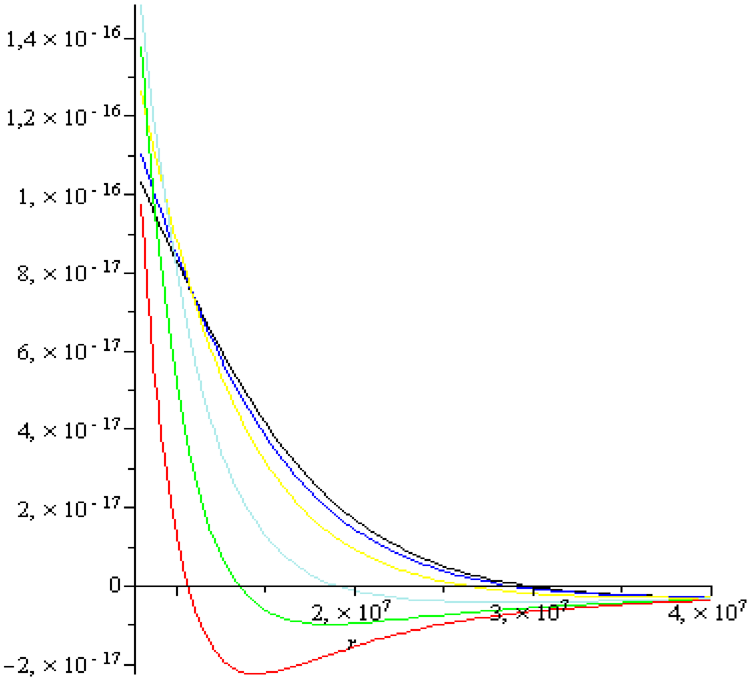
Мисол учун қуйидаги ҳолларни кўриб чиқамиз:

1) **Ер-Ой**

$\mu_1=\mu_з=398*10^3 км^3/с^2$;

$\mu_2=\mu_л=4,9*10^3 км^3/с^2$;

$d=384400 км$.

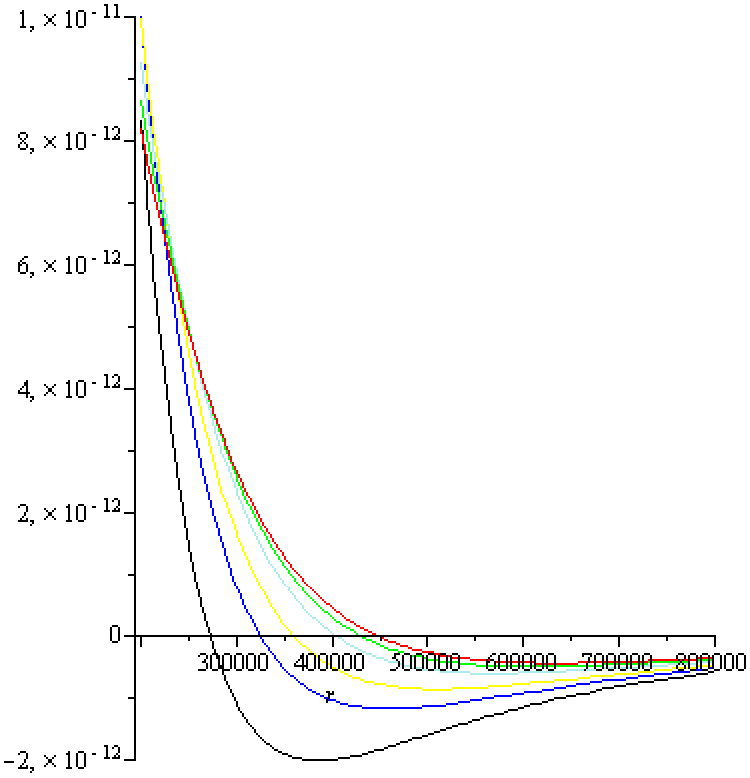


2) **Ер– Венера**

$\mu_1 = \mu_з = 398*10^3 км^3/с^2$;

$\mu_2 = \mu_в = 326*10^3 км^3/с^2$;

$d = 42*10^6 км$.

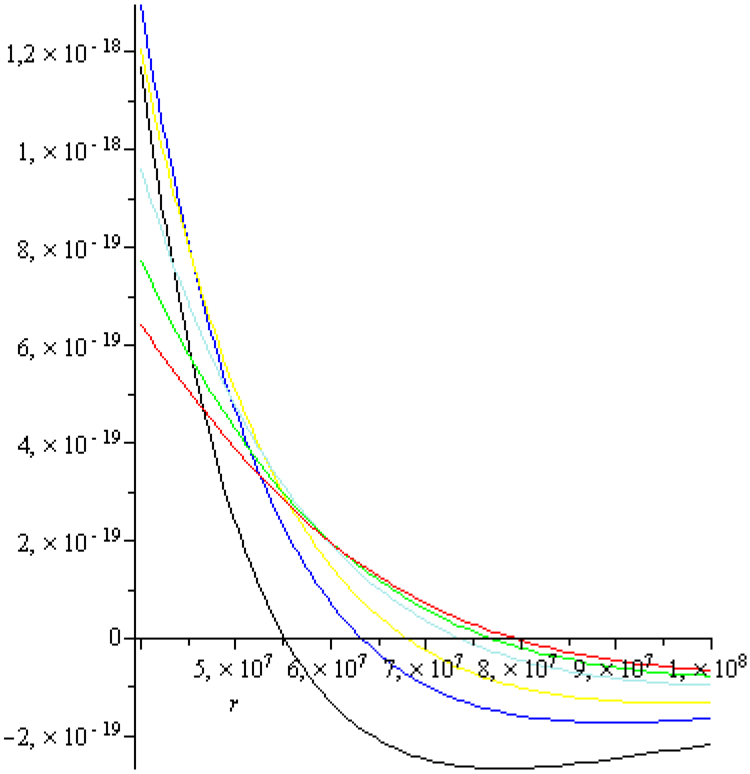


3) **Ер – Марс**

$\mu_1 = \mu_з = 398*10^3 км^3/с^2$;

$\mu_2 = \mu_м = 42.8*10^3 км^3/с^2$;

$d = 78*10^6 км$.



Графиклардан кўринадики, k ни камайишида, яъни марказдан кичик μ_2 параметр билан узоқлашганда, ноустуворлик бошланадиган марказлар чизиғигача бўлган масофа камаяди (ноустуворлик соҳаси камаяди). Бу масофанинг минимал қиймати ($k = \frac{1}{2}$ да) барча ҳолларда d нинг тахминан 70% ни ташкил қилади ва μ га боғлиқ эмас. Ноустуворлик соҳасида (9) тенгламанинг озод ҳади манфий қийматга эга ва характеристик тенглама хеч бўлмаганда битта мусбат ҳақиқий қисмга эга бўлган ечимга эга. Шундай экан, оғдирилмаган ҳаракат биринчи яқинлашиш бўйича нотурғун экан.

Дастурий ҳаракатни стабиллаш

(2) оғдирилмаган ҳаракатни стабиллаш ҳақидаги масала юзага келади, яъни шундай $u(t,x)$ регуляторни танлаш керакки, уни (8) ифодага қўйилганда оғдирилмаган ҳаракат Ляпунов бўйича асимптотик турғун бўлсин. Авваламбор, (8) система бошқарилувчан бўлишини текшириш лозим. Биринчи яқинлашиш бўйича қуйидаги бошқарилувчанлик ва стабиллаш критерийси мавжуд:

1) $\frac{d\vec{x}}{dt} = W\vec{x} + B\vec{u}$ система тўлиқ бошқарилувчан бўлади фақат ва фақат шу ҳолдаки, агар $V = \left\| B, WB, \ldots W^{n-1}B \right\|$ йўл билан аниқланган матрицанинг ранги n га тенг бўлса, бу ерда n - системанинг тартиби, бизнинг ҳолда $n = 6$.

2) Агар V матрицанинг ранги n га тенг бўлса, у ҳолда қуйидаги чизиқли регулятор мавжуд

$$\vec{u} = P\vec{x}\,.$$

V матрицанинг ранги 6 га тенг. Шундай экан (2) оғдирилмаган ҳаракат $\vec{u} = P\vec{x}$ чизиқли регулятор билан, (8) даги чизиқсиз $\vec{g}(x,u)$ ҳадларга боғлиқ бўлмаган ҳолда стабиллаштирилади. Стабиллаш ҳақидаги масала чизиқли яқинлашиш билан ечилади.

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = (W + BP)\vec{x}$$

P доимий ҳақиқий матрица шундай бўлиши керакки,

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = (W + BP)\vec{x} + \vec{g}(x,u)$$

системанинг оғдирилмаган ҳаракати асимптотик устувор бўлиши лозим, яъни $W + BP$ матрицанинг барча хос қийматларининг ҳақиқий қисмлари манфий бўлиши керак. Бу шартни, масалан

$$P = \begin{Vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & 0 & p_{24} & p_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{Vmatrix}, \qquad (11)$$

матрица қаноатлантиради, яъни $u_1 = 0$, $u_3 = 0$.

Биринчи яқинлашишнинг характеристик тенгламаси ушбу кўринишга эга:

$$\left| W + BP - SE \right| = 0$$

ёки

$$\begin{vmatrix} -S & 2\beta & 0 & R & 0 & 3dr_0F \\ -\beta & -S+f_0p_{22} & 0 & f_0p_{24} & f_0p_{25} & 0 \\ 0 & 0 & -S & 3dr_0F & 0 & A \\ 1 & 0 & 0 & -S & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{r_0} & 0 & -\frac{\beta}{r_0} & -S & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -S \end{vmatrix} = 0\,. \qquad (12)$$

Қуйидагига эга бўламиз

$$S^6 - S^5 f_0 p_{22} + S^4\left(2\beta^2 - \frac{f_0 p_{25}}{r_0} - R - A\right) + S^3\left(f_0 p_{22}(A-R) + 2\beta f_0 p_{24}\right) +$$

$$+ S^2\left(\frac{f_0 p_{25}\left(2\beta^2 + R + A\right)}{r_0} - 9d^2 r_0^2 F^2 + R - 2\beta^2 A\right) +$$

$$+ S\left(\left(9d^2 r_0^2 F^2 - A\right) f_0 p_{22} + 2\beta f_0 p_{24}\right) + \left(9d^2 r_0 F^2 - \frac{A\left(R - 2\beta^2\right)}{r_0}\right) f_0 p_{25} = 0$$

(12) характеристик тенглама ушбу кўринишга келтирилди

$$b_0S^6 + b_1S^5 + b_2S^4 + b_3S^3 + b_4S^2 + b_5S^1 + b_6S^0 = 0 \qquad (13)$$

P матрица имкон қадар содда кўринишда танланди. Агар, масалан $u_1 = 0$ дан ташқари $u_2 = 0$ ($u_3 \neq 0$ да) дейилса, у ҳолда (13) характеристик тенгламанинг озод ҳади нолга айланади ва шу тенгламанинг битта ечими нолга тенг бўлади.

$b_i, \left(i = \overline{0,6}\right)$ коэффициентлардан Гурвиц матрицасини қурамиз

$$\begin{Vmatrix} b_1 & b_3 & b_5 & 0 & 0 & 0 \\ b_0 & b_2 & b_4 & b_6 & 0 & 0 \\ 0 & b_1 & b_3 & b_5 & 0 & 0 \\ 0 & b_0 & b_2 & b_4 & b_6 & 0 \\ 0 & 0 & b_1 & b_3 & b_5 & 0 \\ 0 & 0 & b_0 & b_2 & b_4 & b_6 \end{Vmatrix}. \qquad (14)$$

Назорат саволлари:

1. Оғдирилган ҳаракат тенгламалари қандай тузилади?
2. Ляпунов бўйича турғунликнинг моҳияти нимада?
3. Агар биринчи яқинлашиш бўйича система характеристик тенгламасининг хеч бўлмаганда битта мусбат ҳақиқий илдизи мавжуд бўлса, оғдирлмаган ҳаракат қандай бўлади?
4. Биринчи яқинлашиш бўйича бошқариш критерийси нимадан иборат?

Адабиётлар

1. Азизов А.Г.,Коршунова Н.А. Вариационные задачи механики космического полета.- Ташкент, 1990.
2. Коршунова Н.А., Зиядинова Э.Д. Стабилизация движения точки на участках промежуточной тяги в поле двух неподвижных центров//Узбекский журнал «Проблемы механики».- 2011, № 1.- С.3-5.
3. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения.- М.: Наука, 1987.

IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАТЕРИАЛЛАРИ

1-Амалий машғулот

Ньютон тортиш майдонида экстремал траекторияларни аниқлаш.

Амалий машғулотда экстремал траекторияларни топишга тегишли Гамильтон тенгламаларига кўра, аниқ масалалар кўрилади. Бунда классик усул, трансверсаллик шартлари ва экстремуми талаб қилинаётган функция ёрдамида ёпиқ тенгламалар системаси келтириб чиқарилиб, экстремал траекториялар аниқланади. Бу тингловчиларга илмий изланишларига тегишли масалаларда экстремал траекторияларни аниқлаш тажрибасини оширади.

2-Амалий машғулот

Ноидеал сервобоғланишли механик системалар.

Амалий машғулотда шартли боғланишли системаларнинг ҳаракат тенгламаларини Аппель тенгламалари кўринишида келтириб чиқариш мўлжалланган. Бунда аниқ системанинг ҳаракат тенгламалари масаласида реакция кучлари таъсирида дастурий ҳаракатни амалга ошириш муаммоси кўриб чиқилади Бунда тингловчилар шартли боғланишларни хақиқийга келтириш аксиомасига кўра ҳаракат тенгламаларини ва бу шартли боғланишни амалга ошириш шартларини тахлил қилиш билан танишишади. Кейинги босқичда боғлаланишдан озод система ҳаракати ўрганилиб, тенгламалар системасининг фарқи кўриб чиқилади.

Кўчма машғулот

Бошқарилувчи механик системалар, ҳаракат тенгламаларининг хусусий ечимларини стабиллаш.

Амалий машғулотда шартли боғланишни гирокомпас ҳаракатида амалга ошириш масаласи кўрилади. Асоси ҳаракатланадиган гирокомпасни ҳаракат тенгламалари асосида, уни мақсадли фойдаланиш функциясига кўра ротор ўқини ҳар доим шимолни кўрсатишини амалга ошириш назарда тутилган. Ҳаракат тнгламаларига кўра, асимптотик турғун ҳаракатни амалга оширувчи моментлар икки хил йўл билан танланади.

V. КЕЙСЛАР БАНК

Кичик кейс 1. “Вариацион масаланинг қўйилишига тегишли муаммоли масала”

Муаммонинг қўйилиши: Бошқарувчи параметр чегараланган ҳолдаги масалани чегараланган масала билан алмаштирилганда экстремал траекториялар бир хил бўладими?

Тингловчилардан олинган жавоблар қуйидагича:

1. Қўйилган масалаларнинг ечимларида фарқ бўлмайди.
2. Вейерштрасс шартлари бажарилганда траекториялар бир хил бўлиши мумкин.

Нима учун бундай жавоблар келиб чиқди ва унинг сабаби. Вазиятдан чиқиш йўлини кўрсатинг.

Кичик -кейс 2. “Шартли боғланишли системага тегишли мулоҳаза”

Муаммонинг қўйилиши: Горизонтал текисликда жойлашган шарни ҳаракати ўрганилмоқда. Бунда вертикал ўқ атрофидаги айланма ҳаракатни икки хил йўл билан амалга ошириш мумкин. 1. Текисликни маълум бир қонун бўйича ҳаракатланиши ҳисобига. 2. Шарга қўйилган актив куч ҳисобига. Қайси бир усулда шартли боғланишни бажарилиши талаб қилинади?

Тингловчилардан олинган жавоблар қуйидагича:

1. Бундай ҳаракатни фақатгина иккинчи ҳолда амалга ошириш мумкин.
2. Иккала ҳолда ҳам амалга ошириш мумкин.

Кичик -кейс 3. “Устуворлик масаласи билан оптимал стабиллаш масалалари орасида боғлиқлик тўғрисида”

Механик системалардаги хусусий ҳаракатни устуворлиги ва уни оптимал стабиллаш масалалари орасида қандай фарқ бор:

Тигловчилар томонидан келтирилган жавоблар қуйидагилардан иборат бўлди:

1. Бу масалалар мазмунан бир хил.
2. Устуворлик масаласи оптимал стабиллашни ўз ичига олади.

Нима учун бундай жавоблар пайдо бўлди. Бунинг асосий сабаби нимада.

VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ

Мустақил ишни ташкил этишнинг шакли ва мазмуни

Тингловчи мустақил ишни муайян модулни хусусиятларини ҳисобга олган холда қуйидаги шакллардан фойдаланиб тайёрлаши тавсия этилади:

- ўқув, илмий адабиётлардан ва меъёрий хужжатлардан фойдаланиш асосида модул мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- махсус адабиётлар бўйича модул бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- тингловчининг касбий фаолияти билан боғлиқ бўлган модул бўлимлари ва мавзуларни чуқур ўрганиш.

Мустақил таълим мавзулари

1. Марказий Ньютон майдонида вариацион масаланинг дифференциал тенгламаларини сферик координаталар системасида келтириб чиқариш.
2. Марказий Ньютон майдонида нол тортишиш қисмларида базис-векторнинг ҳолати.
3. Марказий Ньютон майдонида оралиқ тортишиш қисмларида базис-векторнинг ҳолати.
4. Орбитал учиб ўтишларда импульсли тортишишни қўллаш.
5. Ноидеал боғланишли системаларга тегишли адабиётларни ўрганиш ва аниқ масалаларни ечишда қўллаш.
6. Аниқ системаларда стабиллаш ва оптимал стабиллаш муаммолари.
7. Эластик-пластик муҳитда юкланиш тўлқинлари.

VII. ГЛОССАРИЙ

Ҳақиқий аномалия - тортиш марказидан перигейга ўтказилган ўқ билан радиус вектор орасидаги бурчак.

Апогей - Ер ёки Ой атрофида ҳаракатланаётгаан сунъий йўлдош орбитасини тортиш марказигача бўлган энг яқин масофа.

Апоцентр - Ер ёки Ой атрофида ҳаракатланаётгаан сунъий йўлдош орбитасини тортиш марказигача бўлган энг узоқ нуқтаси.

Апсидаль нуқталар - перимарказ ва апомарказ нуқталар.

Астероидлар - кичик планеталар.

Астрономик бирлик - Ердан Қуёшгача бўлган ўртача масофа.

Афелий - Қуёш атрофида ҳаракатланаётган жисм орбитасини Қуёшдан энг узоқлашган нуқтаси.

Базис вектор - тезлик векторига мос келувчи Лагранж кўпайтмаси.

Барицентр - жисмлар системасининг масса маркази.

Иккинчи космик тезлик - планета учун параболик тезлик.

Вектор гадографи - вектор учидаги нуқтанинг траекторияси.

Гравитацион параметр - жисм массасини гравитация доимийсига кўпайтмаси.

Гравитация доимийси - миқдор жиҳатдан бирлик массали ва бирлик масофада жойлашган жисмлар орасидаги тортиш кучи.

Инерциал саноқ системаси - динамика қонунлари ўринли бўладиган саноқ системаси.

Комета - жуда чўзиқ траектория бўйлаб ҳаракатланаётган осмон жисими.

Конус кесимлари - айлана, эллипс, парабола, гипнрбола.

Апсид чизиғи - орбитанинг фокаль ўқи.

Тугун чизиғи - Ерни экватор текислиги билан нуқта орбитаси кесишадиган чизиқ.

Леви-Чивита усули - Гамильтон системасининг хусусий ечимни топиш усули.

Оғиш бурчаги-орбита текислиги билан Ерни экватор текислиги орасидаги бурчак.

Ўзгармас Лаплас текислиги-марказий куч таъсирида ҳаракатлангаётган нуқта текислиги.

Умумлашган координаталар-система ҳолатини бир қийматли аниқлайдиган, ўзоро боғлиқ бўлмаган параметрлар тўплами.

Оскуляр орбита-аниқ вақтга мос келувчи оғдирилмаган орбита.

Перигей-сунъий йўлдошни Ерга энг яқин бўлган нуқта.

Перицентр-тортиш марказига энг яқин бўлган орбитанинг нуқтаси.

Прецессия(прецессион ҳаракат)-хусусий айланиш ўқини прецессия ўқи атрофидаги айланма ҳаракати.

Сектор тезлик-бирлик вақт оралиғида радиус вектор чизадиган юза.

Чексизликдаги тезлик-гиперболадан иборат орбитадаги мумкин бўлган энг кичик тезик.

Лоуден спирали-марказий куч таъсирида текисликдаги ўрта тортишга мос келувчи траектория.

Боғланиш нуқтаси-импульсли куч қўйиладиган нуқта.

Бурчак нуқталар-бошқариш узулишга эга бўладиган нуқталар.

Вейерштрасса шарти- функционални минумумга эга бўлишининг зарурий шарти.

Марказий куч-таъсир чизиғи доимо марказдан ўтадиган куч.

Марказий ньютон майдони-тортиш марказидан нуқтагача бўлган масофани квадратига тескари пропорционал бўлган куч.

Орбита элементлари-нуктани фазодаги ҳаракатини аниқловчи олтита ўзаро боғлиқ бўлмаган ўзгармас параметрлар.

Шартли боғланиш - ташқи бошқарувчи ёки реакция кучлари таъсирида бажарилиши дозим бўлган системага тегишли координаталар ва умумлашган тезликларга боғлиқ муносабат.

Ноидеал боғланиш - система нуқталарининг мумкин бўлган кўчишларидаги реакция кучининг бажарган иши нолдан фарқли бўлган боғланиш.

Боғланишларга нисбатан оғиш - бошланғич пайтда аниқ бажарилмайдиган боғланишлар ҳисобига ҳосил бўладиган оғишлар.

Идеал боғланишлар - система нуқталарининг мумкин бўлган кўчишларидаги бажарган ишларининг йиғиндиси нолга тенг бўлган боғланишлар.

Инвариант – бу бир саноқ системасидан иккинчи системага ўтганда ёки ҳар хил алмаштиришларда ўзгармас қоладиган қиймат.

Кучланиш бош ўқлари – қаралаётган нуқтадан ўтадигани ва урунма кучланишлари 0 га тенг бўлган учта ўзаро перпендикуляр юзачаларга нормал бўлган 3 та тўғри чизиқ.

Бош кучланишлар – қаралаётган нуқтада кучланиш бош ўқларига перпендикуляр юзачалардаги нормал кучланишлар.

Силжиш тезлиги – бир нуқтадан чиқувчи суюқлик чизиқларининг иккита дастлабки ўзаро перпендикуляр кесмалари орасидаги бурчакнинг ўзгариш тезлиги.

Изотроп муҳит - хусусиятлари барча йўналишларда бир хил бўлган муҳит.

Анизотроп муҳит - хусусиятлари турли йўналишларда турли бўлган муҳит.

Пластик деформациянинг асосий хоссаси - ташқи юкланиш муайян қийматга эришгач, юксизланишда қолдиқ деформациянинг пайдо бўлиши.

Релаксация – деформация ўзгармаса ҳам кучланишнинг ўзгариши.

Судралувчанлик – кучланиш ўзгармаса ҳам деформациянинг ўзгариши.

Силжиш тезлиги – бир нуқтадан чиқувчи суюқлик чизиқларининг иккита дастлабки ўзаро перпендикуляр кесмалари орасидаги бурчакнинг ўзгариш тезлиги.

Иборалар	Ўзбек тилидаги маъноси	Инглиз тилидаги маъноси
Ҳақиқий аномалия	тортиш марказидан перигейга ўтказилган ўқ билан радиус вектор орасидаги бурчак.	the angle measured from the direction of the periapsis of the orbit to the radius vector of the moving point
Апогей	Ер ёки Ой атрофида ҳаракатланаётгаан сунъий йўлдош орбитасини тортиш марказигача бўлган энг яқин масофа	the most distant point from Earth orbit an artificial satellite of the Earth or the Moon
Апоцентр	Ер ёки Ой атрофида ҳаракатланаётгаан сунъий йўлдош орбитасини тортиш марказигача бўлган энг узоқ нуқтаси	the orbit of the point farthest from the center of gravity
Апсидаль нуқталар	перимарказ ва апомарказ нуқталар	pericentre and apocentre
Астрономик бирлик	Ердан Қуёшгача бўлган ўртача масофа	the average distance from Earth to the Sun.
Афелий	Қуёш атрофида ҳаракатланаётган жисм орбитасини Қуёшдан энг узоқлашган нуқтаси	the most distant point from the Sun orbit of a celestial body orbiting the Sun.
Базис вектор	тезлик векторига мос келувчи Лагранж кўпайтувчиси	Lagrange multiplier, dual speed point
Гравитацион параметр	жисм массасини гравитация доимийсига кўпайтмаси	product of attraction of body weight on the gravitational constant
Вектор гадографи	вектор учидаги нуқтанинг траекторияси.	trajectory, which describes the end of the vector
Иккинчи космик тезлик	планета учун параболик тезлик	local escape velocity on the surface of the planet
Барицентр	жисмлар системасининг масса маркази	center of mass of a system of bodies
Инерциал саноқ системаси	динамика қонунлари ўринли бўладиган саноқ системаси	reference system in which the validity of the basic laws of dynamics, and in relation to which a material point on which no forces act moves uniformly in a straight line
Гравитация доимийси	миқдор жиҳатдан бирлик массали ва бирлик масофада жойлашган жисмлар орасидаги	equal in magnitude to the force with which attract each other in terms of unit mass, located at

	тортиш кучи.	unit distance from each other
Апсид чизиғи	орбитанинг фокаль ўқи	the focal axis of the orbit
Тугун чизиғи	Ерни экватор текислиги билан нуқта орбитаси кесишадиган чизиқ	orbital plane line of intersection point with the plane of Earth's equator
Леви-Чивита усули	Гамильтон системасининг хусусий ечимни топиш усули	determining the partial solutions of Hamiltonian systems method
Оғиш бурчаги	орбита текислиги билан Ерни экватор текислиги орасидаги бурчак	the angle between the orbital plane and the plane of Earth's equator
Ўзгармас Лаплас текислиги	марказий куч таъсирида ҳаракатлангаётган нуқта текислиги	the plane in which the point is moving under the influence of a central force
Перицентр	тортиш марказига энг яқин бўлган орбитанинг нуқтаси	point of the orbit closest to the center of gravity
Прецессия (прецессион ҳаракат)	хусусий айланиш ўқини прецессия ўқи атрофидаги айланма ҳаракати	the rotation axis of the rotation of the body around its own axis precession
Лоуден спирали	марказий куч таъсирида текисликдаги ўрта тортишга мос келувчи траектория	intermediate portions of the thrust in the plane case the central Newtonian field
Вейерштрасса шарти	функционални минумумга эга бўлишининг зарурий шарти	a necessary condition for a weak minimum of the functional
Марказий куч	таъсир чизиғи доимо марказдан ўтадиган куч	force whose line of action passes through the same fixed point, called the center of power
Марказий ньютон майдони	тортиш марказидан нуқтагача бўлган масофани квадратига тескари пропорционал бўлган куч	the gravitational field produced by the central force inversely proportional to the square of the distance from the point of moving to the center of power
Шартли боғланиш	ташқи бошқарувчи ёки реакция кучлари таъсирида бажарилиши лозим бўлган системага тегишли координаталар ва умумлашган тезликларга боғлиқ муносабат	
Ноидеал боғланиш	система нуқталарининг мумкин бўлган кўчишларидаги реакция кучининг бажарган иши нолдан фарқли бўлган боғланиш	
Боғланишларга нисбатан оғиш	бошланғич пайтда аниқ бажарилмайдиган боғланишлар ҳисобига ҳосил бўладиган оғишлар	
Идеал боғланишлар	система нуқталарининг мумкин бўлган кўчишларидаги бажарган ишларининг йиғиндиси нолга тенг бўлган боғланишлар	

Инвариант	бу бир саноқ системасидан иккинчи системага ўтганда ёки ҳар хил алмаштиришларда ўзгармас қоладиган қиймат	
Кучланиш бош ўқлари	қаралаётган нуқтадан ўтадигани ва урунма кучланишлари 0 га тенг бўлган учта ўзаро перпендикуляр юзачаларга нормал бўлган 3 та тўғри чизиқ	
Бош кучланишлар	қаралаётган нуқтада кучланиш бош ўқларига перпендикуляр юзачалардаги нормал кучланишлар	
Силжиш тезлиги	бир нуқтадан чиқувчи суюқлик чизиқларининг иккита дастлабки ўзаро перпендикуляр кесмалари орасидаги бурчакнинг ўзгариш тезлиги	
Изотроп муҳит	хусусиятлари барча йўналишларда бир хил бўлган муҳит	
Анизотроп муҳит	хусусиятлари турли йўналишларда турли бўлган муҳит	
Пластик деформациянинг асосий хоссаси	ташқи юкланиш муайян қийматга эришгач, юксизланишда қолдиқ деформациянинг пайдо бўлиши	
Релаксация	деформация ўзгармаса ҳам кучланишнинг ўзгариши	
Судралувчанлик	кучланиш ўзгармаса ҳам деформациянинг ўзгариши	
Силжиш тезлиги	бир нуқтадан чиқувчи суюқлик чизиқларининг иккита дастлабки ўзаро перпендикуляр кесмалари орасидаги бурчакнинг ўзгариш тезлиги	

VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

I. Меъёрий- ҳуқуқий хужжатлар.

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» 2015 йил 12 июндаги ПФ-4732-сон Фармони.

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2010 йил 2 ноябрдаги “Олий малакали илмий ва илмий-педагогик кадрлар тайёрлаш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-1426-сонли Қарори.

3. Кадрлар тайёрлаш миллий дастури. Ўзбекистон Республикаси Олий Мажлисининг Ахборотномаси, 1997 йил. 11-12-сон, 295-модда.

4. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2012 йил 24 июлдаги “Олий малакали илмий ва илмий-педагог кадрлар тайёрлаш ва аттестациядан ўтказиш тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида”ги ПФ–4456-сон Фармони.

5. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 28 декабрдаги “Олий ўқув юртидан кейинги таълим хамда олий малакали илмий ва илмий педагогик кадрларни аттестациядан ўтказиш тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 365- сонли Қарори.

6. Мирзиёев Ш.М. “Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистон давлатини мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамиз” мавзусидаги Ўзбекистон Республикаси Президенти лавозимига киришиш тантанали маросимига бағишланган Олий Мажлис палаталарининг қўшма мажлисидаги нутқи. – Т.: “Ўзбекистон”, 2016. – 56 б.

7. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Таълим муассасаларининг битирувчиларини тадбиркорлик фаолиятига жалб этиш борасидаги қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги 2010 йил 28 июлдаги 4232-сонли Фармони

II. Махсус адабиётлар.

1. Lawden D.F. Optimal Trajectories for Space Navigation Butterworth, Washington, D.C. 2003

2. Азизов А.Г.,Коршунова Н.А. Вариационные задачи механики космического полета.- Ташкент, 1990.

3. Natalya.A.Korshunova and Dilmurat.M.Azimov. Analytical Solutions for Thrust Arcs in a Field of Two Fixed Centers // «Journal of Guidance, Control, and Dynamics» (AIAA), USA, 2014. V.37, №5, pp. 1716-1719.

4. Azizov A.G.,Korshunova N.A. On an analytical solution of optimum trajectory problem in a gravitational field // Celestial Mech.- 1986.- V.38. № 4.

5. Архангельский Ю.А. Аналитическая динамика твердого тела.-М.: Наука. 1977.

6. Азизов А.Г., Коршунова Н.А. Применение метода Леви -Чивита при анализе оптимальных траекторий // Космические исследования. 1979. Т17. Вып3.

7. Коршунова Н.А., Зиядинова Э.Д. Стабилизация движения точки на участках промежуточной тяги в поле двух неподвижных центров//Узбекский журнал «Проблемы механики».- 2011, № 1.- С.3-5.

8. Коршунова Н.А., Зиядинова Э.Д. Применение метода Докшевича при оптимизации траекторий в поле двух неподвижных центров // Узбекский журнал «Проблемы механики» ».- 2012, № 3.- С.3-6.

9. Зиядинова Э.Д., Коршунова Н.А. Методы определения аналитических решений для активных участков в поле двух неподвижных центров// Аналитическая механика, устойчивость и управление. Труды X Международной Четаевской конференции, том 1, Секция 1. Аналитическая механика.- Казань, 2012, С. 192-200

10. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения.- М.: Наука, 1987.

11. Herbert Goldstein. Classical Mechanics. Pearson New International Edition. USA, 2013

12. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. 3-е изд. М.: Физматлит, 2002. — С. 262. — ISBN 5-9221-0067-X.

13. Иванов А.П. Основы теории систем с трением. М.: НИЦ «РХД», ИКИ, 2011.

14. Журавлев В.Ф. 500 лет истории закона сухого трения// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Естественные науки”. 2014. № 2.

15. Беген А. Теория гироскопических компасов. М.: Наука, 1967. 192 с.

16. Пенлеве П. Лекции о трении. М.: Гостехиздат, 1954. 316 с.

17. Азизов А.Г. О движении управляемых механических систем с сервосвязями (условными связями) // ПММ, т.54. 1990.

18. Ellis H. Dill. Continuum mechanics. Elasticity, Plasticity, Viscoelasticity. Taylor & Francis Group. USA, 2007.

19. Cemal Eringen A. Mechanics of Continua. USA, 1967, English

20. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.2. М.: Наука, 2004 (электрон вариант).

21. Прикладная механика сплошных сред. Т.2. Под редак. В.В.Селиванова, МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. (электрон вариант).

22. Новацкий В.К. Волновые задачи теории пластичности. М.: Мир, 1978.

23. МСС в задачах и упражнениях. Т.1,2. Под редак. М.Э.Эглит, Моск. лицей, 1996.

Интернет ресурслар

1. http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/theoretical.htm/
2. http://www.ruscommech.ru/
3. http://www.knigapoisk.ru/book
4. www.natlib.uz
5. www.twirpx.com