**O’ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O’RTA MAXSUS TA’LIM VAZIRLIGI**

**SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**

Boshlanq’ich va maktabgacha ta’lim fakulteti

“Boshlanq’ich va texnologik ta’lim” kafedrasi

**Ro’yxatga olindi:**
**№_______________**
**2021 y. «__»_________**

**«TASDIQLAYMAN»**
**Samarqand davlat universiteti**
**o’quv ishlari prorektori:**
**_________prof. A. Soleev**
**«___»___________ 2021 yil**

| | |
|---|---|
| Bilim sohasi: | 100 000 – GUMANITAR |
| Ta’lim sohasi: | 110000 – PEDAGOGIKA |
| Ta’lim yo‘nalishi: | 5112100 – MEHNAT TA’LIMI |

# TEXNIK MEXANIKA

fanidan

# O’QUV USLUBIY MAJMUA

| | |
|---|---|
| Tuzuvchi: | SamDU “Boshlanq’ich va maktabgacha ta’lim fakulteti “Boshlanq’ich va texnologik ta’lim” kafedrasi dotsenti: **T.Q.Ostonov** |
| Kafedra mudiri: | dots. **O.Eshniyozov** |
| Fakultet uslubiy kengashi raisi: | dots. **G.Raximova** |
| Fakultet dekani: | dots. **S.O’roqov** |
| O’quv uslubiy boshqarma boshlig’i: | dots. **B.Aliqulov** |

**SAMARQAND - 2021**

# M U N D A R I J A

| MODUL / FAN SILLABUSI<br>Maktabgacha ta'lim fakulteti<br>5112100 – texnologiya ta'limi yo'nalishi | "Tasdiqlayman"<br>SamDU oq'quv ishlari boq'yicha prorektori:<br>__________ A.S.Soleev<br>"__"_______2021 yil<br>M.O'. |
|---|---|

| | |
|---|---|
| Fan nomi: | Texnik mexanika |
| Fan turi: | majburiy |
| Fan kodi: | *TECH.SAFM1007* |
| Yil: | 2021-2022 |
| Semestr: | 3,4 |
| Ta'lim shakli: | kunduzgi |
| Mashg'ulotlar shakli va semestrga ajratilgan soatlar: | 136 |
| Ma'ruza | 60 |
| Amaliy mashg'ulotlar | 40 |
| Laboratoriya mashg'ulotlari | 36 |
| Seminar | - |
| Mustaqil ta'lim | 166 |
| Kredit miqdori: | 3 |
| Baholash shakli: | imtihon |
| Fan tili: | o'zbek, tojik |

| Fanning maqsadi (FM) | |
|---|---|
| FM1 | Talabalarga ishlab chiqarishda xavfsiz va sog'lom ish sharoitlarini yaratish uchun mutaxassislarni nazariy va amaliy jihatdan tayyorlash bo'yicha asosiy tushunchalar berish. |
| FM2 | Talabalarga texnologik jarayonlar xavfsizligi bo'yicha asosiy atamalar, texnologik jarayonlar vaqtida yuzaga keladigan favkulodda holatlarda ishchi va xizmatchilarga to'g'ri harakat qilish va himoyalanish uslublarini o'rgatishdir haqidatushunchalar berish. |

| Fanni oq'zlashtirish uchun zarur boshlangq'ich bilimlar | |
|---|---|
| 1. | Talabalar «Oliy matematika asoslari», «Fizika», «Chizmachilik va muxandislik grafikasi» va boshqa fanlar bo'limlariga asoslangan |
| 2. | Talabalar mutaxassislik bo'yicha o'qitiladigan «Oliy matematika asoslari», «Fizika», «Chizmachilik va muxandislik grafikasi» va boshqa fanlarlan bilimga yega bo'lishlari lozim. |
| | ularda ishlash ko'nikmalariga yega bo'lishi kerak. |
| Ta'lim natijalari (TN) | |
| | Bilimlar jihatidan: |
| TN1 | talabalarda moddiy jismlarinng bir-biriga ko'rsatadigan ta`siri va mexanik harakatining umumiy qonunlari, muxandislik amaliyotida, ko'plab uchraydigan, deyarli hamma turdagi mashinalarga ta'sir etadigan tashqi kuchlar va ichki kuchlar, uni aniqlash metodilari, deformatsiya turlari, mexanizm bo'g`inlarining tuzilishini hamda ularni iqtisodiy jihatdan tejamli qilib hisoblash va loyihalash, detal va uzellarning ishga layoqatliligini hisoblash va loyihasiinng nazariy asoslarini, konstruktsiya turlari, tuzilishi va ularga mos turli masalalarning yechimlariga to'g'risida tushuncha *yega bo'lish*. |
| TN2 | talabalarga statikaning asosiy aksiomalari bir nuqtada kesishuvchi kuchlar sistemasi, kuch momenti, juft kuchlar nazariyasi, tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuch sistemasi, ishqalanish, og`irlik markazlari, nuqta kinematikasi, qattiq jismningilgarilanma, aylanma va tekis parallel harakati, nuqtaning murakkab harakati, dinamikanining asosiy qonunlari, moddiy nuqta va mexanik sistema dinamikasi, umumiy teoremalari, Dalamber printsipi, konstruktiv elementlar haqida tushuncha, ko'ndalang deformatsiya, Puasson koeffitsenti materiallarning xossalari va klassifikatsiyasi, ruxsat etilgan kuchlanish, siljish deformatsiyasi, siljishda ruxsat etilgan |

| | |
|---|---|
| | kuchlanish, parchin mixli va payvandli birikmalarning hisobi, buralish deformatsiyasi haqida tushuncha, tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalari haqida *malakasiga yega bo'lish*. |
| TN3 | mexanizm va mashinalarning asosiy xillari va ularning elementlari, mexanizmlarning kinematik xarakteristikasi, mexanizmlarning kinematik sxemasini loyixalash, harakatni uzatish mexanizmlarining xillari va ularning xarakteristikasi, kinematik juftlardagi ishqalanish kuchini hisobga olinmagan holda mexanizmlarning kuch hisobi, tishli uzatmalar, epitsiklik mexanizmlar va ularning kinematik tahlil, kulachokli mexanizmlar, mexanizmlarni statik va dinamik muvozanatlash hamda ularni iqtisodiy jihatdan tejamli qilib hisoblashlar mashina, uning detallari va uzellariga qo'yilgan talablar, mexanikaviy uzatmalar, friktsion va tasmali uzatmalar, zanjirli, tishli, chervyakli uzatmalar, reduktorlar, vallar va o'qlar, podshipniklar, muftalar, rezbali, shponkali va shlitsali birikmalar to'g`risida tushunchalar berish, amaliy va iqtisodiy ahamiyati, tasmali uzatmalarning vazifasi va umumiy tuzilishi, qo'llanilishi, afzalligi va kamchiligi va ularni hisoblash tartibi, zanjirli uzatmalarni tuzilishi, kinematikasi va geometriyasi, tishli uzatmalarni tuzilishi, yutuq va kamchiligi, to'g`ri, qiyshiq tishli uzatmalarni hisoblash usullari, chervyakli uzatmalar, konussimon uzatmalarni hisoblashinng o'ziga xosligi, vallar, o'qlar va ularni hisobi, podshipniklar tanlash, muftalar, reduktorlar haqida *malakasiga yega bo'lish*. |
| | Ko'nikmalar jihatidan: |
| TN4 | talabalarga statikaning asosiy aksiomalari bir nuqtada kesishuvchi kuchlar sistemasi, kuch momenti, juft kuchlar nazariyasi, tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuch sistemasi, ishqalanish, og`irlik markazlari, nuqta kinematikasi, qattiq jismningilgarilanma, aylanma va tekis parallel harakati, nuqtaning murakkab harakati, dinamikanining asosiy qonunlari, moddiy nuqta va mexanik sistema dinamikasi, umumiy teoremalari, Dalamber printsipi, konstruktiv elementlar haqida tushuncha, ko'ndalang deformatsiya, Puasson koeffitsenti materiallarning xossalari va klassifikatsiyasi, ruxsat etilgan kuchlanish, siljish deformatsiyasi, siljishda ruxsat etilgan kuchlanish, parchin mixli va payvandli birikmalarning hisobi, buralish deformatsiyasi haqida tushuncha, tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalari to'g'risida tasavvurga yega bo'lishi. |

| **Fan mazmuni** | |
|---|---|
| **Mashg'ulotlar shakli: ma'ruza (M)** | |
| M1 | **Texnik mexanika fanining asosiy tushunchalari. Texnik mexanika fanining qisqacha tarixi. Statika. Qattiq jism statikasi. Asosiy tushunchalar** va ta`riflar. Statikaninng asosiy aksiomalari. Bog`lanish va bog`lanish reaktsiyalari. |
| M2 | **Bir nuqtada kesishuvchi kuchlar sistemasi**. Bir nuqtada kesishuvchi kuchlarni geometrik usulida qo'shish. Kuchning o'qidagi proektsiyasi. Teng ta`sir etuvchini analitik usulda aniqlash. Bir nuqtada kuchlarning muvozanati. Uch kuch muvozanatiga oid teorema. |
| M3 | **Parallel kuchlar sistemasi**. Parallel kuchlarini qo'shish va tashkil etuvchilarga ajratish. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Kuchning nuqtaga nisbatan moment vektori. Kuchning o'qqa nisbatan momenti. Kuchning o'qqa nisbatan momenti bilan shu o'qdagi nuqtaga nisbatan momenti orasidagi munosabati. Juft kuchlar nazariyasi. Juft kuch va juft kuchninig momenti. Ekvivalent juft kuchlar xaqidagi teoremalar. Juft kuchlar momentiga oid teorema. |
| M4 | **Tekislikda va fazoviy kuchlar sistemasi**. Kuchning berilagan nuqtaga keltirish. Ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini bir nuqtaga ketirish. Bosh vektor va bosh moment. Varinon teoremasi. Ishqalanish turlari. Sirpanishdagi ishqalanish qonunlari. Ishqalanish burchagi. Ishqalanish qonuni. Dumalashdagi ishqalanish. Jismlarning og`irlik markazini aniqlash usullari. Qattiq jismning og`irlik markazi koordinatalarining umumiy formulalari. |
| M5 | **Kinematikaning asosiy tushunchalari**. Nuqta kinematikasi. Nuqta harakatlarining berilish usullari. Harakat vektor, koordinata usulida, tabiiy usulda berilgan nuqtaning tezligi, harakati vektor usulida koordinatalari usulida, tabiiy usulda berilgan nuqtaning tezlaniishi. |
| M6 | **Qattiq jismning harakati tenglamalari**. Qattiq jismning ilgarlanma va qo'g`almas o'q atrofidagi aylanma harakati. Qattiq jismning qo'zg`almas o'q atrofidagi aylanma harakati tenglamasi. Aylanma harkatning burchak tezligi. Qo'zg`almas o'q atrofida aylanma harakatdagi jism nuqtalarning tezligi va tezlanishi. |
| M7 | **Qattiq jism tekis parallell harakati**. Tekis parallell harakatning hususiyatlari. Tekis shaklning |

| | |
|---|---|
| | harakat tenglamasi. Tekis shakl nuqtasining tezligining qutb tezliklarining proektsiyalariga oid teorema. Tezliklarning oniy markazi. Tekis shakl nuqtasining tezlanishi. Tezlanishlarining oniy markazi. Qattiq jismning qo‘zg`almas nuqta atrofida aylanuvchi jismning ko‘chishiga oid Eyler-Dalamber teoremasi |
| M8 | **Nuqtaning murakkab harakati**. Nuqtaning nisbiy ko‘chirma va murakkab harakatlari. Tezliklarni qo‘shish teoremasi. Tezlanishlarni qo‘shish teoremasi. (Koriolis teoremasi). Koriolis tezlanish |
| M9 | **Dinamikaning asosiy tushunchalari va qonunlari**. Mexanik o‘lchov birliklari sistemasi. Moddiy nuqta harakatining differentsial tenglamalari. Bog`lanishdagi moddiy nuqta harakatining differentsial tenglamalari. Moddiy nuqta dinamikasining ikki asosiy masalasi. |
| M10 | **Moddiy nuqta va mexanik sistema dinamikasi**. Sistemaning massalar markazi va uning koordinatalari. Sistemaning inertsiya momentlarining umumiy formulalari. Jismning parallel o‘qlarga nisbatan inertsiya momentlarini hisoblash.Gyugens-Shteyner teoremasi. Ba`zi oddiy shakkli jismlarning inertsiya momentlarini hisoblash. Moddiy nuqta, mexanik sistema uchun Dalamber printsipi. Inertsiya kuchlarining bosh vektor va bosh momenti. |
| M11 | **Materiallar qarshiligi. Asosiy tushunchalar**. Materiallar qarshiligi fanining mazmuni va maqsadi. Ta`rif va tushunchalar. Materiallar qarshiligi fanini texnikaviy fanlar bilan bog`liqligi. Bu fanni mehnat va kasb ta`limi o‘qituvchilarining bilimi va qobiliyatlarini shakllantirishidagi ahamiyati. Materiallar qarshiligi fanining qisqacha rivojlanish tarixi. Kuchlar klassifikatsiyasi. |
| M12 | **Deformatsiya va kuchlanishlar**. Deformatsiya va ularni turlari. Ichki kuchlar. qirqish metodi. Normal va urinma kuchlanish. Oddiy deformatsiyalar: cho‘zilish va siqilish, siljish, buralish, egilish. Murakkab qarshilik: egilish bilan buralishning birgalikdagi ta`siri, bo‘y egilish, markaziy bo‘lmagan cho‘zilish va siqilish, qiyshiq egilish. |
| M13 | **Tekis shakllarning geometrik tavsifnomalari**. Tekis shakllarning o’qlarga nisbatan statik momentlari. Tekis shakl og’irlik markazining koordinatalari. Markaziy o’qlar. Tekis shakllarning inersiya momentlari. Murakkab shakllarning o’qlarga nisbatan inersiya momentlari. Oddiy shakllarning (to’g’ri to’rtburchak, uchburchak, doira, halqa) inersiya momentlari. Parallel o’qlarga nisbatan inersiya momentlari. O’qlar burilganda inersiya momentlarining o’zgarishi. Bosh inersiya o’qlari va bosh inersiya momentlarini aniqlash. |
| M14 | **Cho‘zilish va siqilish**. Markaziy chuzilish va qisilish to’g’risida tushuncha. Bo’ylama kuchlarni aniqlash va ularning epyuralari. Chuzilish va qisilishda kuchlanishlar. Guk qonuni. Bernulli gipotezasi. Normal kuchlanishni aniqlash. Absolyut chuzilish. Bo’ylama va ko’ndalang deformasiya. Puasson koeffisenti. Elastiklik moduli. Sterjenning bikrligi. Chuzilish va qisilishda mustahkamlik sharti. Ruxsat etilgan kuchlanish. |
| M15 | **Nuqtaning kuchlanish va deformasiyalanish holatlari. Siljish**. Nuqtaning kuchlanish holati to’g’risida tushuncha va uning turlari. Chiziqli, tekis va xajmiy kuchlanganlik holatlar. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni. Tekis kuchlanish holatida qiya yuzachalardagi kuchlanishlar. Bosh yuzalar va bosh kuchlanishlar. Sof siljish haqida tushuncha. Sof siljishda Guk qonuni. |
| M16 | **Buralish**. Burovchi momentlarni hisoblash va ularning epyurasini qurish. Doiraviy yoki halqasimon kesimli valning buralishi. Val kesimidagi kuchlanishni aniqlash. Valning mustahkamlik sharti. Valning deformasiyasi. Ko’ndalang kesimning buralish burchagini aniqlash. Nisbiy buralish burchagi to’g’risida tushuncha. Nisbiy buralish burchagining o’lchov birligi. Valning bikrlik sharti. |
| M17 | **Egilish**. Egilish deformatsiyasi haqida tushuncha. To‘g`ri egilish. Sof va ko‘ndalang egilish. Tayanch va tayanch reaktsiya kuchlari. Sof egilishdagi normal kuchlanish va deformatsiya. Ko‘ndalang egilishdagi urinma kuchlanish. Juravskiy formulasi. Egilishda deformasiyalar. Egilishiga ishlayotgan balkalarning bikrlikka hisobi. Statik noaniq ramalarning hisobi. |
| M18 | **Mustahkamlik nazariyalari. Murakkab qarshilik**. Asosiy qoidalar. Birinchi, ikkinchi va uchinchi klassik mustahkamlik nazariyalari. Mustahkamlikning energetik nazariyalari. To’sinning murakkab deformasiyalanish holatining ko’rinishlari. Balkaning qiyshiq egilishi. Egilish bilan chuzilishning birgalikdagi ta’siri. Markaziy qo’yilmagan bo’ylama kuchning ta’siri. Buralish bilan egilishning birgalikdagi ta’siri. |
| M19 | **Siqilgan sterjenlarning ustivorligi**. Ustivorlik va kritik kuch to‘g`risida tushuncha. Kritik kuchni topish uchun Eyler formulasi. Sterjen uchlarini tayanchga biriktirish usulini kritik kuch miqdoriga |

| | |
|---|---|
| | ta`siri. Kritik kuchlanish. Eyler formulasining ishlatilishi chegaralari. YAsinskiy formulasi. Siqilayotgan materiallar qarshiligining ustivorlikka hisobi. |
| M20 | **Yuklanishlarning dinamik ta'siri**. Konstruksiyalar va mashina qismlariga ta'sir etuvchi dinamik kuchlarning turlari. Konstruksiya elementlarida tezlanish va aylanma harakat natijasida hosil bo'ladigan kuchlar. Sterjenni zarbaviy ta'sirga xisoblash. Bir massali elastik sistemaning erkin va majburiy tebranishlari. Xususiy tebranish chastotasi va davrini aniqlash. Dinamik koeffisent, dinamik kuchlanishlar. |
| M21 | **Mexanizmlar va mashinalar nazariyasi fanining asosiy tushunchalari**. Mexanizm va mashinalar nazariyasi fanining rivojlanish tarixi. Mexanizm va mashinalar nazariyasi fanini texnikaviy va maxsus fanlar bilan bog`liqligi. Asosiy tushunchalar. Kinematik juftlar va kinematik zanjirlar. Mexanizm kinematik zanjirni xususiy xoli. Mexanizmning tuzilish formulasi. Mexanizmlarning asosiy turlari to‘g`risida ma`lumot. |
| M22 | **Tekislikda harakatlanuvchi mexanizmlar klassifikatsiyasi**. Mexanizmlarning ratsional klassifikatsiyasiga nisbatan qo‘yilgan talablar. Tekis mexanizmlarning tuzilish klassifikatsiyasi. |
| M23 | **Mexanizmlarning kinematik va dinamik tekshirish**. Kinematik tekshirish masalalar va metodlari. Mexanizmlarning turli vaziyat planlari. Mexanizmlar kinematiksini grafik tekshirish. Kinematik diagrammalar metodi. Tekis mexanizmlarning tezlanishlar plani metodi yordamida aniqlash. Mexanizmlarning dinamik va kinetostatik tahlili. |
| M24 | **Mexanizmlar sintezi**. Sintezning umumiy tushunchalari. Quyi va oliy juftli mexanizmlar sintezi. Episiklik tishli va mushtak (kulachok)li mexanizmlar sintezi. |
| M25 | **Mashina detallari**. Fanning maqsadi, vazifalari va boshqa fanlar bilan aloqasi, mashinalarning qismlari to'g'risida umumiy tushunchalar va ularning tasnifi.Mashinalar qismlarini hisoblash va loyihalash asoslari. Detallarni tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallar. |
| M26 | **Mexanik uzatmalar**. Mashinasozlikda ishlatiladigan uzatmalar, ularning vazifasi, turlari, qo'llanilish sohalari, sxemalari, asosiy kinematik va energetik parametrlari. |
| M27 | **Tishli uzatmlar**. Tuzilishi, turlari, ishlatilish sohalari, afzallik va kamchi-liklari. Tishli g'ildiraklarni tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallar. Silindrsimon va konussimon tishli uzatmalar. |
| M28 | **Chervyakli uzatmalar va muftalar**. Turlari, ishlatish sohalari, afzallik va kamchiliklari, geometriyasi, kinematikasi. Chervyak va uning g'ildiragini tayyorlash uchun materiallar. Uzatmada yemirilish turlari, sabablari va oldini olish yo'llari. Ruxsat etilgan kuchlanishlar va yuklanish koeffisiyentlari. Uzatmani kontakt va eguvchi kuchlanishlar bo'yicha hisoblash. Muftalarning vazifasi, turlari, ishlatilish sohalari tuzilishi, va hisobi. |
| M29 | **Tasmali va zanjirli uzatmalar**. Tuzilishi, turlari, ishlatish sohalari, afzallik va kamchiliklari. Uzatma qismlarini tayyorlash uchun materiallar. Tasma tarmoqlaridagi va vallarga ta'sir qiluvchi kuchlar. Tasmadagi kuchlanishlar. Zanjirlar va yulduzchalar. Zanjir tarmoqlaridagi kuchlar va ularni taranglash usullari. Vallarga ta'sir qiluvchi kuchlar. |
| M30 | **Vallar va o‘qlar, birikmalar**. Vazifasi, turlari, umumiy va xos konstruktiv xususiyatlari. Tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallar. Vallar va o'qlarga ta'sir qiluvchi yuklanishlar. O'qlarning loyiha va tekshirish hisobi. Sirpanish va dumalash podshipniklari haqida umumiy ma'lumotlar. Ajraluvchan va ajralmas birikmalar: turlari, ishlatilish sohalari, asosiy qismlari va o'lchamlari, tayyorlash uchun materiallar. |
| **Mashg'ulotlar shakli: amaliy (A)** | |
| A1 | Ta`sir chiziqlari bir nuqtada kesishuvchi kuchlar va parallel kuchlarga oid masalalar yechish |
| A2 | Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasiga oid masalalar yechish |
| A3 | Turli shakldagi jismlarning og`irlik markazlarini aniqlash |
| A4 | Nuqta tezligini va tezlanishini aniqlash va qattiq jismning ilgarlanma va qo‘zg`almas o‘q atrofidagi aylanma harakatiga oid masalalar yechish |
| A5 | Nuqtaning berilgan harakat qonuniga asosan nuqtaga ta'sir etuvchi kuchni aniqlash |
| A6 | Cho‘zilish va siqilishga oid masalalar yechish |
| A7 | Buralishga oid masalalar yechish |
| A8 | Tekis egilishga oid masalalar yechish |
| A9 | Mexanizmlarni tuzilishi bo'yicha tasniflash va sintezlash |
| A10 | Tekis mexanizmlarni kinematik tahlil qilish |

| | |
|---|---|
| A11 | Mexanizmlarni sintez qilish |
| A12 | Mexanik uzatmali yuritmani loyihalash |
| A13, A14 | Ochiq va yopiq silindrsimon tishli uzatmalarni hisoblash va loyihalash |
| A15 | Ochiq va yopiq konussimon tishli uzatmalarni hisoblash va loyihalash |
| A16 | Chervyakli uzatmalarni hisoblash va loyihalash |
| A17 | Muftalarni tanlash va hisoblash |
| A18 | Tasmali uzatmalarni hisoblash va loyihalash |
| A19 | Zanjirli uzatmalarni hisoblash va loyihalash |
| A20 | Vallarni hisoblash va loyihalash |
| **Mashg'ulotlar shakli: laboratoriya (L)** | |
| L1 | Materiallarni cho'zilish bo'yicha tekshirish |
| L2 | Materiallarni buralishga tekshirish |
| L3 | Materiallarni egilishga tekshirish |
| L4 | Egilishda ko'chishlarini aniqlash |
| L5 | Murakkab qarshiliklarni o'rganish |
| L6 | Tekis mexanizmlarni tuzilishi bo'yicha tahlil qilish. |
| L7, L8 | Tasmali uzatmalarning tuzilishini o'rganish. |
| L9, L10 | Tishli g'ildiraklar parametrlarini tajriba yo'li bilan aniqlash |
| L11 | Yopiq silindrsimon va konussimon tishli reduktorlarni o'rganish. |
| L12 | Silindrsimon tishli g'ildiraklarni o'rganish. |
| L13, L14 | Chervyakli reduktorni o'rganish |
| L15, L16 | Zanjirli uzatmalarning tuzilishini o'rganish. |
| L17, L18 | Sirpanish va dumalash podshipniklarini o'rganish. |

**Fandan baholash mezoni va tartibi**

"Texnik mexanika" fanidan talabalar bilimini baholash "Samarqand davlat universitetida ta'limning kredit tizimi sharoitlarida talabalar bilimini nazorat qilish tartibi va baholash mezonlari to'g'risida yo'riqnoma"ga asosan amalga oshiriladi.

Fan ajratilgan jami kredit (soat) miqdori: 3 (136 s).

| Nazorat turi | Ajratilgan jami ball | Nazorat (topshiriq) shakli | Ballarning taqsimlanishi | Saralash bali |
|---|---|---|---|---|
| Oraliq nazorat | 50 ball | Nazorat ishi:<br>Yozma ish (2 ta savol) | 10 ball | 30 ball |
| | | 2.Yozma ish (2 ta savol) | 10 ball | |
| | | 3.Talaba faolligi (laboratoriya darslardagi) | 10 ball (mashg'ulotlar soniga bo'linadi) | |
| | | 4.Mustaqil ish | 20 ball (topshiriqlar soniga bo'linadi) | |
| Yakuniy nazorat | 50 ball | Yozma ish (5 ta savol)<br>yoki<br>Test (50 ta savol) | 50 ball<br>(har birsavolga 10 balldan)<br>50 ball<br>(har birsavolga 10 balldan) | 30 ball |

Fan bo'yicha yuqorida keltirilgan nazoratlarda to'plan gan reyting umulastiriladi hamda yakunda ballar 5 baholik tizimga quyidagicha konvertatsiy aqilinadi:

- 87-100 ball – 5 (a'lo);
- 73-86 ball – 4 (yaxshi);
- 60-72 ball – 3 (qoniqarli);
- 0-59 ball - 2 (qoniqarsiz).

| | |
|---|---|
| **Asosiy adabiyotlar** | |
| 1. | A. Shoobidov «Nazariy mexanika asoslari» T. «Yangi avlod» 2008. |
| 2. | R.Bibutov «Amaliy mexanika» T. «O'qituvchi». 2010 |
| 3. | Xasanov S. Materiallar qarshiligi – T.: O'qituvchi, 2005. |
| 4. | A.Mansurov «Materiallar qarshiligi» T.: «O'qituvchi». 2010 |
| 5. | Yuldoshbekov S.A. Mexanizm va mashinalar nazariyasi. – T.:2006. |
| 6. | Djurayev A. va boshq. Mexanizm va mashinalar nazariyasi.-T.: O'qituvchi, 2004. |
| 7. | Jo'rayev A., Tojiboyev R. Amaliy mexanika.-T.: Fan va texnologiya, 2007 (lotin). |
| 8. | Botirmuxamedov J.Q. Mashina detallari. - T.: O'qituvchi, 2001. |
| 9. | Tojiboyev R.N., Jo'rayev A. Mashina detallari - T.: O'qituvchi, 2002. |
| 10. | Sulaymonov I.S. Mashina detallari - T.:O'qituvchi, 1981. |
| **Tavsiya qilinadigan qoq'shimcha adabiyotlar** | |
| 1. | R. Axmedxadjaev «Nazariy mexanika» T. «Yangi avlod» 2008 |
| 2. | O.E.Kepe va boshqalar «Nazariy mexanika» T. «Yangi avlod».2008 |
| 3. | Karimov R.I., Saliev A. Amaliy mexanika.- T.: "Fan va texnologiya", 2005. |
| 4. | O'rozboyev M.T. Materiallar qarshiligi kursi.- T.: O'qituvchi, 1999, 510b. |
| 5. | Zokirov G.Sh. Mashina va mexanizmlar nazariyasi – T.: O'zbekiston, 2003. |
| 6. | Tojiboyev R.N. Mashina detallarini loyihalash.-T.: O'qituvchi, 1997. |
| | Сайтлар:<br>www.tdpu.uz<br>www.ziyonet.uz<br>www.pedagog.uz |

| | |
|---|---|
| Dastur mualliflari: | dotsent **T.Q.Ostonov** |
| E-mail: | t-ostonov@mail.ru |
| Tashkilot: | Samarqand davlat universiteti, «Boshlanq'ich va texnologik ta'lim» kafedrasi |

Kafedra mudiri: dots. **O.Eshniyozov**

*Mazkur modul maktabgacha ta'lim fakulteti kengashining 2021 yil ___________ __ -sonli yigq'ilishida koq'rib chiqilgan va tasdiqlangan.*

Kengash raisi: dots. **S.O'roqov**

M.Oq'.

"Kelishilgan"
Sam DU oq'quv uslubiy boshqarma boshligq'i:
_______________ **B.S.Aliqulov**
"__" ________2021 yil

## O‘TILAYOTGAN FANNING ASOSIY NAZARIY MATERIALI

Ma’ruzalar matni

### Mavzu: **TEXNIK MEXANIKA ASOSIY TUSHUNCHALARI**

**Reja:**

1. Texnik mexanika fanining qisqacha tarixi;
2. Qattiq jism statikasi.Asosiy tushunchalar va ta`riflar;
3. Statikaninng asosiy aksiomalari;
4. Bog`lanish va bog`lanish reaktsiyalari.

**Tayanch iboralar**: Fazo, vaqt, nazariy mexanika, harakat, materiya, statika, kinematika, dinamika.

Texnika va texnologiyalarning jadal sur`atlarda rivojlanishi, kompyuterlashtirish va boshqarish tizimining keng miqyosda qo‘llanilishi texnika fanlariga bo‘lgan talabni kuchaytirmoqda. Shuning uchun loyihalangan mashinalar, ularning detallari mumkin qadar engil, etarli darajada mustahkam, ishqalanishga chidamli, davlat standartlariga to‘liq mos keladigan bo‘lishi shart. Yuqorida qo‘yilgan talablarni texnik mexanika fanida o‘rganiladi. Texnik mexanika quyidagi fanlarni o’z ichiga oladi :

Nazariy mexanika - moddiy jismlarinng bir-biriga ko‘rsatadigan ta`siri va mexanik harakatining umumiy qonunlari haqidagi fandir.

Materiallar qarshiligi - loyihalangan mashinalarning, ularning detallarining mustahkamligini, ishqalanishga chidamlilik xossalarini o‘rganish bilan shug`ullanadigan fandir.

Mexanizm va mashinalar nazariyasi – mexanizmlarning strukturaviy tuzilishini, ularning kinematik hamda dinamik parametrlarini,analiz va sintez qilish bilan shug’ullanadigan fandir .

Mashina detallari - mashinalar uchun umumiy bo‘lgan detal va uzellarning tuzilishini,  ularni loyihalash, mustahkamlikka hisoblash usullarini o‘rgatadigan fandir.

Fanining maqsadi va vazifalari fanni o‘qitishdan maqsad – talabalarda moddiy jismlarinng bir-biriga ko‘rsatadigan ta`siri va mexanik harakatining umumiy qonunlari, muxandislik amaliyotida, ko‘plab uchraydigan, deyarli hamma turdagi mashinalarga ta’sir etadigan  tashqi kuchlar va ichki kuchlar,  uni aniqlash metodilari, deformatsiya turlari, mexanizm bo‘g`inlarining tuzilishini hamda ularni iqtisodiy jihatdan tejamli qilib hisoblash va loyihalash, detal va uzellarning ishga layoqatliligini hisoblash va loyihasiinng nazariy asoslarini, konstruktsiya turlari, tuzilishi va ularga mos turli masalalarning yechimlariga oid bilim, ko‘nikma va malaka shakllantirishdir.

Fanning vazifasi -  talabalarga statikaning asosiy aksiomalari bir nuqtada kesishuvchi kuchlar sistemasi, kuch momenti, juft kuchlar nazariyasi,  tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuch sistemasi, ishqalanish, og`irlik markazlari, nuqta kinematikasi, qattiq jismningilgarilanma, aylanma va tekis parallel harakati, nuqtaning murakkab harakati, dinamikanining asosiy qonunlari, moddiy nuqta va mexanik sistema dinamikasi,  umumiy teoremalari, Dalamber printsipi, konstruktiv elementlar haqida tushuncha, ko’ndalang deformatsiya, Puasson koeffitsenti materiallarning xossalari va klassifikatsiyasi, ruxsat etilgan kuchlanish, siljish deformatsiyasi, siljishda ruxsat etilgan kuchlanish, parchin mixli va payvandli birikmalarning hisobi, buralish deformatsiyasi haqida tushuncha, tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalari, mexanizm va mashinalarning asosiy xillari va ularning elementlari, mexanizmlarning kinematik xarakteristikasi, exanizmlarning kinematik sxemasini loyixalash, harakatni uzatish mexanizmlarining xillari va ularning xarakteristikasi, kinematik juftlardagi ishqalanish kuchini hisobga olinmagan holda mexanizmlarning kuch hisobi, tishli uzatmalar, epitsiklik mexanizmlar va ularning kinematik tahlil, kulachokli mexanizmlar, mexanizmlarni statik va dinamik muvozanatlash hamda ularni iqtisodiy jihatdan tejamli qilib hisoblashlar mashina, uning detallari va uzellariga qo‘yilgan talablar, mexanikaviy uzatmalar, friktsion va tasmali uzatmalar, zanjirli, tishli, chervyakli uzatmalar, reduktorlar, vallar va o‘qlar, podshipniklar, muftalar, rezbali, shponkali va shlitsali birikmalar to‘g`risida tushunchalar berish, amaliy va iqtisodiy ahamiyati, tasmali uzatmalarning vazifasi va umumiy tuzilishi, qo‘llanilishi, afzalligi va kamchiligi va ularni hisoblash tartibi, zanjirli uzatmalarni tuzilishi, kinematikasi va geometriyasi, tishli uzatmalarni tuzilishi, yutuq va kamchiligi, to‘g`ri, qiyshiq tishli uzatmalarni hisoblash usullari, chervyakli uzatmalar, konussimon uzatmalarni hisoblashinng o‘ziga xosligi, vallar, o‘qlar va ularni hisobi, podshipniklar tanlash, muftalar, reduktorlar haqida talabalarga bilim berishdir.

Mexanikaning asoschisi buyuk grek olimi Arximed (eramizdan oldingi 287-212) hisoblanadi. Arximed richaglar nazariyasi, jismlarning og’irlik markazlarini aniqlash va suyuqliklar mexanikasi bilan shug‘ullandi.

Leonarda da Vinchi yuksalish davrining buyuk namoyandasi bo‘lib, ishqalanish nazariyasini va kuchlarning jismlarga ta’sirini o‘rgandi.

Italiyan olimi Galileo-Galiley (1564-1642 ) moddiy nuqtalarning harakatini, tezlik va tezlanishlarini aniqlash masalalari bilan shug‘ullandi, inersiya qonunlarini kashf qildi.

Gollandiyalik olim Xristian Gyuygens (1629-1695) egri chiziqli harakat, zarb, fizik mayatnik nazariyalarini yaratdi.

Ingliz olimi Isaak Nyuton dinamikaning asosiy qonunlarini yaratdi.

Fransuz olimi Varin’on teng ta’sir etuvchi kuch va uning momenti tushunchalarini fanga kiritdi.

XVII-XVIII asrlarda qattiq jismlar, suyuqliklar, osmon jismlar mexanikasi juda rivojlandi. Nyuton va Leybnits asos solgan cheksiz kichik miqdorlarni tahlil qilishning analitik usullarini yaratish bilan Bernulli, Eyler, Dalamber va Lagranjlar shug‘ullandilar.

Osmon jismlari mexanikasi nazariyasining rivojlanishiga rus olimlaridan Ostragradskiy, Jukovskiy, Siolkovskiy, Krilov, Ilyushin, Sedov va Ishlinskiylar katta hissa qo‘shdilar.

Texnik mexanikaning rivojlanishiga Rossiyalik olimlardan akad. I.I.Artobolevskiy, professorlar L.Chebishev, L.V.Assur, K.V.Fralov, AQShlik prof. Ross, nemis olimlari Grasgof, Myuller, ingliz olimlari D.Silvestr, S.Roberts, armanistonlik prof. A.Sarkisyan, gruziyalik prof. D.D.Tavxelidze, qozog‘istonlik akad. U.A.Djoldasbekovlar katta hissa qo’shdilar.

O‘zbekistonda texnik mexanikaning rivojlanishida akademiklardan M.T.Urozboyev, H.H.Usmonxujayev, V.Q.Qobulov, X.A.Raxmatullin, O.V.Lebedev, A.D.Glushenkolarning, t.f.d., professorlardan G‘.SH.Zokirov, O.A.Karimov, G‘.S.Quziboyev, SH.U.Raxmatqoriyev, K.A.Karimov, R.I.Karimov, A.Djurayev, SH.P.Alimuxamedov, T.Omonov, D.M.Shpolyanskiy, M.SH.Zokirova, R.X.Maksudov, D.A.Xromova, A.Sadriddinov va X.T.Turonovlarning hizmatlari juda katta.

Nazariy mexanikani o’rganish jarayonida talaba mexanikaning asosiy tushunchalari va qonunlarini hamda shu qonunlardan kelib chiqadigan moddiy nuqta, qattiq jism mexanikasi tizimining muvozanati va harakatini aniqlash usullarini bilishi, olgan bilimini nazariy mexanikaning muhandislik va maxsus fanlarni o’tishda zarur bo’lgan qonun-qoidalarini tatbiq eta olishi zarur.

Fan o’zlashtirish bo’yicha talabalarning bilimiga, uquviga va ko’nikmasiga, Davlat ta’lim standartlariga muvofiq quyidagi talablar qo’yiladi: mexanikaning asosiy qonunlari, teorema va prinsiplarini; nazariyani aniq masalalar yechishga tadbiq etish; bog’lanishlarning reaksiya kuchlarini aniqlashni; mexanik sistemalarning muvozanat shartlarini; nuqta va jismning tezligi, tezlanishi va harakat trayektoriyalarini aniqlashni; harakatning dinamik tenglamlarini to’zishni; ta’sir etuvchi kuchlar sistemasini oddiy ko’rinishiga keltirishni; amaliy masalani yechishning eng rasional yo’lini tanlashni bilishlari lozim.

Nazariy mexanika fizika-matematika fanlari singari umumilmiy fundamental fanlarning biri sifatida o’rganiladi.

Ushbu fanni o’rganish uchun talabalar elementar va oliy matematika, fizika, hisoblash texnikasi, chizmachilik fanlaridan yetarli bilimlarni olgan bo’lishlari lozim.

Fazo, vaqt va kuch tushunchalarini mexanikadagi o’rni. Mexanik harakat fazo va vaqtda sodir bo’ladi. Nazariy mexanikada haqiqiy fazo va vaqt modeli sifatida ularning oddiy modellari – absolyut fazo va absolyut vaqt qabul qilinadi. Absolyut fazo va vaqt bir-biriga bog’liq emas deb hisoblanadi. Nisbiylik nazariyasidagi fazo va vaqt modelida ular bir-biriga bog’liq bo’ladi.

Absolyut fazo uch o’lchamli, bir jinsli va izotropqo’zg’almas yevklid fazosi deb tushuniladi. Kuzatishlar shuni ko’rsatadiki real fizik fazoning o’lchamlari katta bo’lmagan sohalari uchun yevklid geometriyasi to’g’ri.

Nazariy mexanikada absolyut vaqt to’xtovsiz o’zgaradigan kattalik deb hisoblanadi, u o’tmishdan kelajakka qarab oqadi. Vaqt bir jinsli, fazoning barcha nuqtalarida bir xil va materiya harakatiga bog’liq bo’lmaydi.

Statika, kinematika va dinamika bo’limalarida ko’riladigan asosiy masalalar.

Harakat materianing mavjudlik formalaridan biri bo’lib, uning eng muhim xarakterli xususiyatini ifodalaydi.

Materiya harakati deganda jismlarning oddiy ko'chishidan tortib, issiqlik, kimyoviy, elektromagnit, biologik va boshqa o'zgarishlarda sodir bo'ladigan murakkab jarayonlar tushuniladi.

Harakatning oddiy turlardan biri mexanik harakatdir. Vaqt o'tishi bilan moddiy jismlarning bir birlariga nisbatan ko'chishiga *mexanik harakat* deyiladi.

*Nazariy mexanika* moddiy jismlarning bir-biriga ta'siri va mexanik harakatning umumiy qonunlari haqidagi fandir.

Mexanikada moddiy jismlar o'zaro ta'sirining miqdoriy o'lchoviga *kuch* deyiladi.

Nazariy mexanika kursi statika, kinematika va dinamikadan iborat uch qismga bo'linadi. *Statikada* jismlarning muvozanati, ularga qo'yilgan kuchlarni sodda holga keltirish kabi masalalar bilan shug'ullanadi.

*Kinematikada* jismlarning harakati geometrik nuqtai nazardan, ya'ni harakatni vujudga keltiruvchi sababga bog'lamay o'rganiladi.

*Dinamikada* moddiy jismlarning harakati o'nga ta'sir etuvchi kuchlarga bog'liq ravishda tekshiriladi.

Qattiq jism statikasining statikasining asosiy tushunchalari va aksiomalari. Statikaning ikki asosiy masalasi. Qadimgi yunon olimi Arximed statikaning asoschilaridan biri hisoblanadi. U parallel kuchlar ta'siridagi richagning muvozanati, jismlarning og'irlik markazini aniqlash nazariyasini yaratish bilan birga gidrostatikaga ham asos solgan. Geometrik statikaning rivojlanishiga fransuz olimlari P.Varinon (1654-1722) va L. Puanso (1777-1859) katta hissa qo'shdilar.

Analitik statikaning asoschisi J.Lagranj hisoblanadi. Statikaning aksiomatik metodlarini rivojlantirishda rus olimlari N.Ye.Jukovskiy va S.A.Chapliginlarning roli kattadir.

Statikaning asosiy tushunchalaridan biri qattiq jismdir. Kuchlar ta'sirida bo'lgan jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmasa, bunday jismga *absolyut qattiq jism* deyiladi. Boshqacha aytganda, absolyut qattiq jismning geometrik shakli o'zgarmaydi (deformasiyalanmaydi). Kelgusida qattiq jism (yoki jism) deganda absolyut qattiq jism tushuniladi.

Nazariy mexanikada o'lchamlari e'tiborga olinmaydigan darajada kichik bo'lgan jismga *moddiy nuqta* deyiladi. Berilgan jismni tasvirlovchi moddiy nuqta geometrik nuqtadan farqli ravishda berilgan jismning massasiga teng massaga hamda boshqa jismlarga o'zaro ta'sir etish xususiyatiga ega bo'ladi.

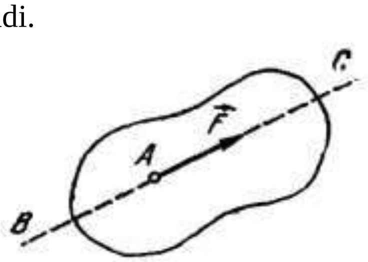
Har qanday jismni moddiy nuqtalar to'plamidan tashkil topgan deb qarash mumkin. Mazkur nuqtalar orasidagi bog'lanish jismning xususiyatlariga bog'liq bo'ladi.

Kuchning jismga ta'siri kuch qo'yilgan nuqta, uning yo'nalishi va miqdori bilan aniqlanadi. Kuchning yo'nalishi deganda tinch holatda turgan erkin jismning mazkur kuch ta'siridan olgan harakat yo'nalishi tushuniladi. Kuchning miqdorini (modulini) aniqlash uchun uni kuch birligi sifatida qabul qilingan biror kattalik bilan solishtiriladi.

Kuch- vektor kattalik bo'lib, uni chizmada o'zunligi ma'lum masshtabda kuch miqdorini, strelkaning yo'nalishi kuch yo'nalishini foydalovchi vektor kesma tarzida tasvirlanadi. Jismning A nuqtasiga F kuch qo'yilgan bo'lsin .

Kuch vektori yo'naltirilgan VS to'g'ri chiziqqa *kuchning ta'sir chizig'i* deyiladi.

Agar jismga bir nechta $\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n$ kuchlar ta'sir etsa, bunday kuchlar to'plamiga *kuchlar sistemasi* deyiladi va $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n)$ deb belgilanadi.




Ta'sir etayotgan $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n)$ kuchlar sistemasini boshqa biror $(\vec{P}_1, \vec{P}_2, ..., \vec{P}_m)$ kuchlar sistemasi bilan almashtirishda jism holati o'zgarmasa, bunday kuchlar sistemasiga *ekvivalent kuchlar sistemasi* deyiladi va quyidagicha yoziladi

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n) \sim (\vec{P}_1, \vec{P}_2, ..., \vec{P}_m)$$

Agar $(\vec{P}_1, \vec{P}_2, ..., \vec{P}_m)$ kuchlar sistemasi bitta *R* kuchga ekvivalent, ya'ni

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n) \sim R$$

bo'lsa, bunday kuchga berilgan kuchlar sistemasining *teng ta'sir etuvchisi* deyiladi.

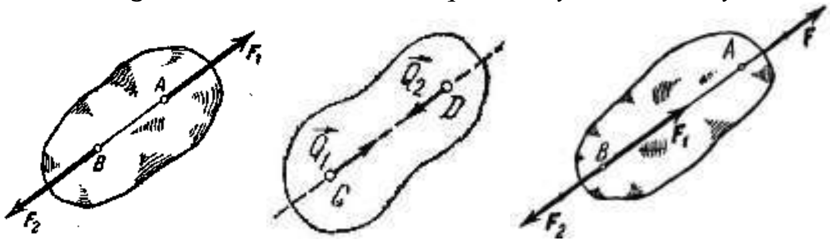
Kuchlar sistemasi ta'siridagi jism tinch holatda qolsa yoki inersion harakatda bo'lsa (masalan, jismning barcha nuqtalari o'zgarmas va bir xil tezlik bilan harakatlansa), jismning bunday holati *muvozanat holat* deyiladi. Kuchlar sistemasi ta'siridagi jism muvozanat holatida bo'lsa, bunday kuchlar sistemasi *muvozanatlashgan kuchlar sistemasi* yoki *nolga ekvivalent sistema* deyiladi:

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n) \sim 0$$

Statika bo'limida jismning muvozanati deganda uning tinch holati tushuniladi.

1-aksioma. *Absolyut qattiq jismga qo'yilgan ikkita kuch muvozanatlashishi uchun bu kuchlar miqdor jihatdan teng, yo'nalishi esa kuchlar qo'yilgan nuqtadan o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'lishi zarur va yetarlidir.*

2-aksioma. *Berilgan kuchlar sistemasining absolyut qattiq jismga ta'sirini o'zgartirmay, bu kuchlar sistemasi qatoriga muvozanatlashgan kuchlar sistemasini qo'shish yoki undan ayirish mumkin.*



Bu aksiomaga ko'ra, agar $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n)$ kuchlar sistemasiga $(\vec{Q}_1, \vec{Q}_2) \infty 0$ sistemani qo'shsak, u holda

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ...\vec{F}_n) \infty (\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_n, \vec{Q}_1, \vec{Q}_2)$$

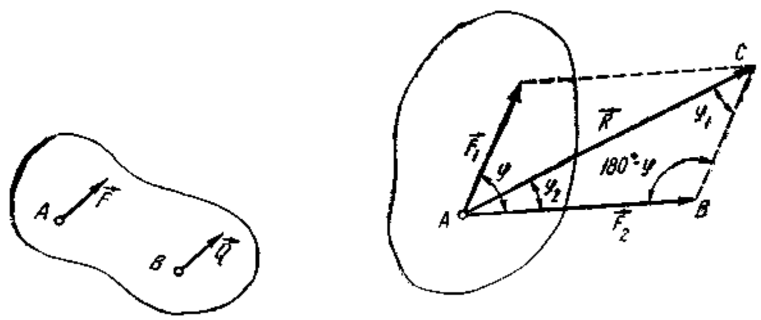
munosabat o'rinli bo'ladi.

Natija. *Kuchni uning ta'sir chizig'i bo'ylab jismning ixtiyoriy nuqtasiga kuchirish bilan kuchning jismga ta'siri o'zgarmaydi.*

3-aksioma. (parallelogramm aksiomasi). *Jismning biror nuqtasiga qo'yilgan, bir to'g'ri chiziqda yotmagan ikki kuchning teng ta'sir etuvchisi miqdor va yo'nalish jihatdan shu kuchlarga qurilgan parallelogrammning kuchlar qo'yilgan nuqtadan o'tuvchi diagonali bilan ifodalanadi.*

4-aksioma (Nyutonning uchinchi qonuni). *Ikkita jism bir-biriga miqdor jihatdan teng va bir to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan kuchlar bilan o'zaro ta'sir etadi.*

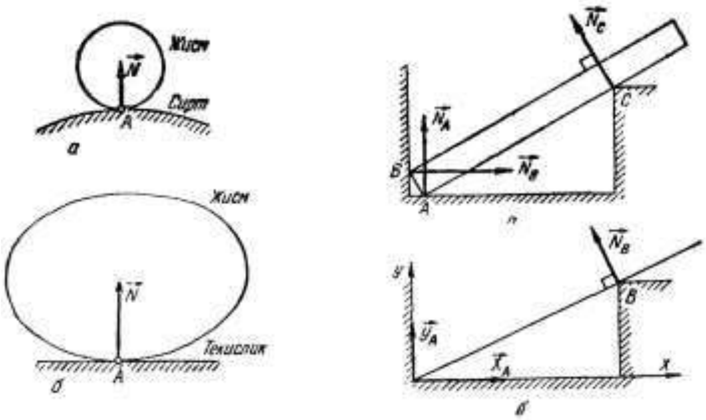
5-aksioma (qotish prinsipi). *Agar deformasiyalanadigan jism muvozanat holatida absolyut qattiq jismga aylansa, uning muvozanati o'zgarmaydi.*



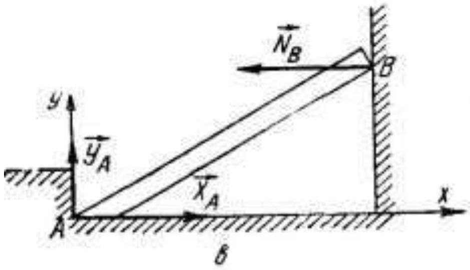
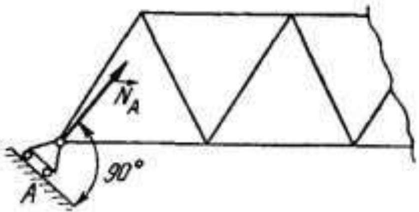
Bog'lanish va bog'lanish reaksiya kuchlari. Berilgan jismning ko'chishi boshqa jismlar bilan cheklangan bo'lsa, u *bog'lanishdagi jism* deyiladi. Berilgan jismning ko'chishini cheklovchi jismga *bog'lanish* deyiladi.

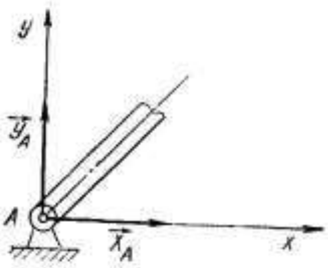
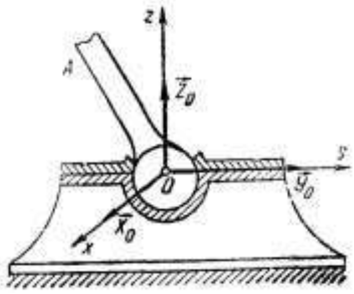
Bog'lanishning jismga ko'rsatadigan ta'siriga *bog'lanish reaksiya kuchi* deyiladi.Harakati bog'lanishlar bilan cheklanmagan jism *erkin jism* deyiladi.

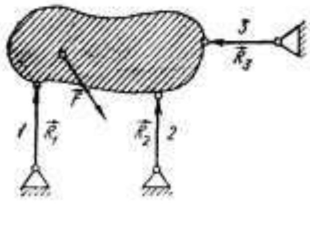
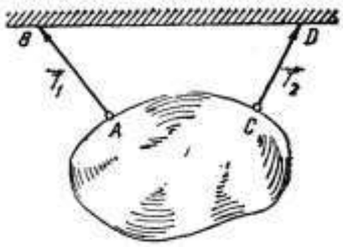
*Bog'lanishlar aksiomasi* (bog'lanishdan bo'shatish prinsipi). Bog'lanishlarning berilgan jismga ta'sirini reaksiya kuchi bilan almashtirib, har qanday bog'lanishdagi jismni erkin jism deb qarash mumkin.




- ✓ Silliq sirt vositasida bog’lanishlar
- ✓ Sharnirli bog’lanishlar
- ✓ Ip, zanjir va qayishlar vositasida bog’lanishlar

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Mexanika predmeti haqida gapirib bering
2. Mexanik harakat deb qanday harakatga aytiladi?
3. Nazariy mexanika fani nimani o’rganadi?
4. Statikaning asosiy tushunchalari va aksiomalari ta’rifini bering
5. Bog’lanishdagi jismni qanday holatda erkin jism deb qarash mumkin?

Mavzu: **BIR NUQTADA KESISHUVCHI KUCHLAR SISTEMASI**

**Reja:**

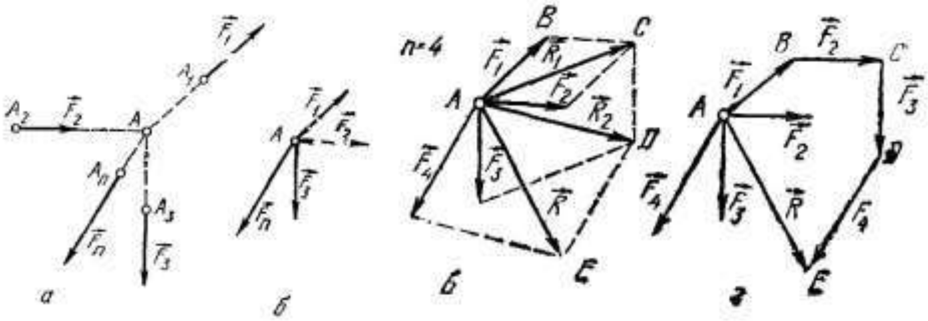
1. Kesishuvchi kuchlarni geometrik qo’shish;
2. Uch kuchning muvozanati haqidagi teorema;
3. Kuchning o’qdagi va tekislikdagi proyeksiyasi;
4. Kuchning teng ta’sir etuvchisini analitik usulda aniqlash. Kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanati.

**Tayanch iboralar**: Kesishuvchi kuchlar sistemasi, muvozanat shartlari, muvozanat tenglamalari, fazoda ixtiyoriy yo'nalgan kuchlar sistemasi.

Ta’sir chiziqlari bir nuqtada uchrashadigan kuchlar sistemasiga *kesishuvchi kuchlar sistemasi* deyiladi.

Ko'plab texnika masalalarida, ayniqsa fermalarning sterjenlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlar va osilgan yuklarning muvozanat shartlarini aniqlashda kesishuvchi kuchlar sistemasi uchun olingan muvozanat tenglamalaridan foydalanish ancha qulay bo'ladi. Bundan tashqari kelgusida ko'riladigan fazoda ixtiyoriy yo'nalgan kuchlar sistemasi muvozanatini o'rganishda kesishuvchi kuchlar sistemasi asosiy boshlang'ich tushunchalar bo'lib xizmat qiladi.

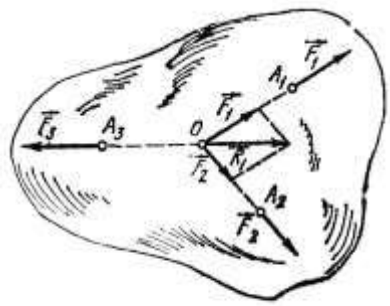
Bir nuqtaga qo’yilgan $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ kuchlar berilgan. Bu kuchlarni qo’shish uchun parallelogramm qoidasidan ketma-ket foydalanish mumkin.



$$\vec{R}_1 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$\vec{R}_2 = \vec{R}_1 + \vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

$$\vec{R} = \vec{R}_2 + \vec{F}_4 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$

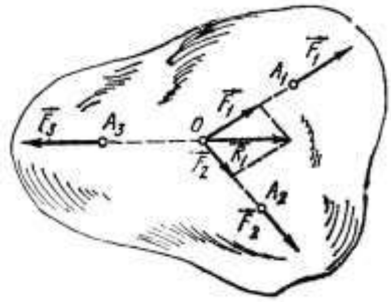


*R* - teng ta’sir etuvchi kuch. *ABCDE* – kuch ko’pburchagi.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n = \sum_{\nu=1}^{n} \vec{F}_\nu$$

Shunday qilib, *kesishuvchi kuchlar sistemasining teng ta’sir etuvchisi tashkil etuvchi kuchlarning geometrik yig’indisiga teng va shu kuchlar ta’sir chiziqlarining kesishgan nuqtasiga qo’yilgan bo’ladi.*

Uch kuchning muvozanati haqidagi teorema



*R* - teng ta’sir etuvchi kuch. *ABCDE* – kuch ko’pburchagi.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n = \sum_{\nu=1}^{n} \vec{F}_\nu$$

Shunday qilib, *kesishuvchi kuchlar sistemasining teng ta’sir etuvchisi tashkil etuvchi kuchlarning geometrik yig’indisiga teng va shu kuchlar ta’sir chiziqlarining kesishgan nuqtasiga qo’yilgan bo’ladi.*

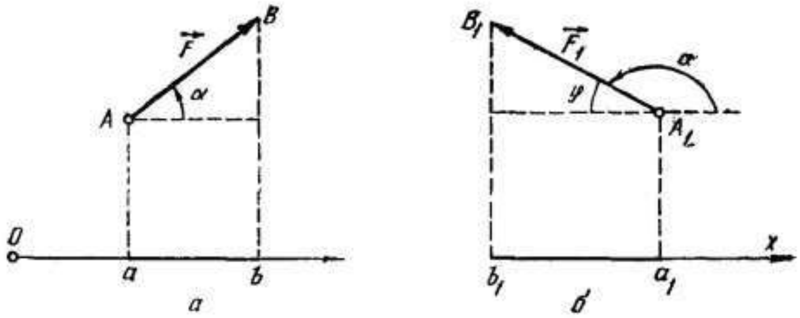
Teorema. *Bir tekislikda yotuvchi va o’zaro parallel bo’lmagan uchta kuch muvozanatlashsa, ularning ta’sir chiziqlari bir nuqtada kesishadi.*

Kuchning o’qdagi va tekislikdagi proyeksiyasi

Kuchning biror o’qdagi proyeksiyasi skalyar miqdor bo’lib, kuch moduli bilan kuchning shu o’q musbat yo’nalishi bilan tashkil qilgan burchagi kosinusiga ko’paytmasiga teng.

$F_x = X = F\cos\alpha$

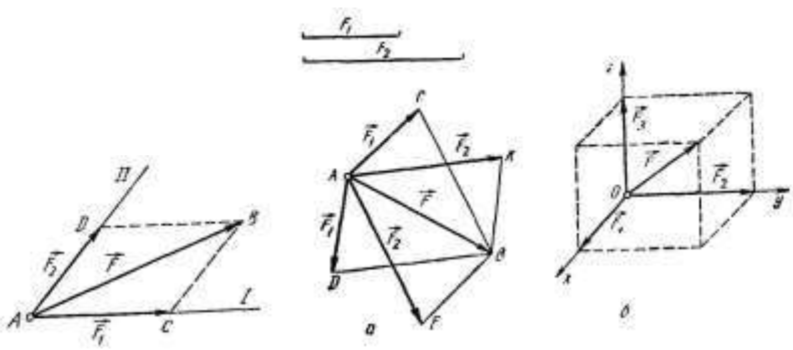
$X_1 = F_1 \cos\alpha = -F_1 \cos\alpha$



1. $\vec{F}$ kuchni shu kuch bilan bir tekislikda yotuvchi berilgan ikkita yo’nalish bo’yicha tashkil etuvchilarga ajratish.

2. $\vec{F}$ kuchni shu kuch bilan bir tekislikda yotuvchi va son qiymatlari berilgan ikkita tashkil etuvchiga ajratish.

3. $\vec{F}$ kuchni bir-biriga perpendikulyar uchta koordinata o’qlari bo’yicha yo’nalgan $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ tashkil etuvchilarga ajratish.



Kuchning teng ta’sir etuvchisini analitik usulda aniqlash. Kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanati

Kuchni uning koordinata o’qlaridagi proyeksiyalari va qo’yilgan nuqtasining koordinatalari orqali topish usuliga *analitik usulda aniqlash* deyiladi.

(1) ni koordinata o’qlariga proyeksiyalab, topamiz

$$R_x = \sum_{\nu=1}^{n} X_\nu, \ R_y = \sum_{\nu=1}^{n} Y_\nu, \ R_z = \sum_{\nu=1}^{n} Z_\nu.$$

Teng ta'sir etuvchining moduli.

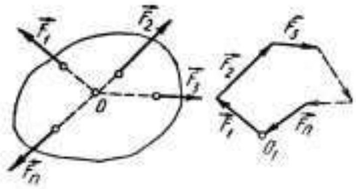
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} = \sqrt{\left(\sum_{\nu=1}^{n} X_\nu\right)^2 + \left(\sum_{\nu=1}^{n} Y_\nu\right)^2 + \left(\sum_{\nu=1}^{n} Z_\nu\right)^2}.$$

Yo'nalishi

$$\cos(\vec{R}\,^\wedge x) = \frac{R_x}{R}, \qquad \cos(\vec{R}\,^\wedge y) = \frac{R_y}{R}, \qquad \cos(\vec{R}\,^\wedge z) = \frac{R_z}{R}.$$

Bir nuqtada kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun mazkur kuchlarning geometrik yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir.

$$\sum_{\nu=1}^{m} \vec{F}_\nu = 0$$



*Bir nuqtada kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanatlashishi uchun bu kuchlarga qurilgan kuch ko'pburchagi yopik bo'lishi zarur va yetarlidir.*

Teng ta'sir etuvchi kuch $\vec{R} = 0$ bo'lsa,

$$R_x=0, \ R_y=0, \ R_z=0$$

yoki

$$\sum_{\nu=1}^{n} X_\nu = 0, \qquad \sum_{\nu=1}^{n} Y_\nu = 0, \qquad \sum_{\nu=1}^{n} Z_\nu = 0.$$

Bu tengliklar kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanat shartining analitik ifodasidir.

( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_n$ ) kuchlarning teng ta'sir etuvchisini kuch ko'pburchagi yordamida aniqlash uchun geometriya va trigonometriya formulalaridan foydalanamiz. teng ta'sir etuvchini bunday usulda aniqlash *geometrik usul* deyiladi.

Agar kuchlar sistemasi tekislikda joylashgan bo'lsa, u holda har birini uzunligi o'lchanib, shaklda ko'rsatilganidek kuch ko'pburchagi ko'riladi va teng ta'sir etuvchining uzunligi ham o'lchanadi. teng ta'sir etuvchining uzunligi uning kattaligini beradi va bunday usul – *grafik usul* deb ataladi.

*Kesishuvchi kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisini koordinata o'qlaridagi proeksiyasi, barcha kuchlarning mos koordinata o'qlaridagi proeksiyalari-ning algebraik yig'indisiga teng.*

Muvozanat shartlari vektor yoki analitik ko'rinishda bo'lishidan qatiy nazar, asosiy maqsad kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanatda bo'lishini tekshirishdan iborat. bundan tashqari kuchlarning muvozanat shartlaridan foydalanib, jismga qo'yilgan bog'lanish reaksiya kuchlarining qiymatlari va yo'nalishlari aniqlanib, olingan ma'lumotlar asosida berilgan qurilma baholanadi. agarda (2.10) tenglamalarda noma'lum reaksiya kuchlarining soni uchtadan ortiq bo'lsa, u holda hosil qilingan tenglamalar sistemasini yechib bo'lmaydi. bunday masalalarni *statik noaniq* yoki *statik aniqlanmaydigan masalalar* deyiladi.

Malumki, koordinatalar sistemasi ixtiyoriy ravishda tanlab olinadi, lekin koordina-talar sistemasining boshini kuchlar kesishgan nuqtada va koordinata o'qlarini imkon qadar nama'lum kuchlarga perpendikulyar qilib yo'naltirilsa, masalalarni yechish osonlashadi.

**NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:**

1. Kesishuvchi kuchlar sistemasi va ularni geometrik qo'shish usullari.
2. Kuchni tashkil etuvchilarga ajratishning qanday usullarini bilasiz?
3. Kuchning o'qdagi va tekislikdagi proyeksiyalari qanday aniqlanadi?
4. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun qanday shart bajarilishi lozim?

Mavzu: **PARALLEL KUCHLAR SISTEMASI**

**Reja:**
1. Ikki parallel kuchlarni qo'shish.
2. Juft kuch haqida tushuncha.
3. Kuchning nuqtaga, o'qqa nisbatan va shu o'qdagi nuqtaga nisbatan momenti orasidagi bog'lanish.
4. Juftlar haqidagi teoremalar. Juft kuchlarning xossalari.

**Tayanch iboralar**: Parallel kuchlar sistemasi, juft kuch, kuch momenti, juft kuch momenti, ekvivalent juftlar.

Ta'sir chiziqlari o'zaro parallel bo'lgan kuchlar sistemasiga *parallel kuchlar sistemasi* deyiladi.

Jismning $A$ va $V$ nuqtalariga qo'yilgan va bir tomonga yo'nalgan parallel $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ kuchlar berilgan bo'lsin.

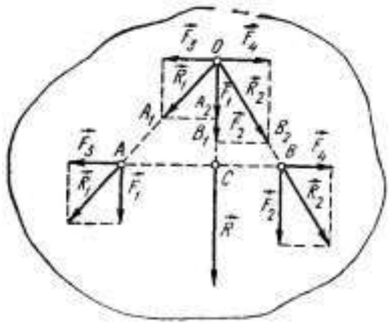
$A$ va $V$ nuqtalarga ta'sir chiziqlari $AV$ da yotuvchi $(\vec{F}_3, \vec{F}_4)\infty 0$ sistemani qo'yamiz.

$$\vec{R}_1 = \vec{F}_1 + \vec{F}_3 \qquad \text{va} \qquad \vec{R}_2 = \vec{F}_2 + \vec{F}_4$$

$\vec{R}_1$ va $\vec{R}_2$ lar ta'sir chiziqlari *0* nuqtada kesishadi.

Bu kuchlarni *0* nuqtada to'zuvchilarga ajratamiz. Bunda $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ni ta'sir chizig'i bo'ylab *S* nuqtaga ko'chiramiz

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{CB}{AC}$$



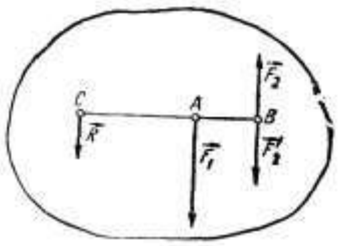

Proporsiyaning xossasiga ko'ra

$$\frac{F_1}{CB} = \frac{F_2}{AC} = \frac{R}{AB}$$

Natija. *Bir tomonga yo'nalgan ikki parallel kuchning teng ta'sir etuvchisi shu kuchlarning algebraik yig'indisiga teng va shu kuchlar bilan bir tomonga yo'naladi. Teng ta'sir etuvchining ta'sir chizig'i esa kuchlar qo'yilgan nuqtalar orasidagi masofani ichki ravishda shu kuchlarga teskari* proporsional *bo'laklarga bo'ladi.*

Miqdorlari teng bo'lmagan ($F_1>F_2$) parallel va bir-biriga teskari yo'nalgan ikkita kuchning teng ta'sir etuvchisi

$$R=F_1-F_2 \qquad \text{va} \qquad \frac{F_1}{F_2} = \frac{BC}{AC}$$

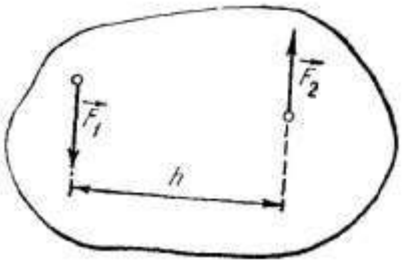


*Miqdorlari teng bo'lmagan va bir-biriga teskari yo'nalgan ikkita parallel kuchlarning teng ta'sir etuvchisi miqdor jihatidan ularning ayirmasiga teng. Teng ta'sir etuvchining ta'sir chizig'i esa AV kesmaning katta kuch qo'yilgan davomida yotadi va shu kesmani tashqi ravishda mazkur kuchlarga teskari proporsional ravishda bo'ladi.*

$$AC = \frac{F_2}{F_1 - F_2} AB$$

Juft kuch haqida tushuncha

Bir-biriga teskari yo'nalgan miqdor jihatidan teng ikkita parallel kuchlar sistemasi *juft kuch* (qisqacha juft) deb ataladi. Juft kuch $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ bilan belgilanadi. Juft tashkil etuvchi kuchlarning ta'sir chiziqlari orasidagi eng qisqa masofaga *juftning yelkasi* deyiladi – *h*. Juft yotgan tekislikka *juftning tekisligi* deyiladi.




Juft kuchni bitta kuch bilan almashtirib bo'lmaydi.

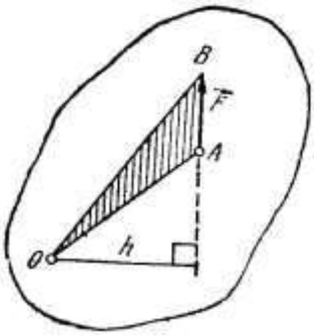
Kuchning nuqtaga va o'qqa nasbatan momenti

$\vec{F}$ *kuchning 0 nuqtaga nisbatan momenti deb, mos ishora bilan olingan kuch moduli F ni kuch yelkasi h ga ko'paytmasiga teng kattalikka aytiladi*

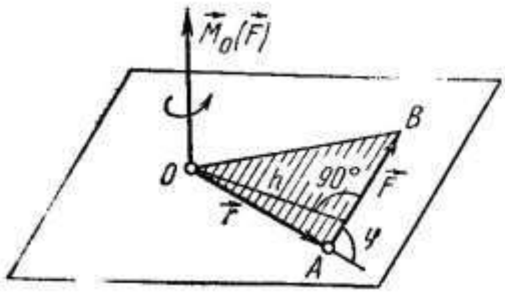
$$M_o(\vec{F}) = \pm F \cdot h,$$

bu yerda $h$ - $\vec{F}$ kuchning *0* nuqtaga nisbatan momenti; *0* nuqta moment markazi deyiladi.

$$\left| M_o(\vec{F}) \right| = 2S_{\Delta AOB}.$$




Kuchning o'qqa nisbatan va shu o'qdagi nuqtaga nisbatan momenti orasidagi bog'lanish




Ta'sir chiziqlari fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasiga *fazodagi kuchlar sistemasi* deyiladi.

Fazodagi kuchlarning nuqtaga nisbatan momenti quyidagi uchta faktor:

1. Kuchning modulini uning yelkasiga ko'paytmasi $F \cdot h$ ga teng moment moduli;
2. Kuchning ta'sir chizig'i va moment markazi orqali o'tuvchi *OAV* aylanish tekisligi
3. Mazkur tekislikdagi aylanish yo'nalishi bilan aniqlanadi.

Jismga fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar ta'sir etsa, har bir kuchning aylanish tekisligini alohida aniqlashga to'g'ri keladi.

Aylanish tekisligining fazodagi holatini va aylanish yo'nalishini mazkur tekislikka perpendikulyar vektor bilan aniqlash mumkin. Agar tekislikning holatini belgilovchi vektorning modulini kuchning momenti moduliga teng va uning yo'nalishni kuchning aylanish yo'nalishini ifodalaydigan tarzda tanlab olsak, bunday vektor yordamida kuchning *0* nuqtaga nisbatan momentini xarakterlovchi uchala faktorni aniqlash mumkin.

Agar *F* kuch qo'yilish nuqtasining *D* markazga nisbatan radius-vektorini *r* bilan belgilasak

$$\vec{M}_o(\vec{F}) = \vec{r} x \vec{F}$$

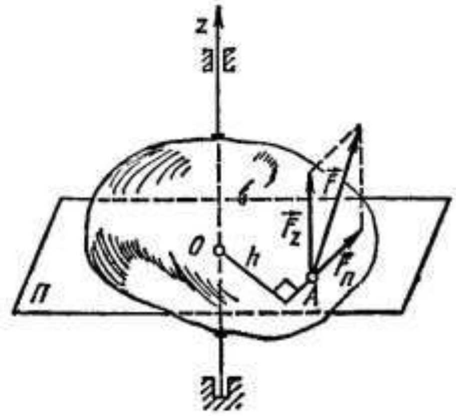
munosabat o'rinli bo'ladi va

Demak, *kuchning nuqtaga nisbatan momenti vektor kattalik bo'lib, kuch qo'yilgan nuqtaning moment markaziga nisbatan radius-vektori bilan shu kuchning vektor ko'paytmasiga teng.*

Kuchning o'qqa nisbatan momenti. Fazodagi kuchlar sistemasining jismga ta'sirini o'rganishda kuchning nuqtaga nisbatan momenti bilan birga kuchning o'qqa nisbatan momenti tushunchasi ham kiritiladi.

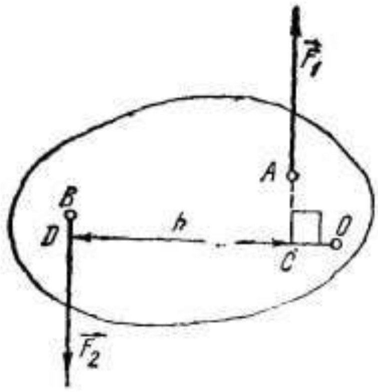
*z* o'q atrofida aylana oladigan jismning *A* nuqtasiga *F* kuch ta'sir etsin. *A* nuqtadan jismning aylanishi o'qiga perpendikulyar *P* tekislikni o'tkazamiz. *z* o'qning mazkur tekislik bilan kesishgan nuqtasini *0, F* kuchning *P* tekislikdagi proyeksiyasini $F_n$ bilan belgilaymiz.

*Kuchning biror o'qqa nisbatan momenti deb, uning shu o'qqa perpendikulyar tekislikdagi proyeksiyasining o'q bilan mazkur tekislik kesishgan nuqtasiga nisbatan momentiga aytiladi.*




$$\vec{M}_z(\vec{F}) = \vec{M}_o(\vec{F}_n) = \pm \vec{F}_n \cdot h.$$

Kuchning o'qqa nisbatan momenti bilan shu o'qdagi nuqtaga nisbatan momenti orasidagi bog'lanish haqida lemma.




*Kuchning biror o'qqa nisbatan momenti uning shu o'qda olingan ixtiyoriy nuqtaga nisbatan moment-vektorining mazkur o'qdagi proyeksiyasiga teng.*

$$\left[\vec{M}_o(\vec{F}_n)\right]_z = M_z(\vec{F})$$
$$M_x(\vec{F}) = \left[\vec{M}_o(\vec{F}_n)\right]_x$$
$$M_y(\vec{F}) = \left[\vec{M}_o(\vec{F}_n)\right]_y$$
$$M_z(\vec{F}) = \left[\vec{M}_o(\vec{F}_n)\right]_x$$

Juft kuchning momenti

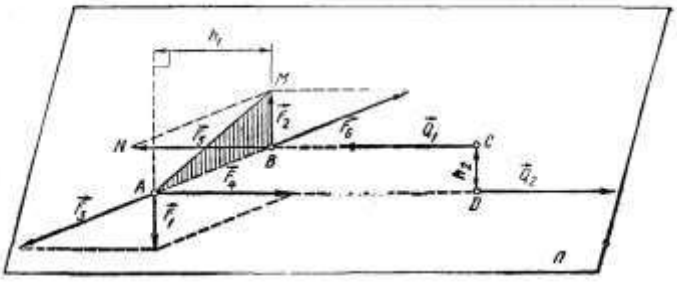
*Juftning momenti deb, mos ishora bilan olingan juft tashkil etuvchilaridan birining miqdorini juft yelkasiga ko'paytmasiga teng kattalikka aytiladi.*

$$M = \pm F_1 h = \pm F_2 h.$$

Juftlar haqidagi teoremalar. Juft kuchlarning xossalari

Teorema. *Juft tashkil etuvchi kuchlarning juft tekisligidagi ixtiyoriy nuqtaga nisbatan momentlarining algebraik yig'indisi juft momentiga teng.*

$$M = M_A(\vec{F}_2) = M_B(\vec{F}_1).$$




Ekvivalent juftlar haqidagi teorema.

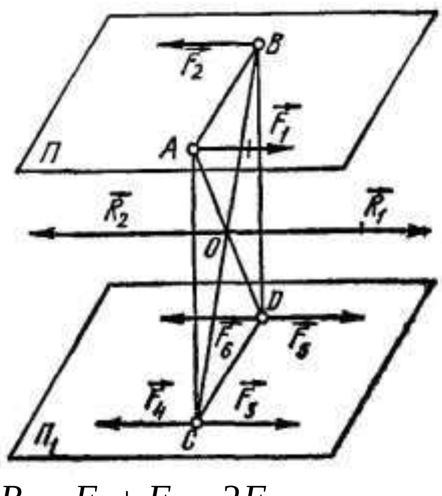
*Bir tekislikda yotuvchi momentlari teng va aylanish yo'nalishlari bir xil bo'lgan ikki juft o'zaro ekvivalent bo'ladi.*

Natijalar: *1. Juftni o'z tekisligida ixtiyoriy ravishda ko'chirsak, juftning jismga ta'siri o'zgarmaydi.*

*2. Juftning momenti va aylanish yo'nalishini o'zgartirmay uning tashkil etuvchilari va yelkasi o'zgartirilsa, juftning jismga ta'siri o'zgarmaydi.*

Juftni parallel tekislikka ko'chirish haqidagi teorema

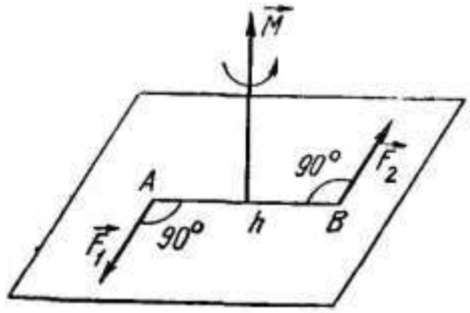
Parallel tekisliklarda yotuvchi, momentlarining absolyut qiymati teng va bir xil aylanish yo'nalishiga ega bo'lgan ikkita juft kuch o'zaro ekvivalentdir. *P* tekislikda yotuvchi va yelkasi *\AV* ga teng *($F_1$, $F_2$)* juft kuch berilgan. *P* tekislikka parallel *P*, tekislikda *\AV* ga parallel va teng *CD* kesmani olamiz: *S* va *D* nuqtalarga miqdorlari *($F_1$, $F_2$)* juftning tashkil etuvchilariga teng *($F_3$ = $F_4$ = $F_5$= $F_6$ = $F_1$)* kuchlarni qo'yamiz.




$$R_1 = F_1 + F_2 = 2F_1$$
$$R_1 = F_1 + F_2 = 2F_1$$
$$\left(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{F}_5, \vec{F}_6\right) \infty \left(\vec{F}_3, \vec{F}_6\right)$$

Juftning moment vektori. Fazodagi juftlarni qo'shish. Juft kuchning jismga ta'siri (xuddi fazodagi kuchning nuqtaga nisbatan momenti kabi) quyidagi uchta faktor: juft momentining moduli, juftning ta'sir tekisligi va aylanish yo'nalishi bilan harakterlanadi.

Qayd etilgan uchta faktorni aniqlash uchun juft momenti u yotgan tekislikka perpendikulyar yo'nalgan va modul jihatdan juft momentining absolyut qiymati $\left|\vec{M}\right| = F_1 \cdot h = F_2 \cdot h$ ga teng $M$ vektori bilan ifodalanadi.



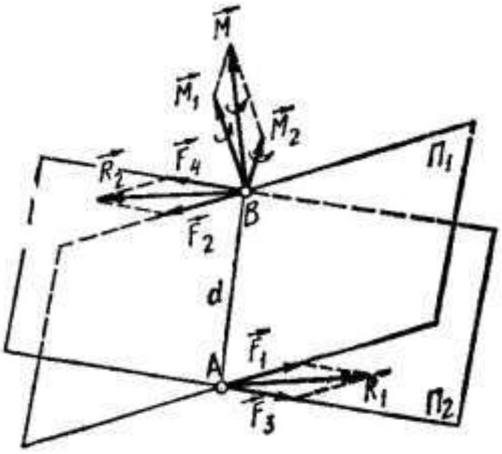

$$\vec{M} = \vec{M}_A(\vec{F}_2) = \vec{M}_B(\vec{F}_1)$$

Juft momenti vektori erkin vektor bo'ladi.

Fazodagi juftlarni qo'shish haqida teorema. *Kesishuvchi tekisliklarda yotuvchi ikkita juft kuch momenti berilgan juftlar momentlarining geometrik yig'indisiga teng va bitta juftga ekvivalentdir:*

$$M_1 = F_1 \cdot d, \qquad M_2 = F_3 \cdot d$$

$$\vec{M} = M_1 + M_2$$




*$M_1$* va *$M_2$* moment-vektorlariga qurilgan parallelogramm *momentlar parallelogrammi* deyiladi.

Juftlar sistemasi uchun

$$\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \ldots + \vec{M}_n$$

$$ёки \qquad \vec{M} = \sum M_\nu$$

Fazodagi juftlar momentlarining geometrik yig'indisi nolga teng bo'lsa, bunday juftlar sistemasi muvozanatda bo'ladi.

$$\sum \vec{M}_\nu = 0$$

*Fazodagi juftlar momentlarining har bir koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarining yig'indisi nolga teng bo'lsa, bunday juftlar sistemasi muvozanatda bo'ladi.*

Juftlarning muvozanat sharti

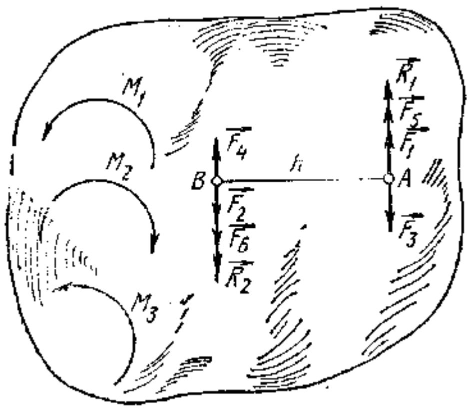
Teorema. *Bir tekislikda yotuvchi juftlar sistemasi bitta juftga ekvivalent bo'lib, uning momenti berilgan juftlar momentlarining algebraik yig'indisiga teng.*

$$M = M_1 + M_2 + \ldots + M_n = \Sigma M_\nu,$$

bunda $M$ – teng ta'sir etuvchi juft momenti.

*Tekislikdagi juftlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun berilgan juftlar momentlarining algebraik yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir.*

$$\Sigma M_v = 0.$$




## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Bir tekislikda yotuvchi, o'zaro parallel kuchlarning teng ta'sir etuvchisi qanday aniqlanadi?
2. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti va uning manfiy yoki musbatligi qanday aniqlanadi?
3. Juft kuch deb qanday kuchlar sistemasiga aytiladi?
4. Juftning momenti nimaga teng?
5. Juftning elkasi qanday aniqlanadi?
6. Juft kuchlarning teng tasir etuvchisi nimaga teng?
7. Ekvivalent juftlar deb qanday juftlarga aytiladi?

## Mavzu: **TEKISLIKDA VA FAZOVIY KUCHLAR SISTEMASI**

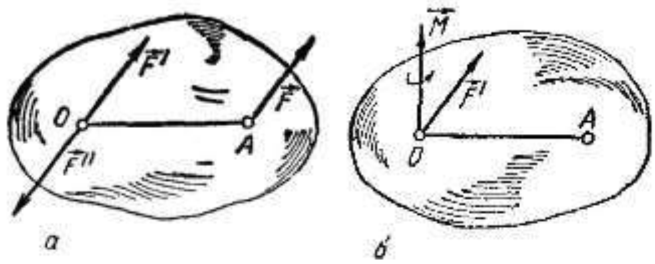
**Reja:**

*1*. Kuchning bosh momentini keltirish markaziga bog'liqligi;
2. Statikaning invariantlari;
3. Fazoviy kuchlar sistemasini sodda holga keltirishning xususiy hollari. Varinon teoremasi;
4. Dinamik vint. Markaziy o'q tenglamasi.

**Tayanch iboralar**: Kuchning bosh momenti, keltirish markazi, statikaning invariantlari, Fazoviy kuchlar Varinon teoremasi. Dinamik vint. Markaziy o'q tenglamasi.

Kuchning bosh momentini keltirish markaziga bog'liqligi

Fazodagi kuchlar sistemasini bir nuqtaga keltirish uchun (xuddi tekislikdagi kuchlar sistemasi kabi) Puanso usulidan foydalanish mumkin.



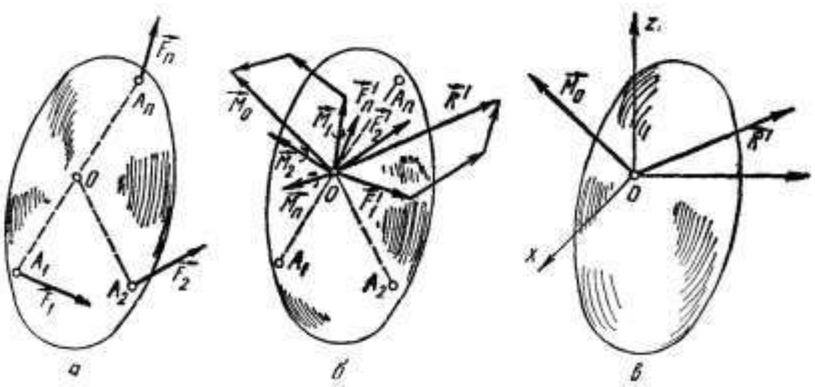

$$\vec{M} = \vec{M}_0(\vec{F})$$

Jismning $A_1$, $A_2$..., $A_n$ nuqtalariga fazoda ixtiyoriy yo'nalgan $F_1$, $F_2$ ... $F_n$ kuchlar ta'sir etsin. Keltirish markazi uchun ixtiyoriy $O$ nuqtani tanlab, barcha kuchlarni shu markazga qo'yilgan juftlari bilan keltiramiz. Natijada $O$ nuqtaga qo'yilgan $F_1 = F_1$, $F_2 = F_2$, $F_n = F_n$ kuchlar sistemasi va momentlari

$$\vec{M}_1 = \vec{M}_0(\vec{F}_1), \quad \vec{M}_2 = \vec{M}_0(\vec{F}_2), \quad ..., \quad \vec{M}_1 = \vec{M}_0(\vec{F}_1),$$

bo'lgan qo'shilgan juftlar sistemasi hosil bo'ladi.

Barcha kuchlarning geometrik yig'indisiga teng $R$' kattalikka fazodagi kuchlar sistemasining bosh vektori deyiladi.




$$\vec{R}' = \sum \vec{F}_v$$

Fazodagi kuchlar sistemasining biror markazga nisbatan bosh momenti $M_0$ tashkil etuvchi kuchlarning shu markazga nisbatan momentlarining geometrik yig'indisiga teng.

$$\vec{M}_o = \sum \vec{M}_o(\vec{F})$$

Fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini biror $O$ markazga keltirish natijasida bu kuchlar sistemasi keltirish markaziga qo'yilgan bosh vektor $R'$ ga teng bitta kuch bilan momenti $M_0$ ga teng bitta juftga ekvivalent bo'ladi.

Statikaning invariantlari

*Berilgan kuchlar sistemasining invarianti deb, keltirish markazi o'zgarganda o'zgarmay qoluvchi kattaliklarga aytiladi.*

Kuchlar sistemasining bosh vektori yangi keltirish markaziga nisbatan o'zgarmay qoladi. Yuqorida keltirilgan ta'rifga asosan kuchlarning bosh vektori invariant kattalik bo'lib, uni $J_1$ bilan belgilaymiz, ya'ni:

$$J_1 = F_0^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2.$$

Statikaning ikkinchi invariantini aniqlash uchun (5.4) formulaning har ikkala tomoniga $\vec{F}$ bosh vektorni skalyar ko'paytiramiz:

$$\vec{M}_{01} \cdot \vec{F} = \vec{M}_0 \cdot \vec{F} - (\overrightarrow{OO_1} \times \vec{F}) \cdot \vec{F}\ .$$

U holda bu tenglikdagi ikki vektorning aralash ko'paytmasi nolga teng ekanligini hisobga olsak:

$$\vec{M}_{01} \cdot \vec{F} = \vec{M}_0 \cdot F$$

ya'ni bosh momentning bosh vektorga skalyar ko'paytmasi keltirish markazini tanlab olishga bog'liq bo'lmaydi, boshqacha aytganda keltirish markaziga nisbatan invariant kattalik bo'ladi va (6.2) skalyar ko'paytmasini $J_2$ bilan belgilaymiz:

$$J_2 = \vec{M}_0 \cdot \vec{F} = M_{0x} \cdot F_x + M_{0y} \cdot F_y + M_{0z} \cdot F_z .$$

Demak, *statikaning ikkinchi invarianti bosh moment vektori bilan bosh vektorning skalyar ko'paytmasiga teng*.

(2) tenglikni quyidagicha yozish mukin:

$$M_{01} \cdot F_0 \cdot \cos(\vec{M}_{01}, \vec{F}_0) = M_0 \cdot F_0 \cdot \cos(\vec{M}_0, \vec{F}_0) .$$

Agar $F_0 \neq 0$ ekanligini hisobga olsak,

$$M_{01} \cdot \cos(\vec{M}_{01}, \vec{F}_0) = M_0 \cdot \cos(\vec{M}_0, \vec{F}_0) ,$$

ya'ni, *keltirish markazi o'zgartirilganda, bosh momentning bosh vektor yo'nalishiga proyeksiyasi o'zgarmaydi.* U holda bosh moment bilan bosh vektor bir to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan bo'lib, keltirish markazida bosh momentning moduli eng kichik qiymatga ega bo'ladi. Boshqacha aytganda bosh momentning qiymati uning bosh vektor yo'nalishiga proyeksiyasining qiymatiga teng bo'ladi.

Bosh momentning bosh vektor yo'nalishiga proyeksiyasining qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

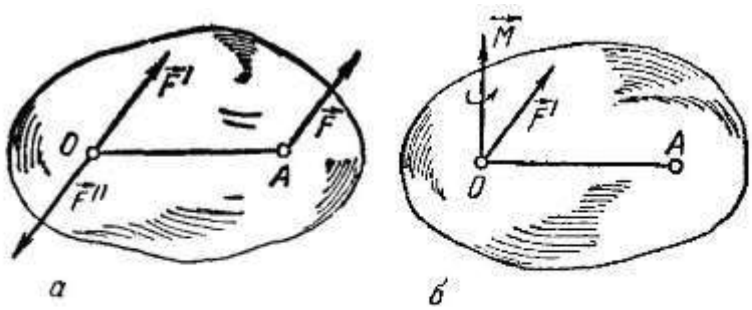
$$M^* = (\vec{M}_0 \cdot \vec{F}_0) / F_0 ,$$

yoki statikaning birinchi va ikkinchi invariantlarini hisobga olsak:

$$M^* = J_2 / \sqrt{J_1} . \qquad (4)$$

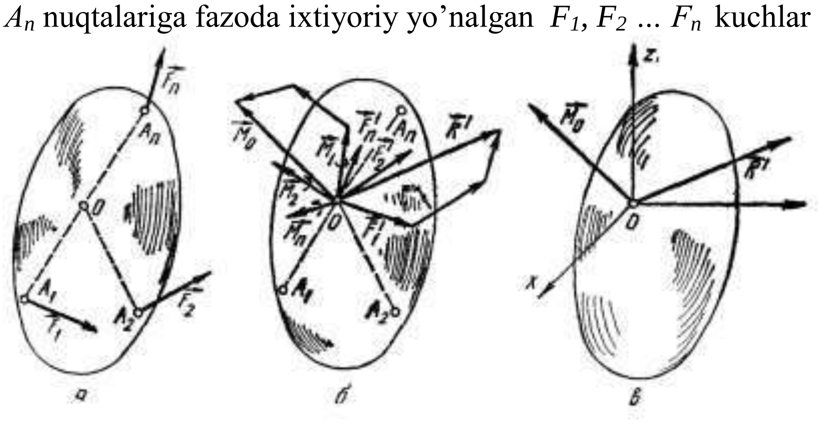
Fazoviy kuchlar sistemasini sodda holga keltirishning xususiy hollari. Varinon teoremasi

Fazodagi kuchlar sistemasini bir nuqtaga keltirish uchun (xuddi tekislikdagi kuchlar sistemasi kabi) Puanso usulidan foydalanish mumkin.




$$\vec{M} = \vec{M}_0(\vec{F})$$

Jismning $A_1, A_2..., A_n$ nuqtalariga fazoda ixtiyoriy yo'nalgan $F_1, F_2 ... F_n$ kuchlar ta'sir etsin.




$$\vec{R}' = \sum \vec{F}_\nu$$

Keltirish markazi uchun ixtiyoriy *O* nuqtani tanlab, barcha kuchlarni shu markazga qo'yilgan juftlari bilan keltiramiz. Natijada *O* nuqtaga qo'yilgan $F_1 = F_1$, $F_2 = F_2$, $F_n = F_n$ kuchlar sistemasi va momentlari

$$\vec{M}_1 = \vec{M}_0(\vec{F}_1), \quad \vec{M}_2 = \vec{M}_0(\vec{F}_2), \quad ..., \quad \vec{M}_1 = \vec{M}_0(\vec{F}_1),$$

bo'lgan qo'shilgan juftlar sistemasi hosil bo'ladi.

Barcha kuchlarning geometrik yig'indisiga teng *R*' kattalikka fazodagi kuchlar sistemasining bosh vektori deyiladi.

Fazodagi kuchlar sistemasining biror markazga nisbatan bosh momenti $M_0$ tashkil etuvchi kuchlarning shu markazga nisbatan momentlarining geometrik yig'indisiga teng.

$$\vec{M}_o = \sum \vec{M}_o(\vec{F})$$

Fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini biror *O* markazga keltirish natijasida bu kuchlar sistemasi keltirish markaziga qo'yilgan bosh vektor *R'* ga teng bitta kuch bilan momenti $M_0$ ga teng bitta juftga ekvivalent bo'ladi.

Aytaylik, kuchlar sistemasini teng ta'sir etuvchiga keltirish mumkin bo'lsin. U holda quyidagi teorema o'rinli bo'ladi.

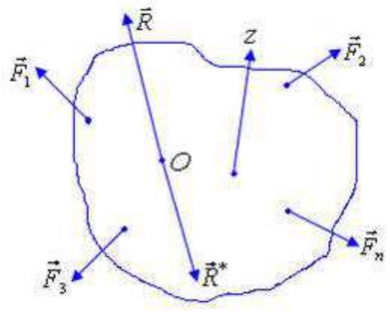
*Varin'on teoremasi*: *Kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisidan biror markazga nisbatan olingan moment, shu barcha kuchlardan mazkur markazga nisbatan olingan momentlarning geometrik yig'indisiga teng, ya'ni*

$$\vec{m}_0(\vec{R}) = \sum_{k=1}^{n} \vec{m}_0(\vec{F}_k) \ . \qquad (7)$$

*Isbot.* Aytaylik, qattiq jismga ixtiyoriy $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_n)$ kuchlar sistemasi qo'yilgan bo'lsin va kuchlar sistemasini bitta teng ta'sir etuvchiga keltirish mumkin bo'lsin, ya'ni

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_n) \sim \vec{R} \ . \qquad (6.8)$$

Bu kuchlar sistemasiga ularning teng ta'sir etuvchisining $\vec{R}$ yo'nalishi qarama qarshi tomonga yo'nalgan va miqdor jihatdan teng bo'lgan $\vec{R}^*$ kuchni qo'shamiz (1.46-shakl). U holda




$$(\vec{F}_1, \vec{F}_3, ..., \vec{F}_n \ ; \ \vec{R}^*) \sim (\vec{R}, \vec{R}^*) \sim 0, \qquad (9)$$

muvozanatlashtiruvchi kuchning ta'rifiga asosan bu kuch jismga qo'yilganda, yangi hosil bo'lgan kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi kerak. Shuning uchun, bu kuchlardan ixtiyoriy nuqtaga nisbatan olingan moment yig'indisi ham nolga teng bo'lishi kerak:

$$\sum_{k=1}^{n} \vec{m}_0(\vec{F}_k) + \vec{m}_0(\vec{R}^*) = 0 \, ,$$

va

$$\vec{m}_0(\vec{R}^*) + \vec{m}_0(\vec{R}) = 0 \quad \text{yoki} \quad \vec{m}_0(\vec{R}^*) = -\vec{m}_0(\vec{R}) \, .$$

Bu ifodani yuqoridagi tenglamaga qo'ysak:

$$\sum_{k=1}^{n} \vec{m}_0(\vec{F}_k) - \vec{m}_0(\vec{R}) = 0 \quad \text{yoki} \quad \vec{m}_0(\vec{R}) = \sum_{k=1}^{n} \vec{m}_0(\vec{F}_k). \, ,$$

ya'ni teoremani o'rinli ekanligini isbotlaydi.

Agar (6.7) tenglikning har ikkala tomonini $Oz$ o'qiga proyeksiyalasak, u holda Varin'on teoremasini *z* o'qidagi proyeksiyasini olamiz:

$$\vec{m}_z(\vec{R}) = \sum_{k=1}^{n} \vec{m}_z(\vec{F}_k) \, , \qquad (10)$$

ya'ni, *kuchlarning teng ta'sir etuvchisidan biror o'qqa nisbatan olingan moment, shu kuchlardan mazkur o'qqa nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng.*

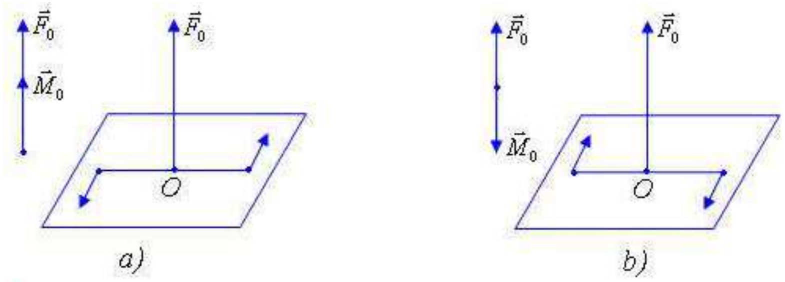
Agar berilgan kuchlar sistemasi biror tekislikda yotsa, u holda bunday kuchlar sistemasi uchun Varin'on teoremasini quyidagicha yozish mumkin:

$$m_0(\vec{R}) = \sum_{k=1}^{n} m_0(\vec{F}_k)\,, \qquad (11)$$

ya'ni, *tekislikdagi kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisidan biror markazga nisbatan olingan moment, shu kuchlardan mazkur nuqtaga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng*.

Dinamik vint. Markaziy o’q tenglamasi

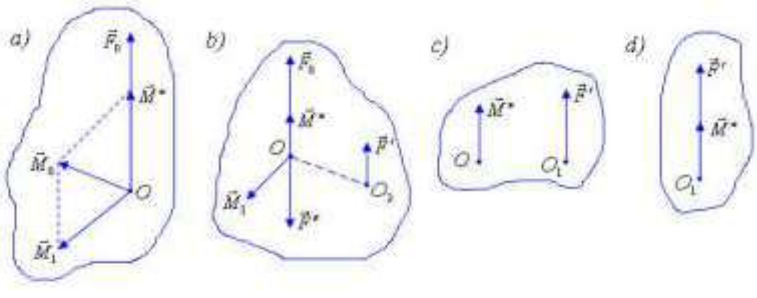
Agar bosh vektor va bosh moment o'zaro kollinear bo'lsa, u holda ularni *dinamik vint* yoki *dinama* deb ataladi. Demak, berilgan kuchlar sistemasi dinamik vintni tashkil qilishi uchun bu kuchlarning bosh momentining tashkil etuvchilari bosh vektorga perpendikulyar bo'lishi kerak. Agar juft kuch jismni soat millariga qarama-qarshi tomonga aylantirilsa, *o'ng vint* (1.42, *a*-shakl), aks holda *chap vint* deb ataladi. (1.42, *b*-shakl).



Endi, berilgan kuchlar sistemasi qanday hollarda dinamik vintga keltiriladi degan savolga javob berishi uchun quyidagi teoremani isbotlaymiz.

*Teorema. Agar berilgan kuchlar sistemasi uchun statikaning ikkinchi invarianti noldan farqli bo'lsa, u holda kuchlar sistemasini dinamik vintga keltirish mumkin.*

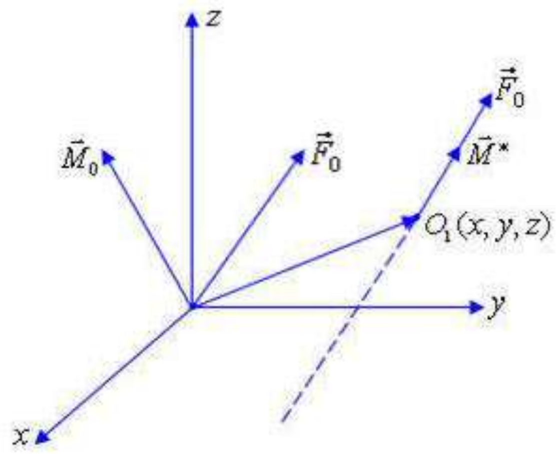
*Isbot.* Aytaylik, qattiq jismga $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots, \vec{F}_n$ kuchlar sistemasi qo'yilgan bo'lsin. Statikaning asosiy teoremasiga asosan bu kuchlar uchun ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots, \vec{F}_n$ ) ~ ( $\vec{F}_0, \vec{M}_0$ ) shart o'rinli bo'ladi. Teoremaning shartiga asosan statikaning ikkinchi invarianti $J_2 = \vec{M}_0 \cdot \vec{F}_0 \neq 0$, ya'ni $\vec{F}_0$ bosh vektor bilan $\vec{M}_0$ bosh moment o'zaro perpendikulyar emas. (1.43, *a*-shakl). $\vec{M}_0$ bosh momentni tashkil etuvchilaridan biri bosh vektor bo'ylab va ikkinchi tashkil etuvchisi bosh vektorga perpendikulyar yo'nalgan ikkita tashkil etuvchilarga ajratamiz, ya'ni $\vec{M}_0 = \vec{M}_1 + \vec{M}^*$. So'ngra bosh vektor bo'ylab yo'nalgan $\vec{M}^*$ momentni $F_0 = F' = F''$ shartni qanoatlantiruvchi va ulardan biri *0* nuqtadan o'tib bosh vektorga qarama-qarshi tomonga yo'nalgan $(\vec{F}', \vec{F}'')$ juftga keltiramiz. (1.43, *b*-shakl). U holda $(\vec{F}_0, \vec{F}'') \sim 0$ bo'ladi va ularni tashlab yuborish mumkin. $\vec{M}^*$ moment erkin vektor ekanligidan foydalanib, uni $O_1$ nuqtaga keltiramiz. (1.43, *c*, *d*-shakllar). Natijada *0* nuqtaga qo'yilgan $\vec{F}_0$ va $\vec{M}_0$ bosh momentni $O_1$ nuqtaga qo'yilgan $\vec{F}_0 = \vec{F}'$ va $\vec{M}^*$ kuchlardan iborat dinamik vint hosil qilindi.



(2) tenglikka asosan kuchlar sistemasi $J_2$>0 bo'lsa o'ng dinamik vintga va $J_2$<0 bo'lsa chap dinamik vintga keltiriladi.

Kuchlar sistemasi dinamik vintga keltirilgan $O_1$ nuqta yagona emas. Haqiqatdan bosh vektor sirpanuvchi vektor, bosh moment esa erkin vektor ekanligidan foydalanib, ularni $O_1$ nuqtadan o'tuvchi va $F' = \vec{F}_0$ bo'ylab yo'nalgan to'g'ri chiziqda yotuvchi barcha nuqtalarda kuchlar sistemasini dinamik vintga keltirish mumkin. Bu to'g'ri chiziq kuchlar sistemasining *markaziy o'qi* deb ataladi. Shu markaziy o'q tenglamasini ko'rinishini aniqlaymiz.

Aytaylik, $O_1$ - markaziy o'q nuqtasi bo'lsin (4-shakl). U holda bosh vektor va bosh moment bu nuqtadan o'tib, o'zaro kollenear bo'ladi.




(14) formulaga asosan $O_1$ nuqtadan o'tuvchi bosh momentni quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{M}^* = \vec{M}_0 - \overrightarrow{OO_1} \times \vec{F}_0. \qquad (5)$$

U holda $\vec{M}^*$ va $\vec{F}_0$ vektorlarning kollenearlik shartidan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\rho\vec{F}_0 = \vec{M}^*,$$

bunda $\rho$ - vint parametri bo'lib, uzunlik birligi bilan o'lchanadi. Agar bosh vektor va bosh momentning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarini mos holda $F_x, F_y$, $F_z$ va $M_{Ox}, M_{Oy}, M_{Oz}$ bilan belgilasak, ya'ni:

$$\vec{F}_0 = F_x\vec{i} + F_y\vec{j} + F_z\vec{k},$$

$$\vec{M}_0 = M_{Ox}\vec{i} + M_{Oy}\vec{j} + M_{Oz}\vec{k}.$$

Bu kattaliklarni (4.20) tenglikka qo'yamiz:

$$\rho \cdot F_x\vec{i} + F_y\vec{j} + F_z\vec{k} = M_{Ox}\vec{i} + M_{Oy}\vec{j} + M_{Oz}\vec{k} - \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x & y & z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \left[M_{ox} - (y \cdot F_z - z \cdot F_y)\right] \cdot \vec{i} +$$

$$+\left[M_{Oy} - (z \cdot F_x - x \cdot F_z)\right] \cdot \vec{j} + \left[M_{Oz} - (x \cdot F_y - y \cdot F_z)\right] \cdot \vec{k}.$$

$\vec{i}, \vec{j}$ va $\vec{k}$ birlik vektorlar oldidagi koeffitsiyentlarni o'zaro tenglashtirsak:

$$\rho \cdot F_x = M_{Ox} - (y \cdot F_z - z \cdot F_y),$$

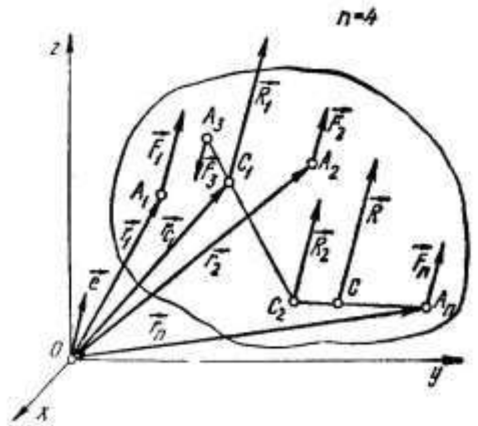
$$\rho \cdot F_y = M_{Oy} - (z \cdot F_x - x \cdot F_z),$$

$$\rho \cdot F_z = M_{Oz} - (x \cdot F_y - y \cdot F_x),$$

yoki

$$\frac{M_{Ox} - (y \cdot F_z - z \cdot F_y)}{F_x} = \frac{M_{Oy} - (z \cdot F_x - x \cdot F_z)}{F_y} = \frac{M_{Oz} - (x \cdot F_y - y \cdot F_x)}{F_z}. \qquad (6)$$

(6.6) tenglama *markaziy o'q tenglamasini* bildiradi.




Parallel kuchlarning teng ta’sir etuvchisini aniqlash. Parallel kuchlar markazi

Jismga *(F*$_1$*, F*$_2$*, ... , F*$_n$*)* parallel kuchlar sistemasi ta’sir etsin. Kuchlarning qo’yilgan nuqtalarini mos ravishda *A*$_1$*, A*$_2$*, ... , A*$_n$ va *Oxyz* koordinatalar sistemasiga nisbatan bu nuqtalarning radius-vektorlarini *r*$_1$,

$r_2, \ldots, r_n$ bilan belgilaymiz. Mazkur kuchlarning teng ta'sir etuvchisini va uning qo'yilgan nuqtasini aniqlaymiz.

Avvalo $F_1$ va $F_2$ kuchlarni qo'shamiz va ularning teng ta'sir etuvchisini $R_1$ bilan belgilaymiz.

$$\vec{R}_1 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \tag{1}$$

$F_1$ va $F_2$ orasida qo'yidagi munosabat o'rinli:

$$\frac{F_1}{C_1A_2} = \frac{F_2}{A_1C_1} \qquad \textit{ёки} \qquad \frac{A_1C_1}{F_2} = \frac{C_1A_2}{F_1} \tag{2}$$

Agar $R_1$ qo'yilgan $S_1$ nuqtaning radius-vektorini $r_{C_1}$ bilan belgilasak, u holda quyidagini olamiz:

$$\overline{A_1C_1} = \vec{r}_{c_1} - \vec{r}_1, \qquad \overline{C_1A_2} = \vec{r}_1 - r_{c_1} \tag{3}$$

(3) ni (2) ga qo'yib, $r_{C_1}$ ni aniqlaymiz:

$$\overrightarrow{r_{C_1}} = \frac{F_1 \cdot \overrightarrow{r_1} + F_2 \cdot \overrightarrow{r_2}}{F_1 + F_2} \tag{4}$$

(1) tenglikni nazarda tutib, $R_1$ va $F_3$ kuchlarni qo'shamiz.

$$R_2 = R_1 - F_3 = F_1 + F_2 + F_3 = \sum_{\nu=1}^{3} F_\nu,$$

$$\frac{R_1 \cdot \overrightarrow{r_{C_1}} + F_3 \cdot \overrightarrow{r_3}}{R_1 + F_3} = \frac{F_1 \cdot \overrightarrow{r_1} + F_2 \cdot \overrightarrow{r_2} + F_3 \cdot \overrightarrow{r_3}}{F_1 + F_2 + F_3} = \frac{\sum_{\nu=1}^{3} F_\nu r_\nu}{\sum_{\nu=1}^{3} F_\nu}$$

Xuddi shuningdek, $p$ ta parallel kuchlarni qo'shish natijasida $S$ nuqtaga qo'yilgan bitta teng ta'sir etuvchi $R$ kuchni olamiz:

$$R = \sum_{\nu=1}^{\text{ï}} F_\nu, \qquad \overrightarrow{r_{\text{Ñ}}} = \frac{\sum_{\nu=1}^{\text{ï}} F_\nu r_\nu}{\sum_{\nu=1}^{\text{ï}} F_\nu} \tag{5}$$

(5) formula yordamida aniqlanadigan $S$ nuqta *parallel kuchlar markazi* deyiladi.

Parallel kuchlar markazining koordinatalarini $x_C$, $y_C$, $z_C$; $F_\nu$ kuch qo'yilgan nuqtaning koordinatalarini $x_\nu$, $y_\nu$, $z_\nu$ bilan belgilasak, (5) dan parallel kuchlar markazining koordinatalari aniqlanadigan quyidagi munosabatlarni olamiz:

$$x_C = \frac{\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu x_\nu}{\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu}, \qquad y_C = \frac{\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu y_\nu}{\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu}, \qquad z_C = \frac{\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu z_\nu}{\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu} \tag{6}$$

(5) dagi $\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu \vec{r}_C$ kattalik berilgan *kuchlar sistemasining S markazga nisbatan statik momenti* deyiladi.

(6) dagi $\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu x_\nu$, $\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu y_\nu$, $\sum_{\nu=1}^{n} F_\nu z_\nu$, kattaliklar berilgan *kuchlar sistemasining* mos ravishda *yOz*, *xOz* va *xOy tekisliklarga nisbatan statik momentlari* deyiladi.

Jismning og'irlik markazini aniqlash

Istalgan qattiq jismni juda kichik zarrachalardan tashkil topgan deb qarash mumkin. Bunday zarrachalarning har biriga vertikal pastga yo'nalgan $R_1$, $R_2$, … yerga tortilish kuchlari (og'irlik kuchi) ta'sir etadi. Jism barcha zarralari og'irlik kuchlarining teng ta'sir etuvchisi $R = \sum R_\nu$ *jismning og'irlik kuchi* deyiladi hamda bu parallel kuchlarning markazi mazkur *jismning og'irlik markazi* deyiladi.

Jism og'irlik markazining radius-vektori (5), koordinatalari (6) formulalari asosida aniqlanadi:

$$\overrightarrow{r_C}=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}P_\nu r_\nu}{P},$$

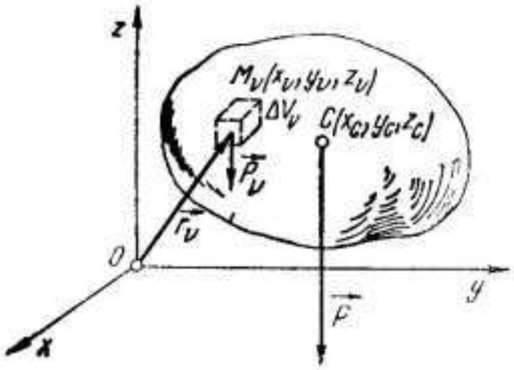
$$x_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}P_\nu x_\nu}{P},\qquad y_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}P_\nu y_\nu}{P},\qquad z_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}P_\nu z_\nu}{P}. \tag{7}$$

Bunda $r_\nu\ (x_\nu,\ y_\nu,\ z_\nu)\,\nu$ - zarrachaning radius-vektori; $r_s\ (x_s,\ y_s,\ z_s)$ - jism og'irlik markazining radius-vektori.

Jismning og'irlik markazi geometrik nuqtadan iborat bo'lib, ba'zida bu nuqta jismga taalluqli bo'lmasligi ham mumkin.

Agar jism bir jinsli bo'lsa, og'irlik markazi uning qanday materialdan tashkil topganiga bog'lik bo'lmay, faqat geometrik shakliga bog'lik bo'ladi.

Og'irligi $R$ ga teng jism $V$ hajmga ega bo'lsin.




Agar birlik hajmga to'g'ri kelgan og'irlikni $\gamma$ bilan belgilasak, bir jinsli jism uchun $\gamma = const$ bo'ladi hamda jism $\gamma$ bo'lakchasining og'irligi

$$R_\nu = \gamma\cdot \Delta V_\nu \tag{8}$$

(8) ni (7) ga qo'yib, hajmga ega bo'lgan jism og'irlik markazining radius-vektori va koordinatalarini aniqlaymiz:

$$\overrightarrow{r_C}=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\gamma\Delta V_\nu\cdot\vec{r}_\nu}{\sum_{\nu=1}^{n}\gamma\Delta V_\nu}=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta V_\nu}{V}. \tag{9}$$

$$x_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta V_\nu x_\nu}{V},\qquad y_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta V_\nu y_\nu}{V},\qquad z_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta V_\nu z_\nu}{V}, \tag{10}$$

bunda $V = \sum\Delta V_\nu$ butun jism hajmini ifodalaydi.

Xuddi shuningdek, ixtiyoriy sirtga ega bo'lgan plastinkaning og'irlik markazini aniqlash uchun quyidagi formula o'rinli bo'ladi.

$$\overrightarrow{r_C}=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta S_\nu\vec{r}_\nu}{S}. \tag{11}$$

$$x_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta S_\nu x_\nu}{S},\qquad y_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta S_\nu y_\nu}{S},\qquad z_C=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta S_\nu z_\nu}{S}. \tag{12}$$

Bunda S – plastinka sirtining yuzasi, $x, y, z$ esa $dS$ elementar yuzaning koordinatalari.

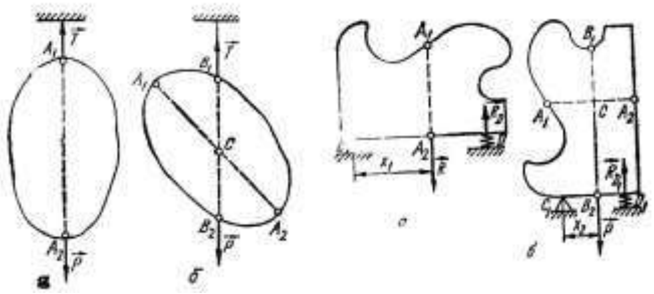
Chiziqning og'irlik markazi quyidagicha aniqlanadi:

$$\overrightarrow{r_C}=\frac{\sum_{\nu=1}^{n}\Delta l_\nu\cdot\vec{r}_\nu}{L}. \tag{13}$$

$$x_C = \frac{\sum\limits_{\nu=1}^{n} \Delta l_\nu x_\nu}{L}, \qquad y_C = \frac{\sum\limits_{\nu=1}^{n} \Delta l_\nu y_\nu}{L}, \qquad z_C = \frac{\sum\limits_{\nu=1}^{n} \Delta l_\nu z_\nu}{L}, \qquad (14)$$

bunda $l$ – chiziqning o'zunligi; $x, y, z$ esa $dl$ bo'lakcha koordinatalari.
Oddiy shaklli ba'zi bir jinsli jismlarning og'irlik markazini aniqlash
Jismning og'irlik markazini topishning quyidagi usullari mavjud:

1.Simmetriya usuli;
2. Bo'laklarga ajratish usuli;
3. Manfiy yuza usuli;
4.Tajriba usuli.

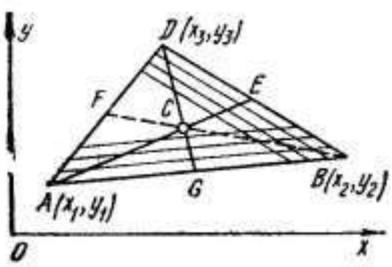


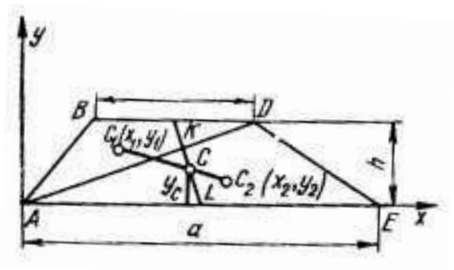
*Uchburchak yuzasining og'irlik markazi.* AVD uchburchakni AV tomonga parallel bo'lgan kichik bo'laklarga ajratamiz. Bu bo'laklar har birining og'irlik markazi uning o'rtasida yotadi, ya'ni uchburchakning og'irlik markazi DG medianada yotadi. Binobarin, uchburchak yuzasining og'irlik markazi uning medianalari kesishgan S nuqtada yotadi.

S nuqtaning koordinatalari analitik geometriyada chiqarilgan

$$x_s = ½( x_{1}+ x_{2}+ x_3 ),$$
$$y_s = ½( y_{1}+ y_{2}+ y_3 ) \qquad (15)$$

formulaga binoan aniqlanadi.




*Trapesiyasining og'irlik markazi.* Trapesiyaning og'irlik markazi ABD va ADE uchburchaklar og'irlik markazlarini tutashtiruvchi chiziq bilan BD va AE asoslarning o'rtalarini tutashtiruvchi KL chiziqlarning kesishgan S nuqtasida yotadi.

ABD va ADE uchburchaklar uchun

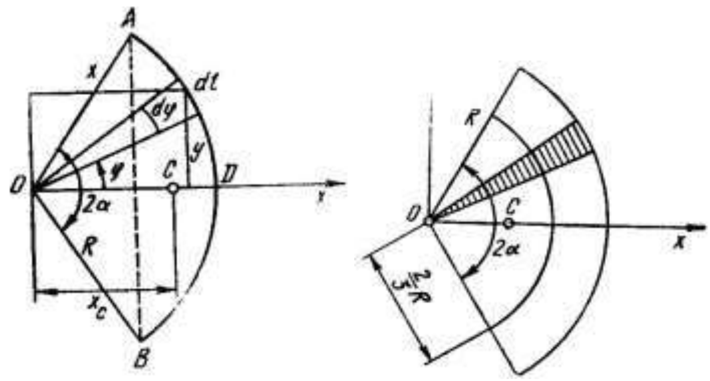
$$y_1 = \frac{2}{3}h, \;\; S_1 = \frac{b \cdot h}{2}, \;\; y_2 = \frac{1}{3}h, \;\; S_2 = \frac{a \cdot h}{2}$$

ekanligini e'tiborga olib, quyidagini yozamiz:

$$y_c = \frac{y_1 S_1 + y_2 S_2}{S_1 + S_2} = \frac{h(a+2b)}{3(a+b)}.$$

*Aylana yoyining og'irlik markazi.* Radiusi R, markaziy burchagi 2α ga teng ADB aylana yoyining og'irlik markazini aniqlaymiz.

$$x_c = \frac{R \sin\alpha}{\alpha}.$$




Xususiy holda yarim aylana uchun $\alpha = \pi/2$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$x_c = \frac{2R}{\pi} = 0{,}637\,R.$$

*Doira sektori yuzasining og'irlik markazi.* Radiusi R, markaziy burchagi $2\alpha$ ga teng doira sektori yuzasining og'irlik markazi quyidagi tenglikdan aniqlanadi.

$$x_c = \frac{2}{3}\frac{R\sin\alpha}{\alpha}.$$

Xususiy holda yarim doira uchun $\alpha = \pi/2$ ekanligini nazarda tutsak,

$$x_c = \frac{4}{3\pi}R = 0{,}424\,R.$$

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Kuchning bosh momentini keltirish markaziga bog'liqligini tushuntiring.
2. Statikaning invariantlari nima?
3. Fazoviy kuchlar sistemasini sodda holga keltirishning xususiy hollari nimalar kiradi?
4. Varinon teoremasi ta'rifini bering.
5. Dinamik vint nima?
6. Markaziy o'q tenglamasini tushuntiring.
7. Parallel kuchlar markazi qanday aniqlanadi?
8. Jismning og'irlik markazini qanday aniqlanadi?
9. Og'irlik markazini aniqlash usullari nimalardan iborat?
10. Uchburchak yuzasini aniqlash fomulalarini keltiring.
11. Trapesiyaning og'irlik markazi qanday aniqlanadi?

Mavzu: **KINEMATIKANING ASOSIY TUSHUNCHALARI**

**Reja:**

1. Nuqta kinematikasi;
2. Nuqta harakatlarining berilish usullari;
3. Harakat vektor, koordinata usulida, tabiiy usulda berilgan nuqtaning tezligi, harakati vektor usulida koordinatalari usulida, tabiiy usulda berilgan nuqtaning tezlaniishi.

**Tayanch iboralar**: Sanoq sistemasi, nuqtaning trayektoriyasi, to'g'ri chiziqli harakat, egri chiziqli harakat, nuqtaning harakat qonuni, nuqtaning tezligi, nuqtaning tezlanishi.

Nazariy mexanikaning kinematika bo'limida nuqta va absolyut qattiq jismning mexanik harakati faqat geometrik nuqtai nazardan, ya'ni ularning massalari va ta'sir etuvchi kuchlarga bog'liksiz ravishda o'rganiladi.

Jismning mexanik harakati boshqa biror jism bilan biriktirilgan va *sanoq sistemasi* deb ataladigan koordinatalar sistemasiga nisbatan tekshiriladi.

Nazariy mexanikada o'zunlik birligi sifatida SI sistemasida (m), burchak koordinatalari birligi uchun radian (rad) qabul qilingan.

Tanlab olingan sanoq sistemasiga nisbatan nuqtaning harakatini o'rganish uning shu sistemaga nisbatan biror vaqt oralig'idagi trayektoriyasini va har ondagi tezlik va tezlanishini aniqlash masalasidan iborat.

Nuqta harakatlanganda uning berilgan sanoq sistemasiga nisbatan chizgan o'zoo'qsiz chizig'i *nuqtaning trayektoriyasi* deyiladi. Agar nuqta trayektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lsa, uning harakati *to'g'ri chiziqli harakat*, trayektoriyasi egri chiziq bo'lsa, *egri chiziqli harakat* deyiladi.

Nuqtaning harakati va ko'chishi tushunchalarini bir-biridan farq qilish kerak. Nuqtaning ko'chishi uning boshlang'ich va oxirgi holatlari hamda vaqt oralig'i bilan aniqlanadi, bunda nuqtaning avvalgi holatdan kyoyingi holatga qanday usul bilan o'tishii e'tiborga olinmaydi.

Nuqta kinematikasida quyidagi ikki asosiy masala ko'riladi:

Berilgan sanoq sistemasiga nisbatan nuqtaning harakatini matematik usulda aniqlash;

Nuqtaning berilgan harakat qonuniga ko'ra mazkur harakatning barcha kinematik xarakteristikalari (trayektoriya, tezlik va tezlanish va hokazolar) ni aniqlash.

Vektorning skalyar argument bo'yicha hosilasi

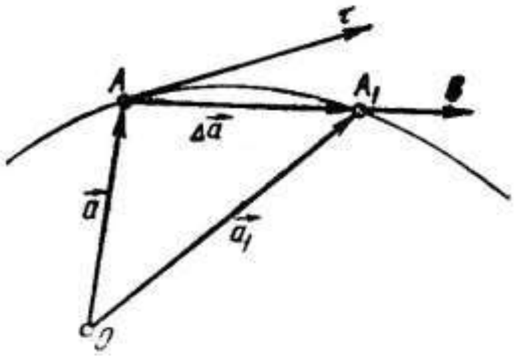
Skalyar argument $t$ ning funksiyasidan iborat bo'lgan hamda miqdor va yo'nalish jihatdan o'zgaruvchi $a$ vektor berilgan bo'lsin:

$$\vec{a} = \vec{a}(t)$$

bunda $a$ vektorni $t$ argumentning uzluksiz va bir qiymatli funksiyasi deb qaraymiz.

O'zgaruvchi $a$ vektor argumentining bir-biriga yaqin $t$ va $t+\Delta t$ ga mos keluvchi qiymatlarini $\vec{a} = \vec{a}(t)$ va $\vec{a}_1 = \vec{a}(t+\Delta t)$ bilan belgilaylik $a$ va $a_1$ vektorlarning uchlarini tutashtirib, quyidagi munosabatni yozamiz:

$$\vec{a}_1 = \vec{a} + \Delta\vec{a} \qquad \text{ёки} \qquad \Delta\vec{a} = \vec{a}_1 - \vec{a}$$




Bunda $\Delta a$ vektor $a$ vektorning argument $\Delta t$ ga o'zgargandagi orttirmasini ifodalaydi. $\Delta a/\Delta t$ nisbatning $\Delta t$ nolga intilgandagi limiti $a$ vektorning $t$ skalyar argument bo'yicha hosilasi deyiladi.

$$\frac{d\vec{a}}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{a}}{\Delta t}$$

*Δa/Δt* vektorning yo'nalishini aniqlaymiz. *Δt* musbat skalyar kattalik bo'lgani uchun *Δa/Δt* vektori *Δa* bo'yicha, ya'ni godografning *AV* keluvchisi bo'ylab yo'naladi. *Δt* nolga intilgan limit holatida kesuvchi *A* nuqtada godografga o'tkazilgan $A\tau$ urinma bo'ylab yo'naladi.

Demak, vektorning skalyar argument bo'yicha hosilasi mazkur vektorning godografiga o'tkazilgan urinma bo'yicha yo'nalgan vektor bilan ifodalanadi.

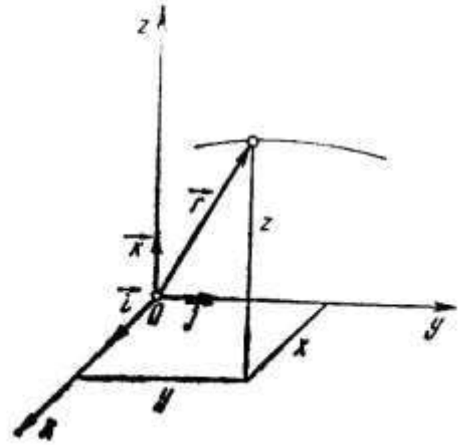
Nuqta harakatining berilish usullari

Nuqtaning biror sanoq sistemasiga nisbatan istalgan vaqtdagi holatini aniqlash usuli ma'lum bo'lsa, uning harakati aniqlangan yoki berilgan deyiladi, nuqtaning harakatini aniqlovchi ifoda uning *harakat tenglamasi* yoki *harakat qonuni* deyiladi.

Nuqtaning harakati asosan quyidagi uch usulda aniqlanadi:

*Vektor usuli; 2. Koordinatalar usuli; 3. Tabiiy usul.*

Vektor usuli. M nuqta qo'zg'almas *0xuz* koordinatalar sistemasiga nisbatan harakatda bo'lsin.



*0* va *M* nuqtalarni tutashtirib, *M* nuqtaning *r=OM* radius-vektorini hosil qilamiz. *M* nuqta harakatlanganda vaqt o'tishi bilan uning radius-vektori *r* miqdor va yo'nalish jihatdan o'zgara boradi. Agar nuqtaning radius-vektori vaqt funksiyasi sifatida aniqlangan yoki berilgan bo'lsa, ya'ni

$$\vec{r} - \vec{r}(t)$$

ma'lum bo'lsa, nuqtaning fazodagi holati istalgan paytda aniq bo'ladi.

Bu tenglama nuqta harakatining vektor ko'rinishidagi kinematik tenglamasi deyiladi. Nuqta harakatining shu tarzda aniqlanishi (berilishi) uning *vetor usulda ifodalanishi* deyiladi.

2. Koordinatalar usuli. Nuqtaning holatini to'g'ri burchakli Dekart koordinatalar sistemasiga nisbatan aniqlaymiz. Harakatdagi *M* nuqtaning koordinatalarini *x, u, z* bilan belgilaymiz. Nuqta harakatlanganda vaqt o'tishi bilan uning koordinatalari o'zgara boradi, ya'ni *x, u, z* koordinatalar vaqtning bir qiymatli funksiyasidan iborat bo'ladi:

$$\left.\begin{aligned} x &= x(t), \\ y &= y(t), \\ z &= z(t) \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Agar yuqorida keltirilgan tenglamalar berilgan bo'lsa, nuqtaning istalgan paytdagi holatini aniqlash mumkin (4) funksional munosabatlar vositasida nuqtaning harakatini aniqlash uni *koordinatalar usulida ifodalash* deyiladi (4) ifodalar nuqta harakatining Dekart koordinatalaridagi kinematik tenglamalarini ifodalaydi.

3. Tabiiy usul.

Egri chiziqda sanoq boshi uchun olingan qo'zg'almas *0* nuqtaga nisbatan olingan *M* nuqtaning yoy koordinatasi *S* vaqtning o'tishi bilan turlicha o'zgarishi mumkin. Nuqtaning trayektoriyadagi holatini bir qiymatli aniqlash uchun yoy koordinatasining musbat va manfiy yo'nalishlarini (chizmada "+" va "-" ishora bilan) olamiz.

Agar trayektoriya tenglamasi hamda nunkta yoy koordinatasining vaqt o'tishi bilan o'zgarishini ifodalaydigan

$$s=s(t) \qquad (5)$$

munosabat ma’lum bo’lsa, nuqtaning harakatini to’liq aniqlash mumkin. Bunda vaqtning bir qiymatli, uzluksiz va differensillanuvchi funksiyasidan iborat.

(5) tenglama nuqtaning trayektoriya bo’ylab harakat qonunini ifodalaydi.

Nuqtaning harakatini $f_1(x,y,z)=0$, $f_2(x,y,z)=0$ va $s=s(t)$ tenglamalar vositasida aniqlash uning *tabiiy usulda aniqlanishi* deyiladi.

Shunday qilib, nuqtaning harakatini tabiiy usulda aniqlash uchun:

tanlangan koodinatalar sistemasiga nisbatan trayektoriya tenglamasi

trayektoriyada sanoq boshi uchun olingan qo’zg’almas *0* nuqta hamda yoy koordinatasining musbat va manfiy yo’nalishi

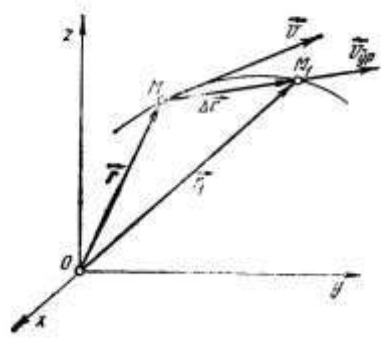
nuqtaning trayektoriya bo’ylab harakat qonunini ifodalovchi (5) tenglama berilgan bo’lishi kerak.

Tezlik va tezlanish

Nuqtaning tezligi

a. Harakati vektor usulida berilgan nuqtaning tezligi.

Nuqtaning harakati vektor usulda $\vec{r}=\vec{r}(t)$ tenglama bilan berilgan bo’lsin. Nuqtaning biror $t$ paytdagi trayektoriyada egallagan holatini $M$, radius-vektorini $r$, $t+\Delta t$ paytdagi holatini $M_1$ radius-vektorini $r_1$ bilan belgilaylik.



Nuqtaning $M$ va $M_1$ holatlarini tutashtiruvchi $MM_1=\Delta r$ vektor nuqtaning $\Delta t=t_1-t$ vaqt oralig’idagi *ko’chish vektori* deyiladi.

$$\vec{r}_1=\vec{r}+\Delta\vec{r}\Rightarrow\Delta\vec{r}=\vec{r}-\vec{r}$$

Ko’chish vektori $\Delta r$ ning shu ko’chish sodir bo’ladigan $\Delta t$ vaqtga nisbati nuqtaning mazkur vaqt oralig’idagi o’rtacha tezlik vektori deyiladi va $v_{ur}$ bilan belgilanadi:

$$\vec{v}_{yp}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Bundan $\Delta t$ musbat skalyar miqdor bo’lgani uchun o’rtacha tezlik vektori $\Delta r=MM_1$ vektor bo’yicha, ya’ni $M$ nuqtaning harakat yo’nalishida $MM_1$, kesishuvchi bo’ylab yo’naladi.

Nuqta o’rtacha tezlik vektorining $\Delta t$ nolga intilgandagi limiti nuqtaning berilgan ondagi tezlik vektori deyiladi va $v$ bilan belgilanadi.

$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\Rightarrow 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \qquad \text{ёки} \qquad \vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}$$

ya’ni nuqtaning tezlik vektori uning radius vektoridan vaqt bo’yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng.

b. Harakati koordinatlar usulida berilgan nuqtaning tezligi.

Nuqta harakati Dekart koordinatlarida (4) tenglamalar orqali berilgan bo’lsin. Nuqta tezligi vektorining koordinata o’qlaridagi proyeksiyalarini $v_x$, $v_y$,$v_z$ bilan belgilasak ushbu formulalarga ega ega bo’lamiz:

$$v_x=\frac{dx}{dt}=\dot{x},\ \ v_y=\frac{dy}{dt}=\dot{y},\ \ v_z=\frac{dz}{dt}=\dot{z}$$

Shunday qilib, nuqta tezligining biror qo’zg’almas Dekart koordinata o’qidagi proyeksiyasi harakatlanuvchi nuqtaning shu o’qqa mos koordinatasidan vaqt bo’yicha olingan birinchi hosilaga teng.

Nuqta tezligining koordinata o’qlaridagi proyeksiyalari ma’lum bo’lsa, uning moduli

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}=\sqrt{\dot{x}^2+\dot{y}^2+\dot{z}^2}$$

formuladan, yo’nalishi esa

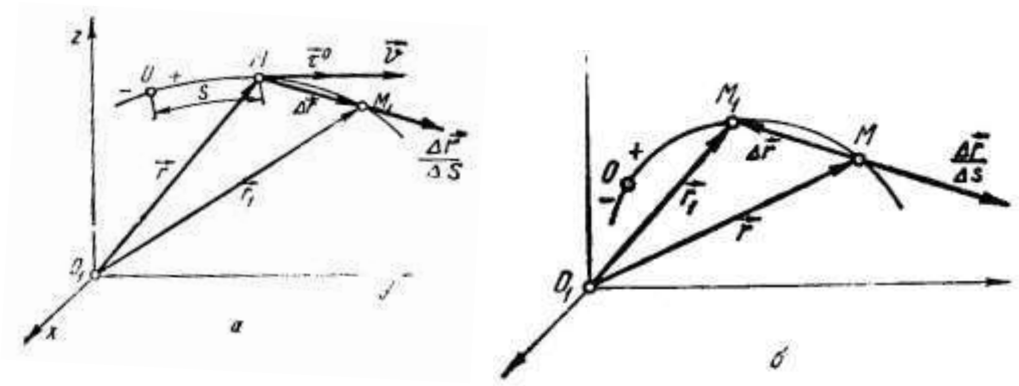
$$\cos(\vec{v},{}^\wedge x)=\frac{v_x}{v},\quad \cos(\vec{v},{}^\wedge y)=\frac{v_y}{v},\quad \cos(\vec{v},{}^\wedge z)=\frac{v_z}{v}$$

formulalar yordamida aniqlanadi.

Harakati tabiiy usulda ifoadalangan nuqtaning tezligi

Nuqta tezligining moduli yoy koordinatasidan vaqt bo’yicha olingan hosilaning absolyut qiymatga teng.

$$v=\frac{ds}{dt}$$




Nuqtaning tezlanishi

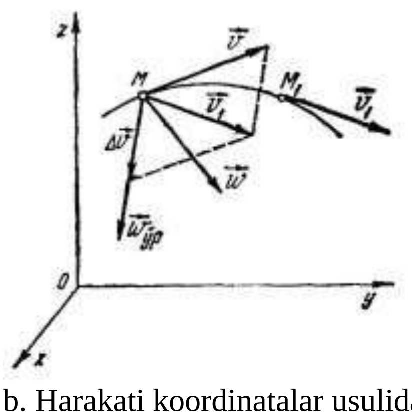
a. Harakati vektor usulida berilgan nuqtaning tezlanishini aniqlash

$\overleftarrow{w}=\dfrac{d\vec{v}}{dt},\quad \vec{v}=\dfrac{d\vec{r}}{dt}$ ni e’tiborga olsak

$\overleftarrow{w}=\dfrac{d\vec{v}}{dt}=\dfrac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ munosabat o’rinli bo’ladi.

Demak, *nuqtaning tezlanish vektori uning tezlik vektoridan vaqt bo’yicha olingan birinchi hosilaga yoki radius-vektoridan vaqt bo’yicha olingan ikkinchi hosilaga teng.*

SI birliklar sistemasida tezlanish $m\backslash s^2$ da o’lchanadi.



b. Harakati koordinatalar usulida berilgan nuqtaning tezlanishi.

Nuqtaning harakati (4) tenglamalar bilan berilgan bo’lsa, tezlanishning koordinata o’qlaridagi proyeksiyalari quyidagi formulalar orqali ifodalandi:

$$\overleftarrow{w}_x=\frac{d\vec{v}_x}{dt},\quad \overleftarrow{w}_y=\frac{d\vec{v}_y}{dt},\quad \overleftarrow{w}_z=\frac{d\vec{v}_z}{dt} \qquad (12)$$

(8) ga asosan (12) ni quyidagicha yoza olamiz:

$$w_x=\frac{d^2x}{dt^2}=\ddot{x},\quad w_y=\frac{d^2y}{dt^2}=\ddot{y},\quad w_z=\frac{d^2z}{dt^2}=\ddot{z} \quad (13)$$

Demak, nuqta tezlanishining biror o'qdagi proyeksiyasi nuqta tezligining mazkur o'qdagi proyeksiyasidan vaqt bo'yicha olingan birinchi hosilaga yoki shu o'qqa mos koordinatasidan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi xosilaga teng.

Tezlanish moduli

$$w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2} \qquad (14)$$

yo'nalishi

$$\cos(\vec{w},\hat{}x) = \frac{w_x}{w}, \quad \cos(\vec{w},\hat{}y) = \frac{w_y}{w}, \quad \cos(\vec{w},\hat{}z) = \frac{w_z}{w} \quad (15)$$

formularadan aniqlanadi.

Agar nuqta *0xu* tekisligida harakatlansa, $w_z = \ddot{z} = 0$ bo'lib, (14) va (15) tenglamalar

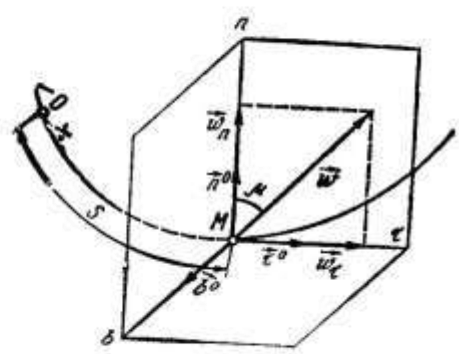
$$w = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2},$$

$$\cos(\vec{w},\hat{}x) = \frac{w_x}{w}, \quad \cos(\vec{w},\hat{}y) = \frac{w_y}{w}$$

ko'rinishida yoziladi.

v. Harakati tabiiy usulda berilgan nuqtaning tezlanishi

M nuqtaning tezlanish vektori binormal bo'yicha tashkil etuvchisi nolga teng: $W_b = 0$ .



U holda nuqta tezlanishining tabiiy koordinata o'qlaridagi ifodasi quyidagi ko'rinishiga ega bo'ladi:

$$\vec{W} = \vec{W}_\tau + \vec{W}_n$$

ya'ni egri chiziqli harakatdagi nuqtaning tezlanishi urinma va normal tezlanishlarning geometrik yig'indisiga teng: shu sababli tezlanish vektori $\vec{W}_\tau$ va $\vec{W}_n$ larga kurilgan to'g'ri turtburchakning berilgan nuqtadan o'tuvchi diagonali bilan ifodalanadi.

Tezlanishning tabiiy koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari

$$w_\tau = \frac{dv_\tau}{dt}, \quad w_n = \frac{v^2}{\rho}, \quad w_b = 0 \qquad (17)$$

formulalar yordamida aniqlanadi.

(17) da $v_\tau = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$, $v^2 = v_\tau^2 = \dot{s}^2$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$w_\tau = \ddot{s}, \quad w_n = \frac{\dot{s}^2}{\rho}, \quad w_b = 0$$

bu yerda $\rho$ - chiziqning egrilik radiusi.

Tezlanish moduli

$$w = \sqrt{w_\tau^2 + w_n^2}$$

Nuqta harakatining xususiy hollari

a. To'g'ri chiziqli tekis harakat

Nuqtaning harakati davomida hamisha $\vec{w}_\tau = 0, \quad \vec{w}_n = 0,$ ya'ni $\vec{w} = 0$ bo'lsin. Bu holda (17) ga asosan $\dfrac{dv_\tau}{dt} = 0, \quad \dfrac{v^2}{\rho} = 0$ bo'lib, ulardan $v=|v_\tau|=const$ va $\rho=\infty$ ekanligi kelib chiqadi. Demak, ko'rilayotgan holda nuqta to'g'ri chiziqli tekis harakatda bo'ladi.

b. to'g'ri chiziqli o'zgaruvchan harakat

Nuqta harakati davomida $\vec{w}_\tau \neq 0, \quad \vec{w}_n = 0$ bo'lsin.

Bunda $w_\tau = \dfrac{dv_\tau}{dt} = \ddot{s} \neq 0$ *ва* $w_n = \dfrac{v^2}{\rho} = 0$ bo'lib, ulardan $v = |v_\tau| = \left|\dfrac{ds_\tau}{dt}\right| = |\dot{s}|$ va $\rho=\infty$ ekanligi kelib chiqadi.

Demak, nuqtaning tezligi yo'nalish jihatdan o'zgarmay, faqat miqdor jihatdan o'zgaradi va to'g'ri chiziqli o'zgaruvchan harakatda bo'lib, tezlanishning moduli

$$w = |w_\tau| = \left|\frac{dv_\tau}{dt}\right| = |\ddot{s}|$$

formuladan aniqlanadi. Binobarin, urinma tezlanish tezlikning miqdor jihatdan o'zgarishini ifodalaydi.

v. Egri chiziqli tekis harakat

Biror vaqt oralig'i uchun $\vec{w}_\tau = 0, \quad \vec{w}_n \neq 0$ bo'lsin.

Bu holda $w_\tau = \dfrac{dv_\tau}{dt} = \ddot{s} = \neq 0 \qquad w_n = \dfrac{v^2}{\rho} \neq 0$

Bundan $v=|v_\tau|=|s|=const$, $\rho\neq\infty$ kelib chiqadi.

$\rho\neq\infty$ shart harakat trayektoriyasi, egri chiziqdan iborat bo'lishini, $v=const$ shart esa nuqta tekis harakat qilishini ifodalaydi. Demak, bu holda nuqta egri chiziqli tekis harakat kiladi. Agar tezlikning urinmadagi proyeksiyasini $v_o$ bilan belgilasak,

$$v_\tau = v_0 = \frac{ds}{dt} \quad \text{ёки} \quad ds = v_o dt$$ hosil bo'ladi.

$t=0$ da $s=s_o$ bo'lsin. Shu shart hamda $v_t=const$ ekanligini nazarda tutib, oxirgi tenglikni integrallasak,

$$s=s_o+v_o t \qquad (19)$$

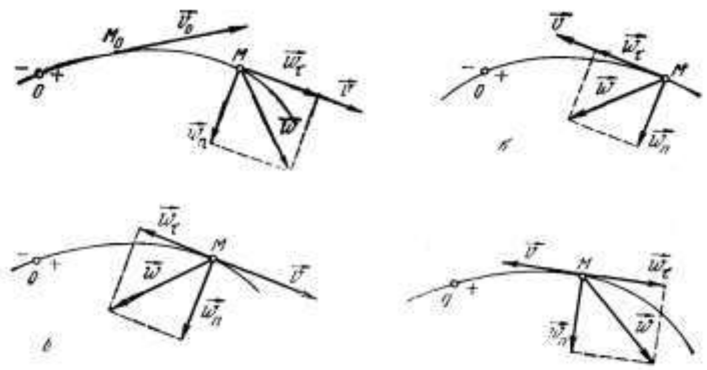
kelib chiqadi. (19) tenglama nuqtaning egri chiziqli tekis harakat tenglamasi deyiladi.

$$w = w_n = \frac{v^2}{\rho}$$

Shunday qilib, normal tezlanish egri chiziqli harakatda vujudga keladi va tezlikning yo'nalishi o'zgarishini ifodalaydi.

g. Egri chiziqli o'zgaruvchan harakat.

Biror vaqt oralig'i uchun $\vec{w}_\tau \neq 0, \quad \vec{w}_n \neq 0$ bo'lsin. Bunda nuqtaning tezligi miqdor va yo'nalish jihatdan o'zgaradi, ya'ni nuqta egri chiziqli o'zgaruvchan harakatda bo'ladi.



Agar $w_t=const$ bo'lsa, nuqta tekis o'zgaruvchan harakatda deyiladi.

$v$ va $w_t$ dyektorlarining yo'nalishi ustma-ust tushsa, nuqta egri chiziqli tezlanuvchan harakatda, ular qarama-qarshi yo'nalgan bo'lsa, nuqta egri chiziqli sekinlanuvchan harakatda bo'ladi.

$$w_\tau = \frac{dv_\tau}{dt} = const \quad ёки \quad dv_\tau = w_\tau dt.$$

$$v_\tau = v_o + w_\tau t, \qquad v_\tau = \frac{ds}{dt}$$

ekanligini hisobga olib topamiz

$$s = s_o + v_o t + w_\tau \frac{t^2}{2} \quad (20)$$

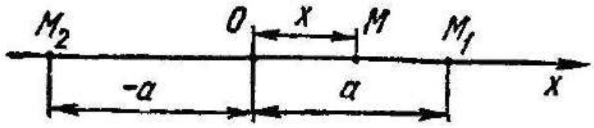
(20) tenglama *egri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakat tenglamasini* ifodalaydi.

d. Garmonik tebranma harakat.

Koordinata boshi $O$ ga nisbatan koordinatasi

$x=a{\cdot}sin\omega t$ (21)

qono'nga ko'ra o'zgaruvchi $M$ nuqtaning to'g'ri chiziqli harakatini tekshiramiz.




Nuqtaning tebranish markazidan eng katta masofaga chetga chikishini ifodalovchi kattalik *a tebranish amplitudasi*, $\omega t$ *tebranish fazasi*, $\omega$ esa tebranishning *doiraviy chastotasi* deyiladi.

Nuqtaning bir marta to'liq tebranishi uchun ketgan vaqt oralig'i $T$ *tebranish davri* deyiladi.

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Tebranish davrining teskari qiymati $\nu = \frac{1}{T}$ *tebranish takrorligi* deyiladi va u 1 sekunddagi to'la tebranishlar sonini ifodalaydi.

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Nuqta kinematikasida qaysi asosiy masalalar ko'riladi?
2. Vektorning skalyar aniqlash usullari
3. Nuqtaning harakatini aniqlash usullari
4. Nuqtaning tezligi qanday aniqlanadi?
5. Nuqta tezlanishi qanday aniqlanadi?
6. Nuqta harakatining xususiy hollariga nimalar kiradi?

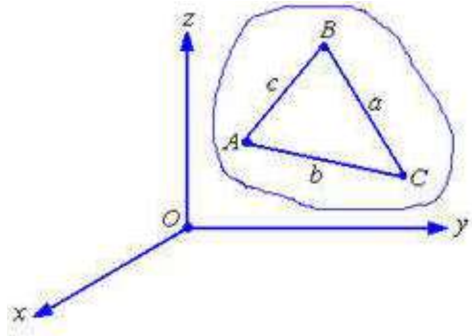
## Mavzu: **QATTIQ JISMNING HARAKATI TENGLAMALARI**

**Reja:**

1. Qattiq jismning erkinlik darajasi.
2. Qattiq jismning eng sodda harakatlari. Ilgarilanma harakat.
3. Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakati.
4. Jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakati burchak tezligi va burchak tezlanishi
5. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi jism nuqtasining chiziqli tezligi va tezlanishi

**Tayanch iboralar**: Ilgarilama harakat, aylanma harakat, aylanish o'qi, burchak tezlik, burchak tezlanishi, tezlanuvchan va sekinlanuvchan aylanma harakat.

Kirish qismida ko'rib o'tganimizdek, jismning harakati davomida uning nuqtalari orasidagi masofa o'zgarmay qolsa, bunday jismni absolyut qattiq jism yoki qattiq jism deb qabul qildik. Ba'zida qattiq jism bir qancha qismlardan (zvenolardan) iborat bo'ladi va har bir qismining (nuqtalarining) traektoriyalari, tezliklari hamda tezlanish-lari turlicha bo'ladi.Ayrim hollarda esa tekshirilayotgan jism bir qancha jismlarga nisbatan harakatlanadi.Shu sababli qattiq jismning harakatini o'rganish uchun avvalo qattiq jismning harakatini berilish usullarini aniqlash va uning barcha nuqtalarining kinematik harakteristikasini aniqlashdan iborat.Boshqacha aytganda nuqta kinematikasida qo'yilgan „Nuqta kinematikaning ikki asosiy masalasi" ni qattiq jism uchun yechishdan iborat.




*Agar qattiq jismning barcha nuqtalarining biror sanoq sistemasiga nisbatan fazodagi o'rnini bir qiymatli aniqlovchi koordinatalari vaqtning funksiyasi ko'rinishda aniqlash mumkin bo'lsa, u holda qattiq jismning harakati berildi deb aytiladi.* Lekin bu ta'rifdan bitta jism uchun uning har bir nuqtasining fazodagi o'rnini aniqlovchi cheksiz tenglamalar to'plami tuzish kerak deb tushunmaslik kerak. Balki qattiq jism nuqtalarining harakatini to'la aniqlaydigan tenglamalar sonini aniqlash kerak. Buning uchun avvalo jismning "erkinlik darajasi" ni aniqlash kerak. Shu sababli jismning erkinlik darajasi tushunchasini kiritamiz.

*Qattiq jismning fazodagi o'rnini (konfigurasiyasi) bir qiymatli aniqlovchi erkli parametrlar soniga jismning erkinlik darajasi deyiladi.*

Endi ba'zi jismlarning erkinlik darajasini aniqlashni ko'rsatamiz. Fazoda erkin harakatlanuvchi qattiq jismning erkinlik darajasi oltiga teng. Haqiqatdan ham bu jismda bitta to'g'ri chiziqda yotmagan uchta *A*( $x_A$, $y_A$, $z_A$ ), *B*( $x_B$, $y_B$, $z_B$ ) va *C*( $x_C$, $y_C$, $z_C$ ) nuqtalarning fazodagi o'rni to'qqizta koordinata bilan aniqlanadi. Lekin bu nuqtalar orasidagi masofa o'zgarmay qolishini hisobga olsak, ya'ni ular orasidagi masofa

$$\begin{gathered}(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 + (z_C - z_B)^2 = a^2\,,\\ (x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2 + (z_C - z_A)^2 = b^2\,,\\ (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2 = c^2\,,\end{gathered} \tag{9.1}$$

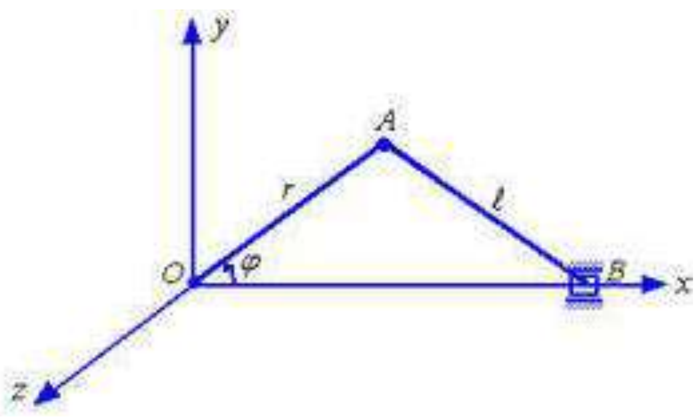
Shartlarni qanoatlantirishi kerak. Demak, to'qqista koordinatadan uchtasi chiziq-li bog'liq va oltitasi chiziqli erkli bo'ladi (2.21-rasm).

Kelgusida (9.1) tengla-malarni *bog'lanish tengla-malari* deb ataymiz. Agar jismning erkinlik darajasini *s* bilan belgilasak, u holda jismning erkinliklik darajasi

$s = 3N - a$ (9.2)

formula bilan aniqlanib, bunda *N* - jismdagi nuqtalar (qismlari) soni va *a* –bog'lanish tenglamalari sonini bildiradi. Demak, erkin jism uchun:

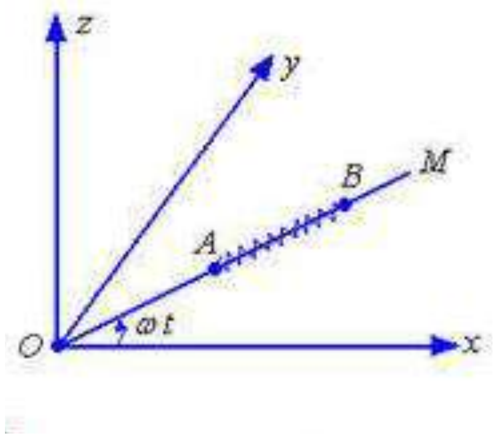
$$s = 3 \cdot 3 - 3 = 6$$




Agar yana bitta qo'shimcha nuqta olsak, ya'ni *M*( $x_M$, $y_M$, $z_M$ ) va nuqta bilan *A, B, S* nuqtalar orasidagi masofalarni oltita bog'lanish tenglamalari orqali ifodalash mumkin. U holda $s = 3 \cdot 4 - 3 = 6$ . Demak, erkin harkatlanuvchi jismninig ixtiyoriy tanlab olingan sanoq sistemasiga nisbatan fazodagi o'rnini oltita erkli koordinatalar orqali aniqlash mumkin. Bunday koordinatalar uchun qattiq jismning massalar markazini koordinatalari $x_C$, $y_C$, $z_C$ va $\varphi$, $\psi$, $\theta$ – Eyler burchaklari qabul qilinadi.

Moddiy nuqtaning fazodagi o'rnini uchta erkli koordinata orqali aniqlash mumkin.

Endi krivoship-shatunli mexanizmning erkinlik darajasini aniqlashni ko'rsatamiz (2.22-rasm). $A$ va $B$ nuqtalarning koordinatalarini mos holda $x_A$, $y_A$, $z_A$, $x_B$, $y_B$, $z_B$ deb qabul qilsak, u holda bog'lanish tenglamalarini quyidagicha yozish mumkin:




$$z_A = 0\,,\quad z_B = 0\,,\quad y_B = 0\,,$$

$$x_A^2 + y_A^2 + z_A^2 = r^2\,, \qquad (9.3)$$

$$(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2 = \ell^2\,.$$

Demak krivoshipli-shatunli mexanizmning erkinlik darajasi

$s = 2 \cdot 3 - 5 = 1$

teng va bitta erkli koordinata uchun krivoship-shatunli mexanizmning burilish burchagi $\varphi$ ni qabul qilish mumkin.

Endi 2.23-rasmda ko'rsatilgan qurilmani erkinlik darajasini aniqlay-lik. $z$ qi atrofida doimiy $\omega$ burchak tezlik bilan aylanuvchi $OM$ sterjen bo'ylab prujina bilan biriktirilgan va $B$ nuqtalar erkin harakatlanadi. $A$, $B$ nuqtalar va $OM$ sterjenni bitta sistema deb, qabul qilsak, bu sistema uchun bog'lanish tenglamalarini quyidagicha yozish mumkin:

$$x_A \cdot \sin\omega \cdot t - y_A \cdot \cos\omega \cdot t = 0\,,$$

$$x_B \cdot \sin\omega \cdot t - y_B \cdot \cos\omega \cdot t = 0\,,$$

$$z_A = 0\,,\; z_B = 0\,.$$

U holda sistemaning erkinlik darajasi $S = 6 - 4 = 2$.

*Kelgusida qattiq jism nuqtasining tezligining (tezlanishining) son qiymati va yo'nalishi berilgan bo'lsa, u holda jismning tezligi (tezlanishi) to'la aniqlangan deb qabul qilamiz.*

Shunday qilib, qattiq jism uchun yuqorida qo'yilgan kinematikaning ikki asosiy masalasini yechish uchun:

Jismning erkinlik darajasini aniqlash.

Jismning erkinlik darajasi soniga mos holda erkli parametrlar kiritish.

Erkli parametrlar soniga mos holda jismning harakat tenglamalarini aniqlash.

Aniqlangan harakat tenglamaliridan jism nuqtalarining tezlik va tezlanishini aniqlash.

Qattiq jismning nuqtalari (qismlari) turlicha traektoriya va tezlik bo'yicha haraktlanganligi sababli ularning kinematik harakteristikasi-ni o'rganishni soddalashtirish maqsadida harakatlarni quyidagicha ko'rinishlarga ajratamiz:

Qattiq jismning ilgarilanma harakati.

Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrorfida aylanma harakati.

Qattiq jismning tekis parallel harakati.

Qattiq jismning sferik harakati.

Qattiq jismning murakkab harakati.

Quyida bu harakatlarning har biri uchun kinematikaning ikki asosiy masalasini echilishini ko'rsatamiz.

Qattiq jismning eng sodda harakatlari. Ilgarilanma harakat

Jismda olingan har qanday kesma harakat davomida doimo o'zining boshlang'ich holatiga parallel ravishda harakatlansa, jismning bunday harakati *ilgarilama harakat* deyiladi.

Masalan, paravoz g'ildiraklarini tutashtiruvchi *AV* sparnik yoki velosipednig *AV* pedali ilgarilama harakatda bo'ladi.

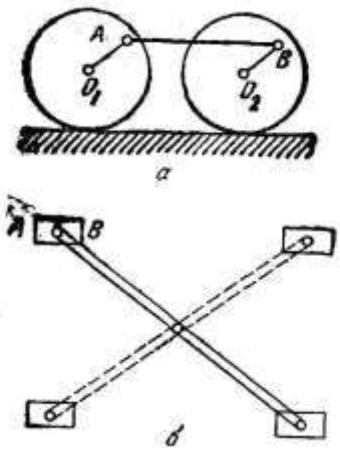
Teorema. *Ilgarilama harakatdagi jismning hamma nuqtalari bir xil trayektoriya chizadi va har onda bir xil tezlik va bir xil tezlanishga ega bo'ladi.*

Shunday qilib, jismning ilgarilama harakati uning ixtiyoriy nuqtasi harakati bilan aniqlanadi.

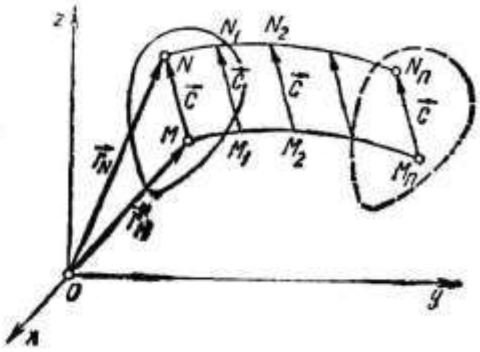
*0xuz* koordinatalar sistemasiga nisbatan ilgarilama harakatdagi qattiq jismning harakat tenglamasini chiqarish uchun jismning ixtiyoriy $M$ nuqtasini olib, uning koordinatalarini $X_M, Y_M, Z_M$ bilan belgilaymiz. Jism harakatlanganda bu koordinatalar vaqtning funksiyasi sifatida o'zgaradi

$X_M = f_1(t)$, $Y_M = f_2(t)$, $Z_M = f_3(t)$ (1)

(1) tenglama $M$ nuqtaning harakat tenglamasi bo'lib, jismning ilgarilama harakat tenglamasini ham ifodalaydi.







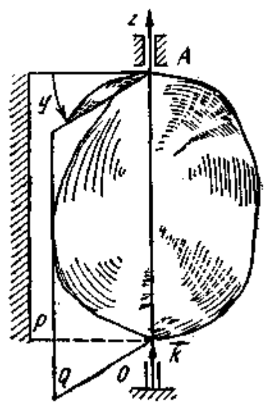


Qattiq jismning qo’zg’almas o’q atrofidagi aylanma harakati

*Qattiq jismning qo’zg’almas o’q atrofidagi aylanma harakat tenglamasi.*

Ikki nuqtasi doimo qo’zg’almasdan qoladigan jismning harakati qo’*zg’almas o’q atrofidagi aylanma harakat* deyiladi. Qo’zg’almas nuqtalardan o’tuvchi o’q *aylanish o’qi* deyiladi.

Turbinalar diski, generatorlarning rotori, stanoklarning maxovigi kabi mashina va mexanizmlarning harakati qo’zg’almas o’q atrofida aylanuvchi jismga misol bo’la oladi. Jismning aylanish o’qida yotuvchi barcha nuqtalari qo’zg’almas bo’ladi. Aylanish o’qida yotmaydigan nuqtalarining trayektoriyalari aylanish o’qiga perpendikulyar tekisliklarda yotuvchi aylanalardan iborat bo’ladi.





Jismning qo’zg’almas o’q atrofidagi aylanma harakatining kinematik tenglamasini aniqlash uchun aylanish o’qiga biriktirilgan qo’zg’almas *R* tekislikni hamda jismga biriktirilgan va u bilan birga aylanuvchi *Q* tekislikni o’tkazamiz. Bu tekisliklar orasidagi $\varphi$ burchak jismning *aylanish burchagi* deyiladi.

*Oz* aylanish o’qi birlik vektori $\vec{k}$ ning uchidan qaraganda $\varphi$ burchakning o’zgarishi soat strelkasi harakati yo’nalishiga teskari bo’lsa, aylanish burchagini musbat, aks holda manfiy olinadi. Agar jismning aylanish soni *N* ma’lum bo’lsa, aylanish burchagi $\varphi=2\pi N$ formula yordamida aniqlanadi.

Aylanish burchagi $\varphi$ ning miqdor va yo’nalishi ma’lum bo’lsa, *Q* tekislikning *P* tekislikka nisbatan holatini aniqlash mumkin.

Jism *Oz* o’q atrofida aylanganda uning aylanish burchagi $\varphi$ vaqtning funksiyasi sifatida o’zgaradi:

$$\varphi=\varphi(t). \qquad (2)$$

Bu tenglama jismning qo’zg’almas o’q atrofida aylanma harakatining kinematik tenglamasi deyiladi.

Jismning qo’zg’almas o’q atrofidagi aylanma harakati burchak tezligi va burchak tezlanishi

Jismning qo’zg’almas o’q atrofidagi aylanma harakatining *t* vaqtdagi aylanish burchagini $\varphi$, $t_1=t+\Delta t$ vaqtdagi aylanish burchagini $\varphi_1=\varphi+\Delta\varphi$ bilan belgilaylik. $\Delta t= t_1- t$ vaqt oralig’ida jism $\Delta\varphi=\varphi_1-\varphi$ burchakka buriladi.

$\Delta\varphi$ ning $\Delta t$ ga nisbati jismning $\Delta t$ vaqtdagi o’rtacha burchak tezligi deyiladi.

Jismning qo’zg’almas o’q atrofidagi aylanma harakatining berilgan ondagi burchak tezligini topish uchun o’rtacha burchak tezligining $\Delta t$ nolga intilgandagi limitini olamiz:

$$\omega_я=\lim_{tt\to 0}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=\frac{d\varphi}{dt}$$

yoki $\omega_z = \dot{\varphi}.$ (3)

Shunday qilib, jismning burchak tezligi aylanish burchagidan vaqt bo'yicha olingan hosilaga teng.

$\varphi$ burchakning o'zgarish qonuniga mos ravishda $\omega_z$ burchak tezligi musbat yoki manfiy qiymatga ega bo'lishi mumkin. Burchak tezlikning modulini $\omega$ bilan belgilaymiz: $\omega = |\dot{\varphi}|$ .

Aylanish burchagi radianda, vaqt esa sekund (s) da o'lchanganidan, burchak tezlikning o'lchov birligi *rad/s* yoki $s^{-1}$ bo'ladi.

Jism harakati davomida uning burchak tezligi $\omega_z=\omega_0$ o'zgarmay qolsa, jism tekis aylanma harakatda deyiladi.

Bu holda $\frac{d\varphi}{dt} = \omega_0 = const$ ёки $d\varphi = \omega_0 dt$ bo'ladi.

Vaqt *0* dan *t* gacha o'zgarganda aylanish burchagi $\varphi_0$ dan $\varphi$ gacha o'zgarishini e'tiborga olib, oxirgi tenglikni integrallasak,

$\varphi=\varphi_0+\omega_0 t$ (5)

bo'ladi. (5) ifoda jism *tekis aylanma harakatining tenglamasi* deyiladi.

Jism tekis aylanma harakatda bo'lsa, texnikada ko'pincha uning bir minutdagi aylanishlar sonidan foydalaniladi. Jism bir marta to'la aylanganda aylanish burchagi $\varphi=2\pi$ bo'ladi. Jism bir minutda *n* marta aylansa, tekis aylanma harakat burchak tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}, \quad c^{-1} \tag{6}$$

Vaqt birligi ichida jism burchak tezligining o'zgarishi bilan xarakterlanadigan kattalikka jismning *burchak tezlanishi* deyiladi.

Jismning aylanma harakatdagi burchak tezlanishi burchak tezligidan vaqt bo'yicha olingan birinchi hosilaga yoki aylanish burchagidan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi hosilaga teng bo'ladi va odatda $\varepsilon$ bilan belgilanadi.

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{d\varphi}{dt}\right) = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \tag{7}$$

Burchak tezlanish *rad/s²* yoki *1/s²* bilan o'lchanadi.

(7) da $\frac{d\omega}{dt}$ hosilaning ishorasi, jism aylanma harakati burchak tezligining orta borish yoki kamayishini xarakterlaydi. Agar $\frac{d\omega}{dt} > 0$ bo'lsa, $\omega$ orta boradi va bunday harakat *tezlanuvchan aylanma harakat*; $\frac{d\omega}{dt} < 0$ bo'lsa, $\omega$ kamaya boradi va bunday harakat *sekilanuvchan aylanma harakat* deyiladi.

Agar harakat davomida $\varepsilon=\varepsilon_0=const$ bo'lsa, jismning bunday harakati *tekis o'zgaruvchan aylanma harakat* deyiladi.

(7) ni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$d\omega=\varepsilon_0 dt.$

Bu tenglikni integrallab, $\omega=\varepsilon_0 t+s_1$ ni hosil qilamiz.

$t=0$ da $\omega=\omega_0$ bo'lsa, $s_1=\omega_0$ bo'ladi. U holda tekis o'zgaruvchan aylanma harakat burchak tezligi

$$\omega=\omega_0+\varepsilon t \tag{8}$$

formuladan aniqlanadi.

$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ ni hisobga olsak $d\varphi=(\omega_0+\varepsilon t)dt$

Bu tenglikni integrallasak

$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} + c_2$ bo'ladi.

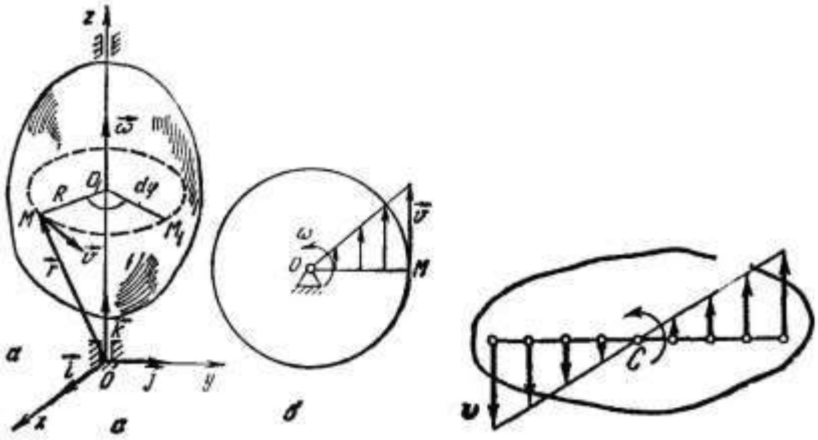
$t=0$ da $\varphi=\varphi_0$ bo’lsa, oxirgi tenglikdan $c_2=\varphi_0$ bo’lishini ko’ramiz.
U holda

$$\varphi=\varphi_0+\omega_0 t+\frac{\varepsilon t^2}{2} \qquad (9)$$

Bu tenglama jismning qo’zg’almas o’q atrofidagi *tekis o’zgaruvchan aylanma harakat tenglamasi*ni ifodalaydi.

Qo’zg’almas o’q atrofida aylanuvchi jism nuqtasining chiziqli tezligi va tezlanishi

Jismning aylanish o’qidan $R$ masofada joylashgan $M$ nuqtasini olamiz. Jism aylanish o’qi atrofida aylanganda $M$ nuqta radiusi $R$ ga teng, markazi aylanish o’qining $S$ nuqtasida joylashgan aylana chizadi.




Biror $t$ vaqtda mazkur nuqta $M$ holatda bo’lib, $dt$ vaqt o’tgandan kyoyin u trayektoriya bo’ylab $M_1$ holatga ko’chsin. Shu $dt$ vaqt ichida jism o’q atrofida $d\varphi$ burchakka aylanadi. Nuqta esa trayektoriya bo’ylab $ds=Rd\varphi$ yoyni bosib o’tadi. Bunda

$$v=\frac{ds}{dt}=R\frac{d\varphi}{dt}=R\omega \qquad (10)$$

Bu formula yordamida aniqlanadigan $v$ tezlik jism nuqtasining *chiziqli tezligi* deyiladi.

Shunday qilib, qo’zg’almas o’q atrofida aylanma harakatdagi jism ixtiyoriy nuqtasi harakatdagi jism ixtiyoriy nuqtasi chiziqli tezligining miqdori jism burchak tezligining mazkur nuqtadan aylanish o’qigacha bo’lgan masofaga ko’paytmasiga teng. Chiziqli tezlik $M$ nuqta chizgan aylanaga harakat yo’nalishi bo’yicha o’tkazilgan urinma bo’yicha yo’naladi.

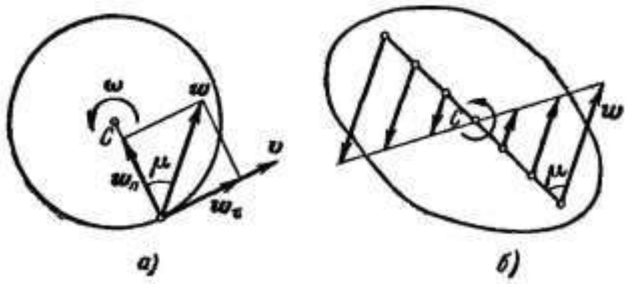
Qo’zg’almas o’q atrofida aylanma harakatdagi jism nuqtalarining trayektoriyalari aylanalardan iborat bo’lgani uchun, $M$ nuqtaning tezlanishi urinma va normal tezlanishlardan iborat bo’ladi.

$$w_\tau=\frac{dv}{dt} \qquad ва \qquad w_n=\frac{v^2}{\rho}$$

Kurilayotgan holda $\rho=R$ va $v=R\omega$ bo’lgani uchun

$$w_\tau=\frac{d}{dt}(R-\omega)=R\cdot\varepsilon, \qquad (11)$$

$$w_n=\frac{(R-\omega)^2}{R}=\omega^2\cdot R. \qquad (12)$$




Ba’zida $\vec{w}_\tau$ ni aylanma tezlanish, $\vec{w}_n$ ni esa markazga intilma tezlanishi deb yuritiladi.

Tezlanishning miqdori

$$w = \sqrt{w_\tau^2 + w_n^2} = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \qquad (13)$$

va mazkur tezlanishning yo'nalishi

$$tg\mu = \frac{|\varepsilon|}{\omega^2} \qquad (14)$$

topiladi.

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Ilgarilanma harakat deb qanday harakatga aytiladi?
2. Qanday harakatga jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakati deyiladi?
3. Tekis aylanma harakat nima?
4. Aylanma harakatdagi jismning burchak tezligi va burchak tezlanishi ifodalarini ko'rsating
5. Aylanma harakatdagi jismning chiziqli tezligi va tezlanishi ifodalarini ko'rsating

## Mavzu: **QATTIQ JISMNING TEKIS PARALLEL HARAKATI**

**Reja:**

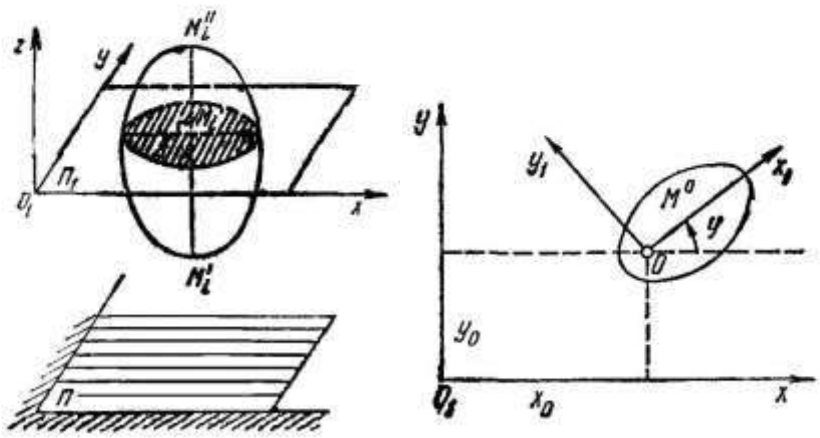
1. Qattiq jismning tekis parallel harakati va uning erkinlik darajasi.
2. Tekis parallel harakatdagi qattiq jism nuqtalarining tezliklarini aniqlash usullari.
3. Tezliklar oniy markazi.
4. Tezliklar plani.
5. Qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan sentroidalar.
6. Tekis parallel harakatdagi qattiq jism nuqtalarining tezlanishlarini aniqlash. Tezlanishlar oniy markazi.

**Tayanch iboralar**: Tekis parallel harakat, tekis shaklning harakattekisligi, tezliklar oniy markazi, sentroidalar, tezlanishlar oniy markazi.

Barcha nuqtalari berilgan qo'zg'almas tekislikka parallel tekisliklarda harakatlanuvchi jismning harakatiga tekis parallel harakat deyiladi.

Jismning tekis parallel harakatiga misol tarikasida vagon gildiragining to'g'ri chiziqli izda dumalalishni yoki bir tekislikda harakatlanuvchi mashina va mexanizm qismlarining harakatini keltirish mumkin.

Jismning tekis parallel harakatini aniqlash uchun berilgan qo'zg'almas tekislikni *P* bilan belgilaylik. Jismni *P* tekislikka parallel bo'lgan $P_1$ tekislik bilan fikran kesish natijasida hosil bo'lgan kesimni *S* bilan belgilab, uni tekis shakl deb ataymiz. Tekis parallel harakat ta'rifiga ko'ra, jismning harakati davomida bu tekis shakl doimo qo'zg'almas *P* tekislikka parallel bo'lgan $P_1$ tekislikda harakatlanadi.



Jismda olingan, $P_1$ tekislikka perpendikulyar (yoki $0_1z$ o'qqa parallel), *MM* kesma ilgarilama harakatda bo'ladi, barcha nuqtalari bir xil trayektoriya chizadi hamda har onda bir xil tezlik va bir xil tezlanishiga ega bo'ladi.

Shu sababli *M'M''* chiziqning harakatini o'rganish o'rniga uning tekis shaklga taalluqli *M* nuqtasini, yoki (ya'ni) jismning tekis parallel harakatini o'rganish o'rniga *S* tekis shaklning harakatini aniqlash yetarli bo'ladi. *S* yuza harakatlanadigan $P_1$ tekislik tekis shaklning harakat tekisligi deyiladi.

Harakat tekisligidagi $0_1xu$ qo'zg'almas koordinatalar sistemasiga nisbatan tekis shaklning harakatini tekshirish uchun tekis shaklda qutb deb ataladigan 0 nuqtani olib, bu nuqtada tekis shaklga biriktirilgan $0x_1u_1$ koordinatalar sistemasini o'tkazamiz. Agar $0(x_0,u_0)$ nuqtaning koordinatalari va $0x_1$ qo'zg'aluvchi o'q bilan $0_1x$ qo'zg'almas. O'q orasidagi φ burchak ma'lum bo'lsa, u holda qo'zg'aluvchi $0x_1u_1$ ning holati, binobarin, tekis shaklning harakat tekisligidagi holati ma'lum bo'ladi. Shu sababli tekis shaklning harakat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin.

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= f_1(t) \\ y_0 &= f_2(t) \\ \varphi_0 &= f_3(t) \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

(1) tenglamalar tekis shakl harakatining kinematik tenglamalari yoki *jism tekis parallel harakatining tenglamalari* deyiladi.

(1) tenglamadagi birinchi ikkita tenglama qutbning harakatini, uchinchisi esa tekis shaklning qutb atrofidagi aylanish qonunini ifodalaydi.

Aylanish burchagi $\varphi$ dan vaqt bo'yicha olingan hosila tekis shaklning burchak tezligi deyiladi va $\omega_z$ bilan belgilanadi:

$$\omega_я = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Tekis shakl burchak tezligidan vaqt bo'yicha olingan hosila tekis shaklning burchak tezlanishi deyiladi va $\varepsilon_z$ bilan belgilanadi:

$$\varepsilon_я = \frac{d\omega_z}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Tekis shaklning burchak tezligi va burchak tezlanishi qutbning tanlab olinishiga bog'liq bo'lmaydi.

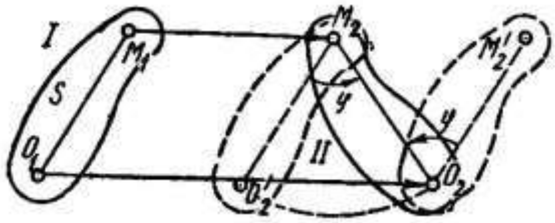
Alohida ahamiyatga molik bo'lgan quyidagi ikki holni ko'ramiz.

1. Agar $x_0$=*const*, $y_o$=*const* bo'lsa, qutb qo'zg'almay, vaqtning o'tishi bilan faqat ω burchak o'zgaradi. Bu holda tekis shakl harakat tekisligiga perpendikulyar ravishda *O* nuqtadan o'tuvchi o'q atrofida aylanadi. Binobarin, qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakati tekis parallel harakatning xususiy holi hisoblanadi.

2. Agar $\varphi$=*const* bo'lsa, faqat qutbning koordinatalari vaqtning funksiyasi sifatida o'zgaradi hamda qo'zg'aluvchi koordinatalar sistemasi o'zining boshlang'ich holatiga parallel ravishda harakatlanadi. Bunda tekis shakl hamda qattiq jism ilgarilama harakatda bo'ladi.

Tekis parallel harakatdagi qattiq jism nuqtalarining tezliklarini aniqlash usullari

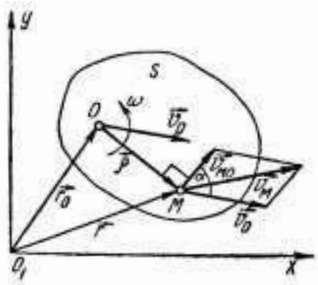
Teorema. *Tekis shaklning o'z tekisligidagi har qanday ko'chishini qutb bilan birgalikdagi ilgarilama ko'chish hamda qutb atrofidagi aylanma ko'chishdan tashkil topgan deb qarash mumkin.*




Tekis shakl OM kesmasining $t_1$ va $t_2$ ixtiyoriy paytdagi holatlarini mos ravishda $O_1M_1$ va $O_2M_2$ bilan belgilaylik. O nuqtasi qutb uchun qabul qilib, tekis shaklga shunday ilgarilama ko'chish beramizki, natijada uning $O_1$ nuqtasi $O_2$ bilan ustma-ust tushsin, $M_1$ nuqta $M_2$ holatni egallasin. Tekis shaklning ilgarilama ko'chishi $O_1O_2$ vektor bilan aniqlanadi. So'ngra tekis shaklni o'z harakat tekisligida $O_2$ qutb atrofida φ burchakka aylantirsak, $O_2M_2$ kesma $O_2M_2$ holatga o'tadi va tekis shakl II holatni egallaydi. Tekis shaklning ilgarilama harakati qutbga bog'liq bo'ladi, qutb atrofida alanish burchagi esa qutbni tanlashga bog'liq bo'lmaydi.

Tekis shakl nuqtalarining tezliklari. Teorema 1. *Tekis shakl ixtiyoriy M nuqtasining tezligi qutbning tezligi bilan M nuqtaning qutb atrofida aylanishdagi chiziqli tezligining geometrik yig'indisiga teng.*

O va M nuqtalarning qo'zg'almas Oxu koordinatalar sistemasiga nisbatan radius-vektorlari mos ravishida $\vec{r}_o$ va $\vec{r}$ bo'lsin. M nuqtaning O qutbga nisbatan radius-vektorini $\vec{\rho}$ bilan belgilaylik.




U holda

$$\vec{r} = \vec{r}_o + \vec{\rho}$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}_o}{dt} + \frac{d\vec{\rho}}{dt}$$

$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}_M$ *ва* $\frac{d\vec{r}_o}{dt} = \vec{v}_O$ mos ravishda M va O nuqtalarning $0_1xu$ koordinatalar sistemasiga nisbatan tezliklari.

$\frac{d\vec{\rho}}{dt} = \vec{v}_{MO}$ esa M nuqtaning O qutbdan o'tuvchi o'q atrofida aylanishidagi chiziqli tezligi.

$$\vec{v}_{MO} = \vec{\omega} \times \vec{\rho}, \qquad v_{MO} = \omega \cdot \rho.$$

Shunday qilib

$$\vec{v}_M = \vec{v}_O + \vec{v}_{MO}$$
$$\vec{v}_{MO} = \vec{v}_O + \vec{\omega} \times \vec{\rho} \qquad (2)$$

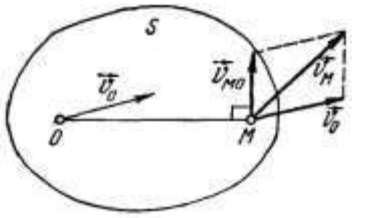
Tekis shakl nuqtasining tezligini (2) formula vositasida aniqlashga qutb usulida aniqlash deyiladi.

Agar $\vec{v}_O$ va $\vec{v}_{MO}$ va ular orasidagi burchak α berilgan bo'lsa, kosinuslar teoremasidan foydalanib M nuqta tezligining miqdori topiladi.

$$v_M = \sqrt{v_O^2 + v_{MO}^2 + 2v_O v_{MO} \cos\alpha} \qquad (3)$$

Teorema 2. *Tekis shakl ikkita nuqtasi tezliklarining shu nuqtalardan o'tuvchi o'qdagi proyeksiyalari o'zaro teng.*

$$\vec{v}_M = \vec{v}_O + \vec{v}_{MO}$$




Bu ifodani OM o'qqa proyeksiyalaymiz:

$$\Pi P_{OM}\vec{v}_M = \Pi P_{OM}\vec{v}_O + \Pi P_{OM}\vec{v}_{MO}$$

$$\Pi P_{OM}\vec{v}_{MO} = 0 \qquad (4)$$

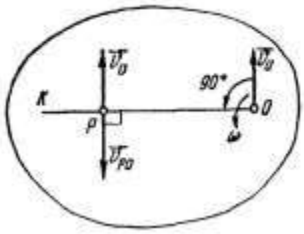
$$\Pi P_{OM}\vec{v}_M = \Pi P_{OM}\vec{v}_O$$

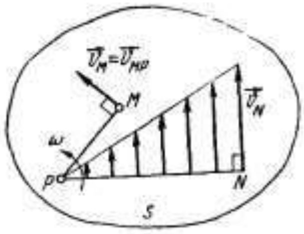
(4) ifoda yordamida tekis shakl nuqtasining tezligini aniqlashga proyeksiya usuli bilan aniqlash deyiladi.

Tezliklar oniy markazi

Tekis shaklning berilgan onda tezligi nolga teng bo'lgan nuqtasi tezliklar oniy markazi yoki aylanish oniy markazi deyiladi.

Teorema. *Agar tekis shaklning burchak tezligi noldan farqli bo'lsa, tezliklar oniy markazi mavjud bo'ladi.*




Berilgan onda burchak tezligi $\omega_z = \dot{\varphi}$ bo'lgan tekis shakl ixtiyoriy nuqtasining tezligi $\vec{v}_o$ ga teng bo'lsin. O nuqtani qutb deb olamiz va burchak tezlikning ishorasiga qarab tekis shaklning qutb atrofidagi aylanish yo'nalishini aniqlaymiz. Agar $\omega_z = \dot{\varphi} > 0$ bo'lsa, tekis shakl O nuqta atrofida soat strelkasi aylanishiga teskari, $\omega_z < 0$ bo'lsa, soat strelkasi aylanadigan yo'nalishda aylanadi $\omega_z > 0$ deb qarab aylanish yo'nalishi bo'yicha $\vec{v}_o$ tezlik vektorini O atrofida to'g'ri burchakka burish bilan olingan OK chiziqda yotuvchi va

$$PO = \frac{v_o}{\omega}$$

tenglikka binoan aniqlanadigan R nuqtaning tezligini hisoblaymiz.

$$\vec{v}_P = \vec{v}_O + \vec{v}_{PO}$$

$$v_{PO} = \omega \cdot PO = \frac{v_o}{\omega} \cdot \omega = v_o$$

$$\vec{v}_P = \vec{v}_O + \vec{v}_{PO} = 0$$

Demak, tezligi nolga teng bo'lgan tezliklar oniy markazi mavjud ekan.

Agar R nuqtani qutb deb olsak, $\vec{v}_P = 0$

$$\vec{v}_M = \vec{v}_P + \vec{v}_{MP} = \vec{v}_{MP}$$

Bunda $\vec{v}_{MP} = \omega \cdot PM$ yoki

$$v_M = \omega \cdot PM \qquad \omega = \frac{v_M}{PM}$$

$$v_N = \omega \cdot PN = v_M \frac{PN}{PM} \qquad \frac{v_N}{v_M} = \frac{PN}{PM}$$

Ya’ni tekis shakl nuqtalarining tezliklari shu nuqtalardan tezliklar oniy markazigacha bo’lgan masofalarga to’g’ri proporsional bo’ladi.

Tezliklar plani

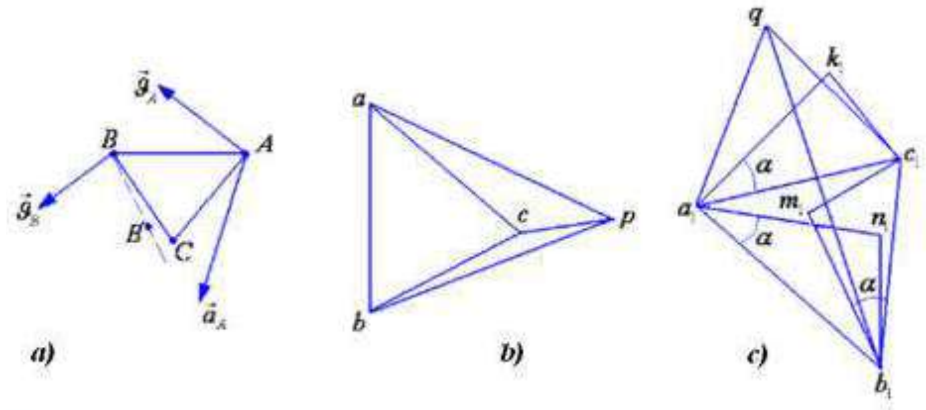
Aytaylik, 2.51, *a*-rasmda ko’rsatilgan tekis shakl nuqtalarining tezliklari, *A* nuqtaning $\vec{a}_A$ tezlanishi va *B* nuqtaning tezlanishi $BB'$ ma’lum bo’lsin. 2.51, *b*-rasmda tezliklar plani qurilgan. *B* va *C* nuqtalarning tezlanishlarini grafik usulda aniqlaymiz. (2.107) tenglikka asosan *B* nuqtaning tezlanishi uchun

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^{ay} + \vec{a}_{BA}^{m}$$

o’rinli bo’lib, bunda $\vec{a}_A$ ning yo’nalishi va son qiymati hamda $\vec{a}_{BA}^{ay}$ vektorning yo’nalishi ma’lum ( $\vec{a}_{BA}^{ay} \perp AB$ ). $\vec{a}_{BA}^{m}$ tezlanishning moduli

$$a_{BA}^{m} = \frac{\vartheta_{BA}^2}{AB} = \frac{(ab)^2}{AB} = \omega^2 \cdot AB$$

teng bo’lib, uning yo’nalishi, *AB* ga parallel yo’nalgan bo’ladi. $\vec{a}_B$ tezlanish esa $BB'$ bo’yicha yo’nalgan. Shu sababli $B$ nuqtaning tezlanishini grafik usulda aniqlash mumkin.




$a_A$ tezlanishga mos masshtabda ihtiyoriy $q$ nuqtadan $\overrightarrow{qa_1}$ vektorni $\vec{a}_A$ vektorga parallel qilib yo’naltiramiz. $\vec{a}_{BA}^{m}$ vektorga teng qilib *AB* ga parallel holda $\overrightarrow{a_1 n}$ vektorni yo’naltiramiz. $n_1$ nuqta orqali *AB* to’g’ri chiziqqa perpendikulyar qilib $\vec{a}_{BA}^{ay}$ vektorni ifodalovchi to’g’ri chiziqni chiqaramiz. So’ngra $q$ nuqtadan $BB'$ to’g’ri chiziqqa parallel qilib to’g’ri chiziqni o’tkazamiz. Bu chiziq bilan $\vec{a}_{BA}^{ay}$ uchun o’tkazilgan to’g’ri chiziqning kesishish nuqtasini $b_1$ bilan belgilaymiz (2.51, *c*-rasm).

Shunday qilib, $\overrightarrow{qb_1} = \vec{a}_B$ , $\overrightarrow{n_1 b_1} = \vec{a}_{BA}^{ay}$ , $\overrightarrow{a_1 n_1} = \vec{a}_{BA}^{m}$ va $\overrightarrow{a_1 b_1} = \vec{a}_{BA}$ vektorlarni qurdik. Qabul qilingan masshtab va vektorlar uzunliklari asosida $\vec{a}_B$ , $\vec{a}_{BA}^{ay}$ , $\vec{a}_{BA}^{m}$ va $\vec{a}_{BA}$ vektorlarning son qiymatlarini aniqlash mumkin.

Endi *C* nuqtaning tezlanishini aniqlaymiz. Buning uchun (2.107) tenglikka asosan

$$\vec{a}_C = \vec{a}_A + \vec{a}_{CA}^{ay} + \vec{a}_{CA}^{m} \ , \quad \vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^{ay} + \vec{a}_{CA}^{m} \ , \qquad (2.111)$$

tengliklarni olamiz. Bu tengliklarda *C* nuqtaning tezlanishining yo’nalishi va son qiymati berilmagani sababli (2.111) tengliklardan *C* nuqtaning tezlanishini aniqlay olmaymiz. Shuning uchun (2.111) tenglikning har ikki tenglamasining o’ng tomonlarini o’zaro tenglashtiramiz:

$$\vec{a}_A + \vec{a}_{CA}^{ay} + \vec{a}_{CA}^{m} = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^{ay} + \vec{a}_{CA}^{m} . \qquad (2.112)$$

Bu tenglamada $\vec{a}_{CB}^{m}$ tezlanishning yo’nalishi *C* nuqtadan *B* nuqta tomon yo’nalgan bo’lib, uning moduli

$$a_{CB}^{m} = \frac{\vartheta_{CB}^2}{BC}$$

Bundan tashqari $\vec{a}_{CB}^{ay}$ tezlanish $CB$ to'g'ri chiziqqa perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi. Shunday qilib (2.112) vektor tenglamada $\vec{a}_A$ , $\vec{a}_B$ , $\vec{a}_{CA}^{m}$ , $\vec{a}_{CB}^{m}$ , $\vec{a}_{CA}^{ay}$ vektorlar to'la aniqlangan va $\vec{a}_{CA}^{ay}$ , $\vec{a}_{CB}^{ay}$ vektorlarning yo'nalishi ma'lum. Demak, (2.112) tenglamani grafik usulda yechish mumkin.

$a_1$ nuqtadan $CA$ ga parallel qilib $\overrightarrow{a_1k_1} = \vec{a}_{CA}^{m}$ vektorni qo'yamiz va $k_1$ nuqta orqali $\overrightarrow{a_1k_1}$ vektorga perpendikulyar to'g'ri chiziq o'tkazamiz. Bu vektor bo'ylab $\vec{a}_{CA}^{ay}$ tezlanish yo'nalgan bo'ladi va vektorda $\vec{a}_C$ vektorning ohiri yotadi. Avval aniqlangan $b_1$ nuqtadan $CB$ ga parallel ravishda $\vec{a}_{CB}^{m} = \overrightarrow{b_1m_1}$ vektorni qo'yamiz va bu $\overrightarrow{b_1m_1}$ vektorga $m_1$ nuqta orqali perpendikulyar to'g'ri chiziq o'tkazamiz. Bu to'g'ri chiziq bo'yicha $\vec{a}_{CB}^{ay}$ tezlanish yo'nalgan bo'ladi va bu chiziqda $\vec{a}_C$ tezlanishning ohiri yotadi.

Demak, $\vec{a}_C$ vektor ohiri $\overrightarrow{a_1k_1}$ va $\overrightarrow{b_1m_1}$ vektorlarga o'tkazilgan perpendikulyarlar kesishgan $c_1$ nuqtada yotadi. $c_1$ nuqtani $q$ qutb nuqtasi bilan birlashtiramiz. $\overrightarrow{qc_1}$ vektor $\vec{a}_C$ vektorni to'la aniqlaydi. $\overrightarrow{qa_1}$ , $\overrightarrow{qb_1}$ va $\overrightarrow{qc_1}$ vektorlar *A*, *B* va *C* nuqtalarning tezlanishlarini to'la aniqlaydi.

$qa_1b_1c_1$ shakl - tekis shakl nuqtalari tezlanishlarining grafik ko'rinishida taqsimlanishini bildiradi va *tezlanishlar plani* deb ataladi.

Tezlanishlar planida $\overrightarrow{a_1b_1} = \vec{a}_{BA}$ , $\overrightarrow{a_1c_1} = \vec{a}_{CA}$ va $\overrightarrow{b_1c_1} = \vec{a}_{CB}$ vektorlar $B$ va $A$ nuqtalarning qutb nuqtalar atrorfidagi tezlanishlarini bildirib, ularning kattaliklari:

$$a_{BA} = AB \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}\ ,\ a_{CA} = AC \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}\ ,\ a_{CB} = BC \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \qquad (2.113)$$

Tezlanishlar planini qurish natijasida $a_1b_1c_1$ shaklni $ABC$ shaklga o'xshash ekanligi va u $\pi - \alpha$ burchakka burilgan bo'lib, $\alpha$ burchak

$$tg\alpha = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$$

formula orqali aniqlanadi.

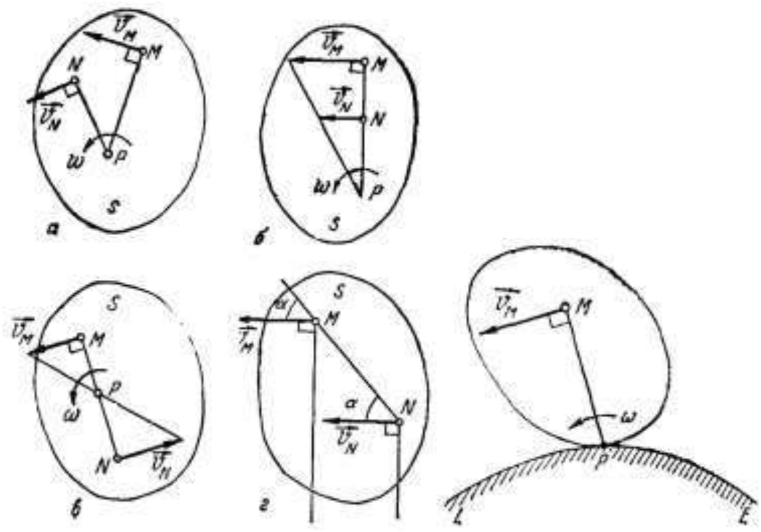
Tezliklar planidan tekis shaklning burchak tezligi aniqlanganidek, tezlanishlar plani orqali tekis shaklning burchak tezlanishini aniqlash mumkin. Haqiqatdan ham

$$n_1b_1 = a_{BA}^{ay} = \varepsilon \cdot AB,$$

u holda

$$\varepsilon = \frac{n_1b_1}{AB} \qquad (2.115)$$

Hulosa o'rnida shuni ta'kidlash kerakki, tezliklar plani yoki tezlanishlar plani asosida tekis shakl nuqtalarining tezlik va tezlanishlarining qiymatlari qanchalik aniq bo'lishi *masshtab*ni to'g'ri va aniq tanlashga hamda parallel va perpendikulyar chiziqlarni to'g'ri o'tkazishiga bog'liq bo'ladi.



Qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan sentroidalar

Tekis shakl ikkita M va N nuqtasi tezliklarining yo'nalishi ma'lum bo'lsin. M va N nuqtalardan $\vec{v}_M$ $ва$ $\vec{v}_M$ tezlik vektorlariga perpendikulyar o'tkazsak, ularning kesishgan R nuqtasi tezliklar oniy markazini ifodalaydi.

2. Agar M va N nuqtalarning tezlik vektorlari o'zaro parallel hamda $\vec{v}_M \perp MN$ bo'lsa, tezliklar oniy markazini aniqlash uchun tekis shakl nuqtalari tezliklarining miqdori shu nuqtalardan aylanish oniy markazigacha bo'lgan masofaga proporsional bo'lishi xususiyatidan foydalanimiz.

3. Agar $\vec{v}_M$ $ва$ $\vec{v}_M$ vektorlari o'zaro parallel, lyokin MN kesmaga perpendikulyar bo'lmasa, bu vektorlarga o'tkazilgan perpendikulyar cheksizlikda kesishadi hamda tezliklar oniy markazi mavjud bo'lmaydi, ya'ni berilgan onda tekis shakl ilgarilana harakatda bo'ladi.

4. Tekis shakl konturi biror qo'zg'almas sirt ustida sirpamasdan dumalasa, har onda tekis shakl bilan LE chiziqning urinish nuqtasi R ning tezligi nolga teng bo'ladi va tezliklar oniy markazini ifodalaydi.

Sentroidalar. Umumiy holda tezliklar oniy markazi vaqtning o'tishii bilan tekis shaklning harakat tekisligida o'z holatini o'zgartira boradi. Agar tezliklar oniy markazining har ondagi holatini tekis shaklda va harakat tekisligida belgilab borsak, ularning geometrik o'rni ikkita chiziqni ifodalaydi.

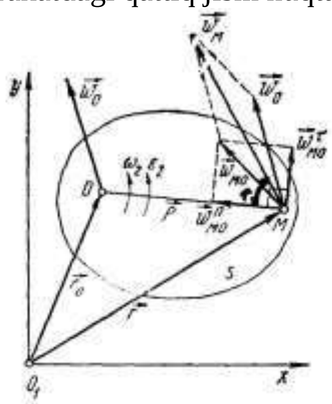
Tezliklar oniy markazining tekis shaklning harakat tekisligidagi geometrik o'rni *qo'zg'almas sentroida* deyiladi.

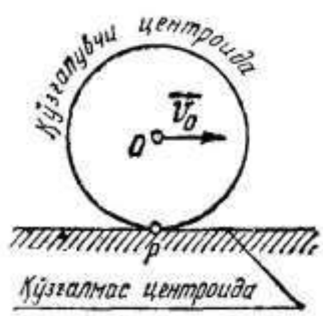
Tezliklar oniy markazining tekis shaklga bog'langan tekisligidagi geometrik o'rni *qo'zg'aluvchi sentroida* deyiladi.

Masalan, qo'zg'almas rels ustida sirpanmay dumalayotgan g'ildirak uchun qo'zg'almas sentroida to'g'ri chiziq, qo'zg'aluvchi sentroida g'ildirak gardishidagi aylanadan iborat.

Tekis shaklning harakatini qo'zg'aluvchi sentroidani qo'zg'almas sentroida ustida sirpantirmasdan dumalatish natijasida olish mumkin.

Tekis parallel harakatdagi qattiq jism nuqtalarining tezlanishlarini aniqlash. Tezlanishlar oniy markazi






Tekis shakl nuqtasining tezlanishini qutb usulida aniqlash

Teorema. *Tekis shakl ixtiyoriy nuqtasining tezlanishi qutbning tezlanishi bilan mazkur nuqtaning qutb atrofida aylanishdagi tezlanishining geometrik yig'indisiga teng.*

$$\vec{w}_M = \vec{w}_O + \vec{w}_{MO}$$

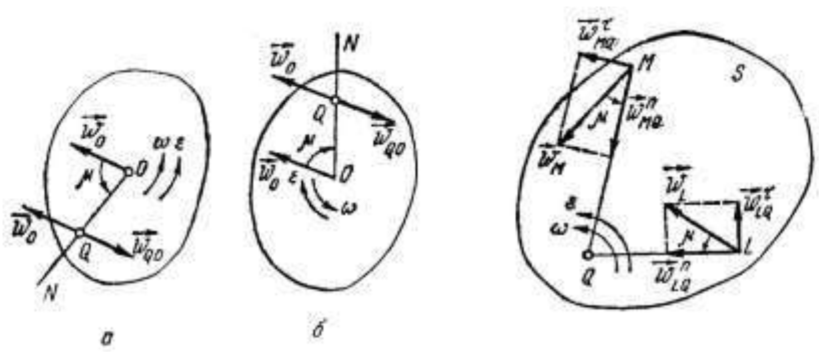
$$\vec{w}_{MO} = \vec{w}^{\tau}{}_{MO} + \vec{w}^{n}{}_{mo}$$

Bunda $\vec{w}^{\tau}_{MO}$ - *M* nutaning O qutb atrofida aylanishdagi aylanma tezlanishini, $\vec{w}^{n}_{MO} - M$ nuqtaning O qutb atrofidagi aylanishidagi markazga intilma tezlanishini ifodalaydi.

$$\vec{w}^{\tau}{}_{MO} = \varepsilon \cdot MO$$

$$\vec{w}^{\tau}{}_{MO} = \omega^2 MO$$

$$\vec{w}_{MO} = MO \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$$



$\vec{w}_{MO}$ ning ynalishi quyidagi tenglikdan aniqlanadi.

$$tg\mu = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$$

Tezlanishlar oniy markazi

Tezlanish berilgan onda nolga teng bo'lgan tekis shaklning (yoki tekis shaklga mahkam biriktirilgan va u bilan birgalikda harakatlanuvchi tekislikning) nuqtasi *tezlanishlar oniy markazi* deyiladi.

Teorema. *Ilgarilama harakatda bulmagan tekis shaklning harakat tekisligida har onda tezlanishlar oniy markazi mavjud bo'ladi.*

Tekis shaklning burchak tezligi $\omega$ burchak tezlanishi $\varepsilon$ va aylanish yo'nalishi hamda 0 nuqtasi (qutb) ning tezlanishi $\vec{w}_O$ berilgan bo'lsin. Tezlanishlar oniy markazini Q bilan belgilaylik. Q nuqtaning holatini aniqlash uchun $\mu$ burchakni topamiz.

$$\mu = arctg\ \frac{\varepsilon}{\omega^2}$$

$\vec{w}_o$ vektori bilan $\mu$ burchak tashkil etuvchi ON to'g'ri chiziqni o'tkazamiz, agar tekis shaklning aylanishi tezlanuvchan bo'lsa, $\mu$ burchak aylanish yo'nalishi bo'yicha, sekinlanuvchan bo'lsa, aylanishiga teskari yo'nalishda qo'yiladi.

ON chiziqda O nuqtadan

$$OQ = \frac{w_o}{\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}}$$

masofada Q nuqtani olsak, bu nuqta tezlanishlar oniy markazi bo'ladi.

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Qattiq jismning tekis parallel harakati deb qanday harakatga aytiladi?
2. Tekis shaklning harakat tenglamalarini keltiring
3. Qanday nuqtaga tezliklar oniy markazi deyiladi?
4. Tezliklar oniy markazini aniqlashga misollar keltiring
5. Qo'zg'almas va qo'zg'aluvchi sentroidalar nima?

## Mavzu: **NUQTANING MURAKKAB HARAKATI**

**Reja:**

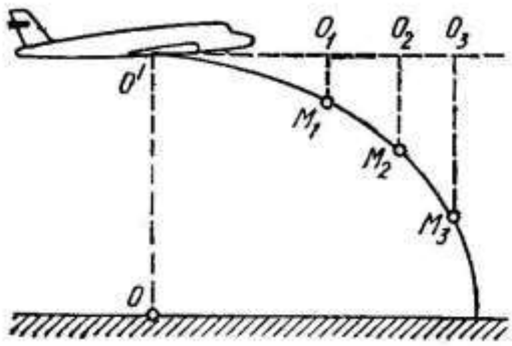
1. Nuqtaning nisbiy ko'chirma va murakkab harakatlari;
2. Tezliklarni qo'shish teoremasi;
3. Tezlanishlarni qo'shish teoremasi. (Koriolis teoremasi). Koriolis tezlanish.

**Tayanch iboralar**: Nuqtaning nisbiy ko‘chirma va murakkab harakatlari. Tezliklarni qo‘shish teoremasi. Tezlanishlarni qo‘shish teoremasi. (Koriolis teoremasi). Koriolis tezlanish.

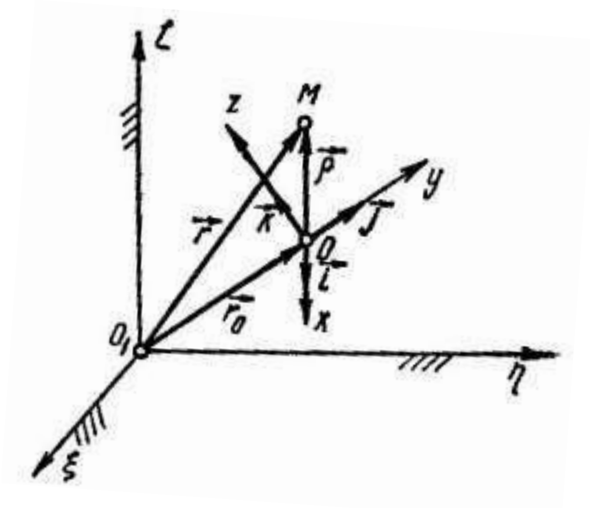
Nuqtaning nisbiy, ko’chirma va absolyut harakatlari

Mexanika masalalarini yechishda ko’pincha nuqtaning harakatini bir vaqtning o’zida ikkita koordinatalar sistemasiga nisbatan tekshirish maqsadga muvofiq bo’ladi. Bu holda koordinatalar sistemalaridan birini qo’zg’almas deb qabul qilamiz va uni asosiy koordinatalar sistemasi deb ataymiz.

Masalan, o’zgarmas tezlik bilan to’g’ri chiziq bo’yicha harakatlanayotgan samolyotdan boshlang’ich tezliksiz tashlangan yukning harakatini Yer bilan bog’langan asosiy koordinatalar sistemasiga hamda samolyotga biriktirilgan koordinatalar sistemasiga nisbatan tekshirish mumkin.




M nuqta biror *0xuz* koordinatalar sistemasiga nisbatan harakatlansin. O’z navbatida bu koordinatalar sistemasi qo’zg’almas deb olinadigan $O_1\xi\eta\zeta$asosiy koordinatalar sistemasiga nisbatan harakatlansin.




Nuqtaning ko’zg’aluvchi koordinatalar sistemasiga nisbatan harakati *nisbiy harakat* deyiladi.

M nuqtaning qo’zg’aluvchi koordinatalar sistemasiga nisbatan radius-vektorini $\rho$ koordinatalarini, *x,u,z* hamda qo’zg’aluvchi koordinata o’qlarining birlik yo’naltiruvchi vektorlarini mos ravishda $\vec{i}\,, \vec{j}, \vec{k}$ bilan belgilasak,

$$\vec{\rho} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \qquad (1)$$

munosabat o’rinli bo’ladi.

M nuqtaning nisbiy harakat tenglamalarini Dekart koordinata o’qlaridagi ifodasi quyidagicha yoziladi

$$\left.\begin{aligned} x &= x(t), \\ y &= y(t), \\ z &= z(t). \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Nuqtaning qo’zg’aluvchi koordinatalar sistemasiga nisbatan, trayektoriyasi nisbiy trayektoriya deyiladi. Nuqtaning bunday harakatdagi tezlik va tezlanishi mos ravishda nisbiy tezlik va nisbiy tezlanish deyiladi hamda $\vec{v}_r$ *ва* $\vec{w}_r$ bilan belgilanadi.

Qo’zg’aluvchi koordinatalar sistemasining va u bilan o’zgarmas ravishda bog’langan fazo nuqtalarining qo’zg’almas koordinatalar sistemasiga nisbatan harakati ko’chirma harakat deyiladi.

Ko’chirma tezlik $\vec{v}_e$ ko’chirma tezlanish $\vec{w}_e$ bilan belgilanadi.

Nuqtaning qo’zg’almas koordinatalar sistemasiga nisbatan harakati absolyut harakat deyiladi. Nuqta bir vaqtning o’zida ikki yoki undan ortiq harakatda ishtirok etsa, bunday harakat murakkab harakat deyiladi.

Absolyut harakatdagi nuqtaning tezlik va tezlanishi mos ravishda absolyut tezlik $\vec{v}_a$ va absolyut tezlanish $\vec{w}_a$ deyiladi.

2. Tezliklarni qo’shish teoremasi

Agar M va O nuqtalarning qo’zg’almas koordinata sistemasiga nisbatan radius-vektorini mos ravishda $\vec{r}$ va $\vec{r}_o$ bilan belgilasak, rasmdan

$$\vec{r} = \vec{r}_o + \vec{\rho} \tag{3}$$

munosabat o’rinli bo’lishini ko’ramiz (1) ni nazarda tutib, (3) ni

$$\vec{r} = \vec{r}_o + x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \tag{4}$$

ko’rinishda yozish mumkin.

M nuqtaning absolyut tezligini aniqlash uchun (4) dan vaqt bo’yicha hosila olamiz:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}_o}{dt} + \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k} + x\frac{d\vec{i}}{dt} + y\frac{d\vec{j}}{dt} + z\frac{d\vec{k}}{dt}. \tag{5}$$

(5) da quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$\vec{v}_r = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}. \tag{6}$$

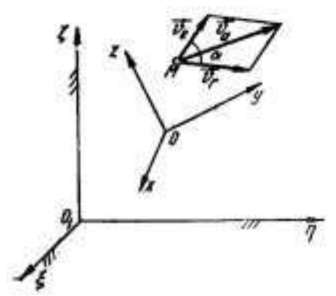
$$\vec{v}_e = \vec{v}_o + x\frac{d\vec{i}}{dt} + y\frac{d\vec{j}}{dt} + z\frac{d\vec{k}}{dt}. \tag{7}$$

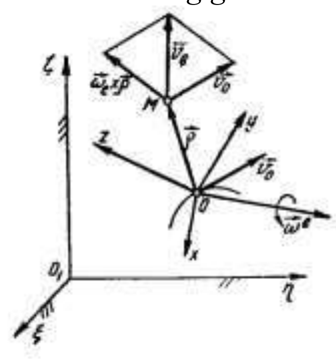
$$\vec{v}_o = \frac{d\vec{r}_o}{dt}; \qquad \vec{v}_a = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Shunday qilib, quyidagi tenglik hosil bo’ladi:

$$\vec{v}_a = \vec{v}_r + \vec{v}_e. \tag{8}$$

(8) tenglama murakkab harakatdagi nuqtaning tezliklarini qo’shish haqidagi teoremani ifodalaydi: *nuqtaning absolyut tezligi mazkur nuqta nisbiy va ko’chirma tezliklarining geometrik yig’indisiga teng.*





Absolyut tezlikning moduli kosinuslar teoremasidan foydalanib aniqlanadi

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_e^2 + 2v_r v_e \cos\alpha} \tag{9}$$

$\alpha = 90^0$ bo’lgan holda

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_e^2} \tag{10}$$

$\alpha = 0^0$ bo’lganda

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_e^2 + 2v_r v_e}. \tag{11}$$

Nisbiy va ko’chirma tezliklar qarama-qarshi tomonga yo’nalsa,

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_e^2 + 2v_r v_e} = |v_r + v_e|. \qquad (12)$$

munosaabatlar o'rinli bo'ladi.

Nuqtaning ko'chirma tezligini aniqlash ustida batafsiya to'xtalamiz. Agar qo'zg'aluvchi koordinatalar sistemasining berilgan ondagi burchak tezligi ma'lum bo'lsa, u holda $\frac{d\vec{i}}{dt}, \ \frac{d\vec{j}}{dt}, \ \frac{d\vec{k}}{dt}$ kattaliklarni mos ravishda $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ birlik vektorlarning uchlaridagi nuqtalarning tezligiga teng deb qarash mumkin. Shu sababli Eyler formulasiga ko'ra ushbu

$$\frac{d\vec{i}}{dt} = \vec{\omega}_e \times \vec{i}, \quad \frac{d\vec{j}}{dt} = \vec{\omega}_e \times \vec{j}, \quad \frac{d\vec{k}}{dt} = \vec{\omega}_e \times \vec{k}. \qquad (13)$$

tenglik o'rinli bo'ladi.

(13) ni (7) ga qo'yib, (1) ni e'tiborga olsak,

$$\vec{v}_e = \vec{v}_o + \vec{\omega}_e \times \left(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}\right) = \vec{v}_o + \vec{\omega}_e \times \vec{\rho}. \qquad (14)$$

formula o'rinli bo'ladi.

3. Koriolis teoremasi

M nuqtaning $\vec{w}_a$ absolyut tezlanishi mazkur nuqtaning absolyut tezligidan vaqt bo'yicha olingan hosilaga teng bo'ladi:

$$\vec{w}_o = \frac{d\vec{v}_o}{dt}.$$

(5) dan vaqt bo'yicha hosila olsak, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned} \vec{w}_a &= \frac{d^2\vec{r}_o}{dt^2} + \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k} + x\frac{d^2\vec{i}}{dt^2} + y\frac{d^2\vec{j}}{dt^2} + z\frac{d^2\vec{k}}{dt^2} + \\ &+ 2\left(\dot{x}\frac{d\vec{i}}{dt} + \dot{y}\frac{d\vec{j}}{dt} + \dot{z}\frac{d\vec{k}}{dt}\right). \end{aligned} \qquad (15)$$

(15) da quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$\vec{w}_r = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}, \qquad (16)$$

$$\vec{w}_e = \frac{d^2\vec{r}_o}{dt^2} + x\frac{d^2\vec{i}}{dt^2} + y\frac{d^2\vec{j}}{dt^2} + z\frac{d^2\vec{k}}{dt^2}, \qquad (17)$$

$$\vec{w}_k = 2\left(\dot{x}\frac{d\vec{i}}{dt} + \dot{y}\frac{d\vec{j}}{dt} + \dot{z}\frac{d\vec{k}}{dt}\right). \qquad (18)$$

Bu yerda $\vec{w}_r$ - nuqtaning nisbiy tezlanishi, $\vec{w}_e$ - nuqtaning ko'chirma tezlanishi, $\vec{w}_k$ - Koriolis tezlanishi.

Shunday qilib, nuqtaning absolyut tezlanishi uchun quyidagi tenglikni olamiz:

$$\vec{w}_a = \vec{w}_r + \vec{w}_e + \vec{w}_k. \qquad (19)$$

(19) tenglik murakkab harakatdagi nuqtaning tezlanishlarini qo'shish haqidagi G.Koriolis teoremasini ifodalaydi: *murakkab harakatdagi nuqtaning absolyut tezlanishi uning nisbiy, ko'chirma va Koriolis (yoki) kushimcha tezlanishlarining geometrik yig'indisiga teng.*

Agar ko'chirma harakat ilgarilama harakatdan iborat bo'lsa, u holda qo'zg'aluvchi koordinatalar sistemasining $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ birlik vektorlari harakat davomida hamisha o'ziga parallel ravishda ko'chadi. (17) va (18) da $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ vektorlardan vaqt bo'yicha olingan birinchi va ikkinchi tartibli hosilalar nolga teng bo'ladi, va

$\vec{w}_e = \vec{w}_o, \quad \vec{w}_k = 0$ munosabatlar o'rinli bo'ladi.

Natijada

$$\vec{w}_a = \vec{w}_r + \vec{w}_e \qquad (20)$$

bo’ladi.

Absolyut tezlanishning moduli

$$w_a = \sqrt{w_r^2 + w_e^2 + 2w_r w_e \cos\left(\vec{w}_r, \hat{\ } \vec{w}_e\right)} \qquad (21)$$

(21) tenglik tezlanishlarning parallelogramm qoidasi deyiladi.

Murkkab harakatdagi nuqtaning nisbiy, ko’chirma va Koriolis tezlanishlari

Nuqtaning nisbiy tezlanishini bevosita (16) formula yordamida yoki ko’zg’aluvchan koordinatalar sistemasini fikran qo’zg’almas deb qarab aniqlash mumkin.

Nuqtaning ko’chirma tezlanishi (17) dan foydalanib hisoblanadi. Bu formulada $\dfrac{d^2\vec{r}_o}{dt^2} = \vec{w}_o$ qo’zg’aluvchi $0xuz$ koordinatalar sistemasi boshining tezlanishini ifodalaydi. (13) ni e’tiborga olib (17) xadlarini quyidagicha o’zgartirish mumkin:

$$\frac{d^2\vec{i}}{dt^2} = \frac{d}{dt}\left(\frac{d\vec{i}}{dt}\right) = \frac{d}{dt}\left(\vec{\omega}_e \times \vec{i}\right) = \frac{d\vec{\omega}_e}{dt} \times \vec{i} + \vec{\omega}_e \times \frac{d\vec{i}}{dt} = \vec{\varepsilon}_e \times \vec{i} + \vec{\omega}_e \times \left(\vec{\omega}_e \times \vec{i}\right),$$

bu tenglikda $\vec{\varepsilon}_e = \dfrac{d\vec{\omega}_e}{dt}$ bilan berilgan ondagi ko’chirma harakat burchak tezlanishi belgilangan. Xuddi shu singari $\dfrac{d^2\vec{j}}{dt^2}$, $\dfrac{d^2\vec{k}}{dt^2}$ larni hisoblash mumkin:

$$\frac{d^2\vec{j}}{dt^2} = \vec{\varepsilon}_e \times \vec{j} + \vec{\omega}_e \times \left(\vec{\omega}_e \times \vec{j}\right),$$

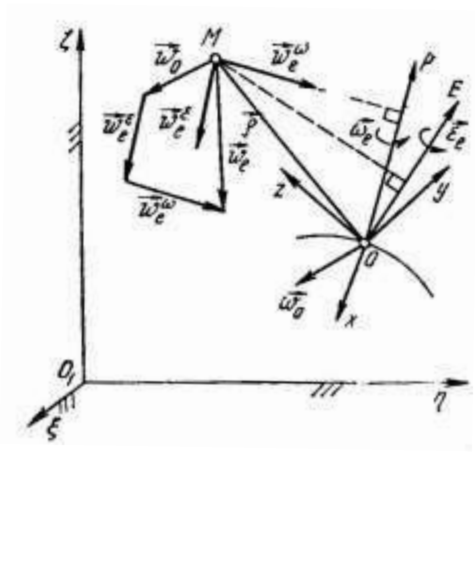
$$\frac{d^2\vec{k}}{dt^2} = \vec{\varepsilon}_e \times \vec{k} + \vec{\omega}_e \times \left(\vec{\omega}_e \times \vec{k}\right).$$

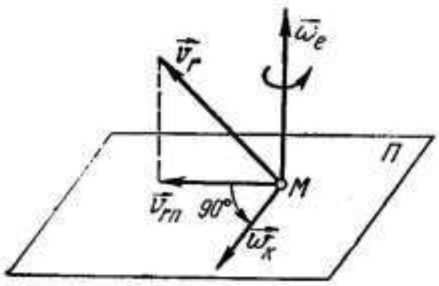
Natijada

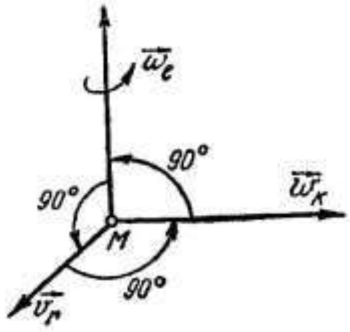
$$x\frac{d^2\vec{i}}{dt^2} + y\frac{d^2\vec{j}}{dt^2} + z\frac{d^2\vec{k}}{dt^2} = \vec{\varepsilon}_e \times \left(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}\right) + \vec{\omega}_e \times \left[\vec{\omega}_e \times \left(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}\right)\right] =$$

$$= \vec{\varepsilon}_e \times \vec{\rho} + \vec{\omega}_e \times \left(\vec{\omega}_e \times \vec{\rho}\right)$$

tenglikni olamiz.








Shunday qilib, ko’chirma tezlanish uchun quyidagi ifoda hosil bo’ladi:

$$\vec{w}_e = \vec{w}_o + \vec{\varepsilon}_e \times \vec{\varepsilon}_e \times \vec{\rho} + \vec{\omega}_e \times \left(\vec{\omega}_e \times \vec{\rho}\right) \qquad (22)$$

yoki

$$\vec{w}_e = \vec{w}_o + \vec{w}_e^{\varepsilon} + \vec{w}_e^{\omega}, \qquad (23)$$

bu yerda $\vec{w}_e^{\varepsilon} = \vec{\varepsilon}_e \times \vec{\rho}$ - aylanma tezlanish, $\vec{w}_e^{\omega}$ - o’qqa intilma tezlanish.

(13)ni nazarda tutib, Koriolis tezlanishini ifodalovchi (18) tenglikni quyidagicha yoza olamiz:

$$\vec{w}_k = 2\left[\dot{x}\left(\vec{\omega}_e \times \vec{i}\right) + \dot{y}\left(\vec{\omega}_e \times \vec{j}\right) + \dot{z}\left(\vec{\omega}_e \times \vec{k}\right)\right] = 2\left[\vec{\omega}_e \times \left(\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}\right)\right].$$

Koriolis tezlanishini ifodalovchi bu ifoda (6) ga ko’ra quyidagi ko’rinishni oladi:

$$\vec{w}_k = 2\left(\vec{\omega}_e \times \vec{v}_r\right). \qquad (24)$$

Demak, murakkab harakatdagi nuqtaning Koriolis tezlanishi qo’zg’aluvchi *0xuz* koordinatalar sistemasining berilgan ondagi burchak tezligi bilan nuqtaning nisbiy tezligi vektorli ko’paytmasining ikkilanganiga teng.

Koriolis tezlanishining moduli (24) tenglikka binoan

$$w_k = 2\vec{\omega}_e \vec{v}_r \sin\left(\vec{\omega}_e \hat{,} \vec{v}_r\right). \qquad (25)$$

formula bilan aniqlanadi.

Nuqtaning murakkab harakatiga oid masalalarni yechishda avvalo qo’zg’almas va qo’zg’aluvchi koordinata sistemalari tanlanib, nuqtaning absolyut harakati nisbiy va ko’chirma harakatlarga ajratiladi.

Murakkab harakatdagi nuqtaning tezligini topishda (8) formula bilan ifodalanadigan tezliklar parallelogrammi qoidasidan foydalaniladi.

Murakkab harakatdagi nuqtaning tezlanishlarini aniqlashga oid masalalarni 2 turga bo’lish mumkin:

Ko’chirma harakati ilgarilama harakat bo’lgan nuqtaning tezlanishlarini aniqlash.

Ko’chirma harakati ilgarilama harakatdan iborat bo’lmagan nuqtaning tezlanishlarini aniqlash.

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

6. Qattiq jismning tekis parallel harakati deb qanday harakatga aytiladi?
7. Tekis shaklning harakat tenglamalarini keltiring
8. Qanday nuqtaga tezliklar oniy markazi deyiladi?
9. Tezliklar oniy markazini aniqlashga misollar keltiring
10. Qo’zg’almas va qo’zg’aluvchi sentroidalar nima?
11. Qanday nuqtaga tezlanishlar oniy markazi deyiladi?
12. Nuqtaning nisbiy, ko’chirma va absolyut harakati deb qanday harakatlarga aytiladi?
13. Nuqtaning absolyut tezligi ifodasini keltiring
14. Absolyut tezlik moduli qanday aniqlanadi?
15. Nuqtaning absolyut tezlanishi ifodasini keltiring
16. Koriolis tezlanishi nima?

Mavzu: **DINAMIKANING ASOSIY TUSHUNCHALARI VA QONUNLARI**

**Reja:**
1. Dinamika predmeti.
2. Dinamikaning asosiy qonunlari.
3. Erkin moddiy nuqta harakatining differensial tenglamalari.
4. Dinamikaning ikki asosiy masalasi.

**Tayanch iboralar**: Dinamika, inersion massa, inersiya qonuni, inersial harakat, inersial sistema, dinamikaning asosiy qonuni, nuqtaning harakat miqdori, ta'sir va aks ta'sir qonuni, kuchlar ta'sirining o'zaro mustakillik qonuni

Dinamika yunoncha "dinamics" - kuch so'zidan olingan. Dinamikada moddiy nuqta, moddiy nuqtalar sistemasi va absolyut qattiq jismning harakati shu harakatni vujudga keltiruvchi kuchlar bilan birgalikda o'rganiladi.

Umumiy holatda kuch vaqtga, kuch qo'yilgan nuqtaning koordinatasiga va tezligiga bog'liq bo'lishi mumkin;

$$\vec{F} = \vec{F}(t, x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) \quad \text{yoki} \quad \vec{F} = \vec{F}(t, \vec{r}, \dot{\vec{r}}).$$

Har qanday jism harakati o'nga ta'sir etuvchi kuchlardan tashqari, jismning *inertligi* yoki inersiyasiga bog'liq bo'ladi.

Kuch ta'sir etmaganda jism o'z holatini yoki harakatini saqlashi kuch ta'sir etganda esa o'z harakatini birdaniga emas, balki jism tashkil topgan moddaning miqdoriga bog'liq ravishda asta-sekin o'zgarishi jismning inertligi xususiyatiga kiradi.

Qattiq jism tashkil topgan moddaning miqdori bilan xarakterlanuvchi va jismning inertlik o'chovini ifodalovchi kattalik *inersion massa* deyiladi.

Yer sirtiga yaqin masofadagi jism og'irligining P, uning erkin tushish tezlanishiga nisbati o'zgarmas bo'lib kuzatish joyiga bog'liq bo'lmaydi.

$$\frac{P}{g} = m = const \qquad (1.1)$$

Jismning fizik xususiyatiga bog'liq bo'lgan va (1.1) formula yordamida aniqlanadigan $m$ kattalikka *gravitasion massa* deyiladi.

Odatdagi sharoitda (kichik tezliklarda) gravitasion massa va inersion massa o'zaro tengligi isbotlangan.

Shunday qilib, massa jism tashkil topgan moddaning miqdoriy o'zlovchi bo'lishi bilan birga inersiya o'lchovini ham ifodalaydi.

A. Eynshteynning nisbiylik nazariyasida jismning massasi $m$ uning tezligiga bog'liq ravishda ushbu formula yordamida aniqlanishi isbotlanadi

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

bu yerda $m_0$ - jismning tinch holatdagi massasi
$v$ - jismining tezligi va
$c$ - yorug'lik tezligi.

Klassik mexanikada jismlarning tezligi yorug'lik tezligidan ancha kichik deb qaraladi. Shu sababli $v^2/c^2 \Rightarrow 0$ va $m = m_0$ deb qaraladi.

SI birliklar sistemasida massa kilogramm (kg) bilan o'lchanadi.

Jismning harakati unga ta'sir etuvchi kuchlardan tashqari jismning shakliga, ya'ni jism massasining qanday taqsimlanganliliga ham bog'liq bo'ladi.

Dinamikada dastlab moddiy nuqtaning harakati o'rganiladi. So'ngra olingan natijalar moddiy nuqtalar sistemasi va qattiq jismga tatbiq qilinadi.

Dinamikaning asosiy qonunlari

1-qonun (inersiya qonuni). *Tashqi ta'sirdan tanholangan moddiy nuqta kuch ta'sir etmaguncha o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi.*

Inersiya qonuniga asosli moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis harakati *inersial harakat* yoki inersiya bo'yicha harakat deyiladi.

Inersial harakatdagi moddiy nuqtaning tezlanishi nolga teng bo'ladi ($w=0$). Moddiy nuqtaning tezligini o'zgartirish uchun biror tashqi ta'sir – kuch bo'lishi kerak.

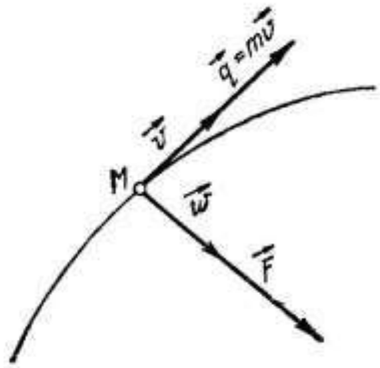
Dinamikada ham kinematikadagi kabi nuqtaning mexanik harakatini boshqa biror jism bilan bog'langan va sanoq sistemasi deb atalgan koordinatalar sistemasiga nisbatan o'rganiladi. Agar tanlangan sanoq sistemasi uchun inersiya qonuni o'rinli bo'lsa, bunday koordinatalar sistemasi inersial sistema deyiladi. Inersial sanoq sistemasiga nisbatan tekshirilayotgan harakat absolyut harakat deb qaraladi.

Texnikada uchraydigan ko'pgina masalalarni yechishda Yer bilan bog'langan koordinatalar sistemasi olinadi.

2-qonun (dinamikaning asosiy qonuni). *Moddiy nuqta harakat miqdorining o'zgarishi harakatlantiruvchi kuchga proporsional va kuchning ta'sir chizig'i bo'yicha sodir bo'ladi.*

Moddiy nuqtaning massasini uning berilgan ondagi tezlik vektoriga ko'paytmasiga teng $q$ vektor *nuqtaning harakat miqdori* deyiladi.

$$\vec{q} = m\vec{v}$$




Nyuton ikkinchi qonunining vektorli ifodasi quyidagiga yoziladi:

$$\frac{d}{dt}\left(m\vec{v}\right) = \vec{F}. \qquad (1.2)$$

Agar vaqt o'tishiibilan nuqtaning massasi o'zgarmasdan qolsa, u holda (1.2) ni quyidagicha yozish mumkin:

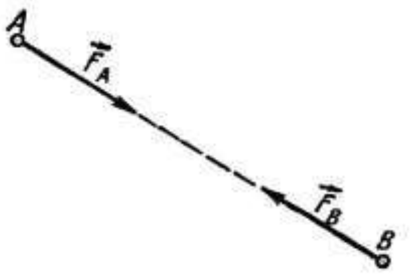
$$m\vec{v} = \vec{F}, \qquad (1.3)$$

bunda $\vec{w} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$

Nyutonning 2-qonunini ifodalovchi (1.3) tenglama nuqta dinamikasining asosiy tenglamasi deyiladi.

3-qonun (ta'sir va aks ta'sir qonuni). *Har qanday ta'sirga unga miqdor jihatdan teng, yo'nalishi qarama-qarshi bo'lgan aks ta'sir mos keladi, ya'ni ikkita moddiy nuqtaning o'zaro ta'siri miqdor jihatdan teng va shu nuqtalarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'naladi.*

Masalan A nuqta V nuqtaga $F_v$ kuch bilan ta'sir etsin va V nuqta A nuqtaga $F_A$ kuch bilan ta'sir etsin.




3-qonunga ko'ra

$$\vec{F}_B = -\vec{F}_A \qquad \text{ёки} \qquad \vec{F}_B = \vec{F}_A \qquad (1.4)$$

tenglik o'rinli bo'ladi.

Bunday ikkita kuchlar o'zaro muvozanatda bo'lmaydi, chunki ular moddiy nuqtalar deb tasavvur kilinadigan boshqa-boshqa jismlarga qo'yilgan.

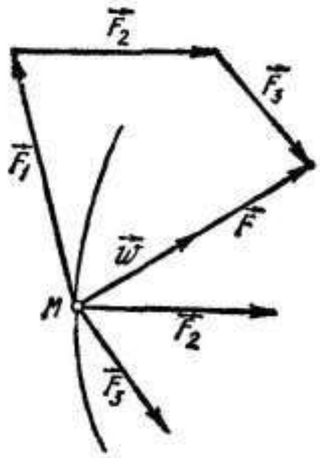
4-qonun (kuchlar ta'sirining o'zaro mustaqillik qonuni). *Agar moddiy nuqtaga bir nechta kuch ta'sir etsa, nuqtaning tezlanishi har bir kuchning alohida ta'siridan nuqta oladigan tezlanishlarning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi.*

Masalan M moddiy nuqta ($F_1$, $F_2$, ..., $F_n$) kuchlar ta'sirida bo'lsin.

U holda 4-qonunga asosan

$$\vec{w} = \vec{w}_1 + \vec{w}_2 + \ldots + \vec{w}_n. \qquad (1.5)$$

Natija. Nuqtaga ta'sir etuvchi kuchlar sistemasi shu kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisiga dinamik ekvivalent bo'ladi.




M moddiy nuqtaga uchta $F_1$, $F_2$, $F_3$ kuchlar ta'sir etayotgan bo'lsin (1.5) ni $m$ ga ko'paytirsak,

$$m\vec{w} = m\vec{w}_1 + m\vec{w}_2 + m\vec{w}_3 \qquad (1.6)$$

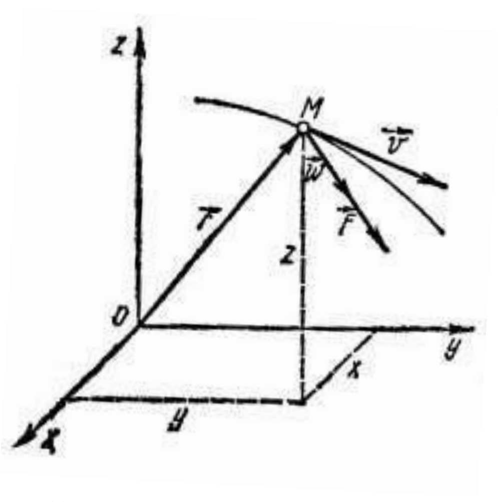
tenglik hosil bo'ladi.

2-qonunga ko'ra $m\vec{w}_1 = \vec{F}_1$, $\quad m\vec{w}_2 = \vec{F}_2$, $\quad m\vec{w}_3 = \vec{F}_3$

Shu sababli (1,6) ni quyidagicha yozish mumkin:

yoki $$m\vec{w} = \sum \vec{F}_v \qquad (1.7)$$

Bu vektorli tenglama kuchlar sistemasi ta'siridagi nuqta uchun *dinamikaning asosiy tenglamasini* ifodalaydi.




Erkin moddiy nuqta harakatining differensial tenglamalari

Massasi $m$ ga teng bo'lgan M erkin moddiy nuqta $F_1$, $F_2$, ... $F_n$ kuchlar ta'sirida $0xuz$ inersial to'g'ri burchakli Dekart koordinata o'qlari sistemasiga nisbatan harakatlansin. Yuqorida ko'rganimizdek bu nuqta uchun dinamikaning asosiy tenglamasi:

$$m\vec{w} = \sum \vec{F}_v \quad \text{yoki} \quad m\vec{w} = \vec{F}$$

ko'rinishda yoziladi.

Bunda $F$ - nuqtaga qo'yilgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi, $w$ - nuqtaning $F$ kuch ta'sir chizig'i bo'ylab yo'nalgan tezlanishi (rasmga qar.).

*1. Erkin moddiy nuqta harakatining vektor formadagi differensial tenglamasi*

$\vec{w} = \dfrac{d\vec{v}}{dt} = \dfrac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ bo'lgani uchun,

bunda $v$ - nuqtaning tezlik vektori,

$\vec{r}$ - nuqtaning radius – vektori.

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} \qquad (1.8)$$

yoki

$$m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \vec{F}. \qquad (1.9)$$

(1.8) yoki (1.9) tenglamalar erkin moddiy nuqta harakatining *vektor formadagi differensial tenglamasi* deyiladi.

*2. Erkin moddiy nuqta harakatining Dekart koordinata o'qlaridagi differensial tenglamalari.*

(1.9) ni *0xuz* inersial koordinata sistemasi o'qlariga proyeksiyalab, ushbu tenglamalarni olamiz:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = F_x, \qquad m\frac{d^2y}{dt^2} = \vec{F}_y, \qquad m\frac{d^2z}{dt^2} = \vec{F}_z$$

$$\text{ёки} \qquad m\ddot{x} = F_x, \qquad m\ddot{y} = \vec{F}_y, \qquad m\ddot{z} = \vec{F}_z \qquad (1.10)$$

Bunda *x, u, z* harakatlanayotgan M nuqtaning koordinatalari

$\dfrac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}, \qquad \dfrac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y}, \qquad \dfrac{d^2z}{dt^2} = \ddot{z}$ - nuqta tezlanishi $w$ ning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari; $F_x$, $F_u$, ..., $F_z$ teng ta'sir etuvchi kuch $F$ ning proyeksiyalari.

Agar $F_\nu$ ($\nu$=1,2,…,n) kuchlarning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari $X_\nu Y_\nu Z_\nu$ bilan belgilasak, teng ta'sir etuvchining koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari uchun

$$F_x = \sum X_\nu, \qquad \vec{F}_y = \sum Y_\nu, \qquad \vec{F}_z = \sum Z_\nu$$

munosabatlar urinlar bo'ladi. Shu sababli (1.10) ni

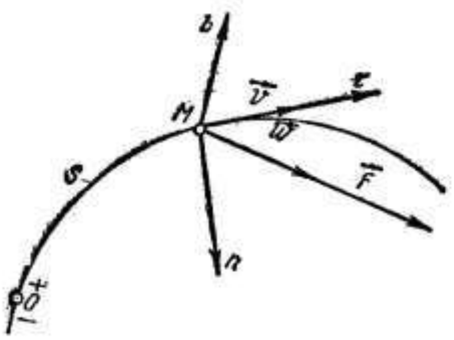
$$m\ddot{x} = \sum X_\nu, \qquad m\ddot{y} = \sum Y_\nu, \qquad m\ddot{z} = \sum Z_\nu \qquad (1.11)$$

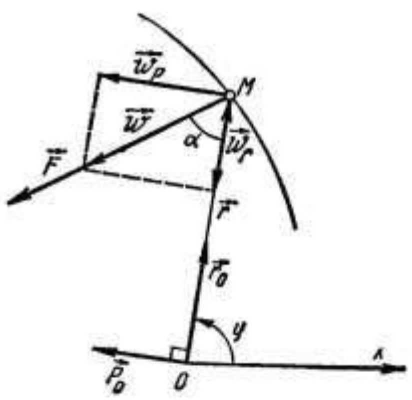
ko'rinishda yozish mumkin.

(1.10) yoki (1.11) tenglamalar erkin moddiy nuqta harakatining Dekart koordinata o'qidagi differensial tenlamalarini ifodalaydi.

Agar moddiy nuqta *0xu* tekisligida harakatlansa (1.10) ning birinchi ikkitasi o'rinli bo'ladi:

$$m\ddot{x} = F_x, \qquad m\ddot{y} = \vec{F}_y \qquad (1.12)$$




Agar nuqta to'g'ri chiziqli harakatda bo'lsa

$$m\ddot{x} = F_x \qquad (1.13)$$

Bu tanglama nuqta to'g'ri chiziqli harakatining differensial tenglamasi deyiladi.

*3. Erkin moddiy nuqta harakatining tabiiy koordinata o'qlaridagi differensial tenlamalari*

Tabiiy koordinata o'qlari: $M_\tau$ - urinma; $M_n$ - bosh nomal; $M_\nu$ - binormal.

Kinematikadan $w_\tau = \dfrac{dv_\tau}{dt} = \ddot{s}, \quad w_n = \dfrac{v^2}{\rho}, \quad w_b = 0$

bunda $v_\tau$ - tezlik vektorining urinmadagi proyeksiyasi,
s - nuqtaning yoy koordinatasi
ρ - trayektoriyaning M nuqtadagi egrilik radiusi

Teng ta'sir etuvchining urinma, bosh normal va binormaldagi proyeksiyalarini mos ravishda $F_\tau$, $F_n$, $F_b$ bilan belgilanadi.

$$m\ddot{s} = F_\tau, \quad m\frac{v^2}{\rho} = F_n \quad 0 = F_b \qquad (1.14)$$

(1.14) tenglamalarga erkin moddiy nuqta harakatining *tabiiy koordinata o'qlaridagi differensial tenglamalari* deyiladi.

Dinamikaning ikki asosiy masalasi

*Moddiy nuqta dinamikasining birinchi asosiy masalasi,* nuqtaning massasi va kinematik harakat tenglamalari berilganda shu harakatni vujudga keltiruvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisini aniqlashdan iborat. Bu masalaga nuqta dinamikasining to'g'ri masalasi deyiladi.

Masalani yechish nuqtaning kinematik harakat tenlamalaridan tezlanishni aniqlashga keltiriladi.

1. Agar massasi *m* ga teng moddiy nuqtaning harakati *r=r(t)* vektor usulda berilsa, nuqtaning radius-vektoridan vaqt bo'yicha ikki marta hosila olib, nuqtaning tezlanishni, so'ngra (1.9) ga asosan teng ta'sir etuvchi kuchni topamiz:

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \qquad (1.15)$$

2. Agar massasi *m* ga teng moddiy nuqta kinematik harakat tenglamalarining Dekart koordinata o'qlaridagi ifodalari *x=x(t), y=y(t), z=z(t)* ma'lum bo'lsa, ulardan ikki marta vaqt bo'yicha hosila olib, tezlanishning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarini, so'ngra (1.10) ga ko'ra teng ta'sir etuvchi kuchning proyeksiyalarini aniqlaymiz:

$$F_x = m\ddot{x}, \qquad F_y = m\ddot{y}, \qquad F_z = m\ddot{z} \qquad (1.16)$$

Natijada teng ta'sir etuvchi kuch moduli

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \qquad (1.17)$$

3. Agar massasi *m* ga teng moddiy nuqtaning harakati tabiiy usulda berilsa, u holda teng ta'sir etuvchi kuchning tabiiy koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarini (1.14) tenglamalardan aniqlaymiz:

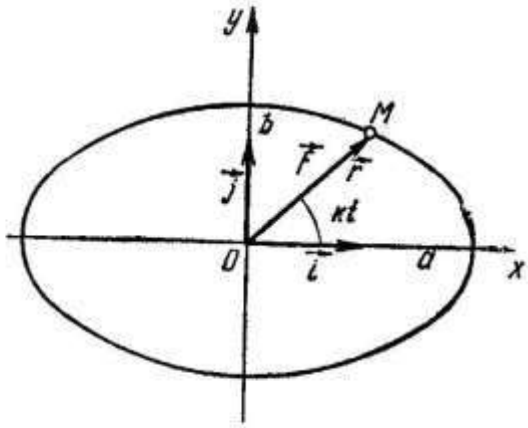
Teng ta'sir etuvchi kuch moduli

$$F = \sqrt{F_\tau^2 + F_m^2} \qquad (1.18)$$

*1- masala.* Massasi *m* ga teng bo'lgan moddiy nuqtaning harakati

$$\vec{r} = a\vec{i}\cos kt + b\vec{j}\sin kt \qquad (1)$$

vektorli tenglama bilan berilgan. Bunda $\alpha$ $b$ $k$ o'zgarmas miqdorlar. *i,j* lar esa *x* va *u* o'qlarining birlik vektorlarini ifodalaydi. Nuqtaga ta'sir etuvchi kuch aniqlancin.



*Yechish.* Koordinata o'qlarini rasmda ko'rsatilgandek olamiz. (1) ga ko'ra $M$ nuqtaning koordinatalari $x=a\cdot coskt$, $y=v\cdot sinkt$ tenglamalar bilan ifodalangani uchun mazkur nuqta yarim o'qlari $a$ va $v$ ga teng ellips bo'ylab xarakterlanadi.

dan vaqt bo'yicha ikki marta hosila olamiz:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = -ak\vec{i}\sin kt + bk\vec{j}\cos kt$$
$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -k^2\left(a\vec{i}\cos kt + b\vec{j}\sin kt\right) \qquad (2)$$

(1.15) ga asosan nuqtaga ta'sir etuvchi kuch

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -mk^2\left(a\vec{i}\cos kt + b\vec{j}\sin kt\right)$$

yoki (1) ni e'tiborga olsak

$$\vec{F} = -mk^2\vec{r}$$

ifoda topiladi.

*Moddiy nuqta dinamikasining ikkinchi asosiy masalasi*

Moddiy nuqta dinamikasining ikkinchi asosiy masalasi nuqtaning massasi va unga ta'sir etuvchi kuchlar berilganda nuqtaning kinematik tenglamalarini aniqlashdan iborat. Bu masala nuqta dinamikasining *teskari masalasi* deyiladi.

Ikkinchi asosiy masalani yechishda nuqta harakatining ikkinchi tartibli differensial tenlamalarini integrallash kerak. Nuqtaga ta'sir etuvchi kuchlar umumiy holda vaqt, nuqtaning holati va tezligiga bog'liq bo'lgani uchun bu differensial tenlamalarni umumiy holda integrallash mumkin emas. Moddiy nuqta dinamikasining ikkinchi asosiy masalasi ayrim xususiy hollardagina aniq yechimga ega.

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Nazariy mexanikaning dinamika bo'limi nimani o'rganadi?
2. Klassik mexanika asosiy qonunlarining mohiyati haqida so'zlab bering
3. Erkin moddiy nuqta harakatining differensial tenglamalari
4. Moddiy nuqta dinamikaning birinchi asosiy masalasining mazmuni nimadan iborat?
5. Moddiy nuqta dinamikaning ikkinchi asosiy masalasi qanday yechiladi?
6. Statikaning ikkita asosiy masalasi nimadan iborat?

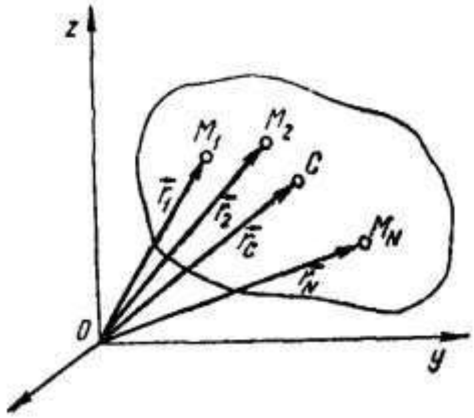
## Mavzu: **MODDIY NUQTA VA MEXANIK SISTEMA DINAMIKASI**

**Reja:**

1. Sistema massalar markazi;
2. Jismning inersiya momenti. Jismning parallel o'qlarga nisbatan inersiya momenti;
3. Jismning berilgan nuqtadan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inersiya momenti;
4. Bir jinsli ba'zi jismlarning inersiya momentlarini hisoblash;
5. Inersiya bosh o'qlarining xususiyatlari;
6. Mexanik sistema nuqtalariga ta'sir etuvchi kuchlarni klassifikatsiya qilish.

**Tayanch iboralar**: Mexanik sistema, o'zgarmas mexanik sistema, ichki kuchlar, tashqi kuchlar, sitemaning massasi, sistemaning massalar markazi, inersiya momenti.

Mexanik sistema $N$ ta nuqtadan tashkil topgan bo'lib, ularning massalari $m_1, m_2, \ldots m_N$ ga teng bo'lsin. Sistema nuqtalarini $M_1, M_2, \ldots M_N$ ning qo'zg'almas koordinatalari sistemasiga nisbatan radius-vektorlarini $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \ldots, \vec{r}_N$ ; koordinatalarini $(x_1, x_1, x_1)$, $(x_2, x_2, x_2)$, …, $(x_N, x_N, x_N)$ bilan belgilaymiz.




Sistema tarkibiga kiruvchi nuqtalarning massalarini yig'indisiga teng

$M=\Sigma m_\nu$

kattalikka *sistemaning massasi* deyiladi.

Radius vektori

$$\vec{r}_c = \frac{\sum m_\nu \vec{r}_\nu}{M} \qquad (5.4)$$

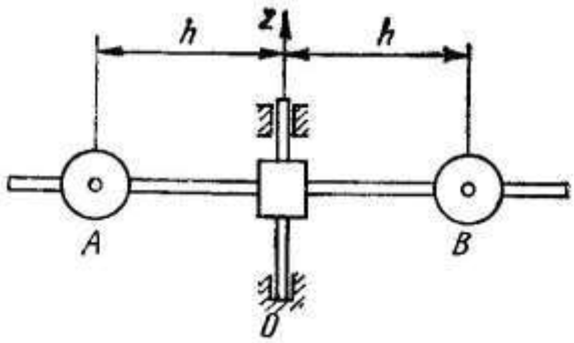
formula yordamida aniqlanadigan geometrik S nuqtaga *sistemaning massalar markazi* deyiladi.

(5.4) ni Dekart koordinata o'qlariga proyeksiyalab, sistema massalar markazining koordinatalari aniqlanadigan formulalarni olamiz.

$$x_c = \frac{\sum m_\nu x_\nu}{M}, \quad y_c = \frac{\sum m_\nu y_\nu}{M}, \quad z_c = \frac{\sum m_\nu z_\nu}{M} \qquad (5.5)$$

Jismning inersiya momenti

Inersiya momentlari




Sistema massalar markazining holati sistema massalarining taqsimlanishini to'liq xarakterlay olmaydi. Masalan, bir xil A va V sharlari markazlaridan aylanish o'qi *Oz* gacha bo'lgan *h* masofalarni bab-baravar orttirsak, u holda A va V sharlardan tashkil topgan sistemaning massalar markazi o'zgarmaydi, biroq sistemaning massalari boshqacha taqsimlanadi va natijada sistemaning harakati o'zgaradi (boshqa shartlar o'zgarmaganda aylanish sekinroq sodir bo'ladi). Shu sababli mexanikada sistema massalarining taqsimlanishini xarakterlash uchun *sistemaning inersiya momenti* tushunchasi kiritiladi.

Moddiy nuqtaning massasini biror *l* o'qqacha bo'lgan masofa kvadratiga ko'paytmasiga teng kattalikka *nuqtaning o'qqa nisbatan inersiya momenti* deyiladi.

Sistema nuqtalarining massalarini o'qqacha (nuqta yoki tekislikkacha) bo'lgan masofalar kvadratiga ko'paytmalarining yig'indisiga teng skalyar kattalikka mos ravishda sistemaning *o'qqa (nuqta yoki tekislikka) nisbatan inersiya momenti* deyiladi.

Nuqtaga nisbatan inersiya momenti ko'pincha *qutbga nisbatan inersiya momenti* deb ham ataladi.

Agar *l* o'qqa, 0 nuqtaga va P tekislikka nisbatan sistemaning inersiya momenlarini $J_l$, $J_0$ yoki $J_p$ bilan belgilasak, ta'rifga ko'ra

$$J_l = \sum m_\nu h_\nu^2, \;\; J_0 = \sum m_\nu r_\nu^2, \;\; J_l = \sum m_\nu d_\nu^2 \qquad (5.6)$$

formulalari o'rinli bo'ladi.

Bunda $m_\nu$ sistema $M_\nu$ nuqtasining massasini; $h_\nu$, $r_\nu$, $d_\nu$ lar esa mos ravishda $M_\nu$ nuqtadan *l* o'qqa, 0 nuqtaga va P tekislikkacha bo'lgan masofalarini ifodalaydi.

SI birliklari sistemasidagi inersiya momentining o'lchamligi [$J$]=kg·m$^2$

Koordinata o'qlariga nisbatan inersiya momentlari:

$$J_x = \sum m_\nu \left(y_\nu^2 + z_\nu^2\right)$$
$$J_y = \sum m_\nu \left(x_\nu^2 + z_\nu^2\right) \qquad (5.7)$$
$$J_z = \sum m_\nu \left(y_\nu^2 + x_\nu^2\right)$$

Koordinatalari boshiga nisbatan sistemaning inersiya momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$J_0 = \sum m_\nu r_\nu^2 = \sum m_\nu \left(x_\nu^2 + y_\nu^2 + z_\nu^2\right). \qquad (5.8)$$

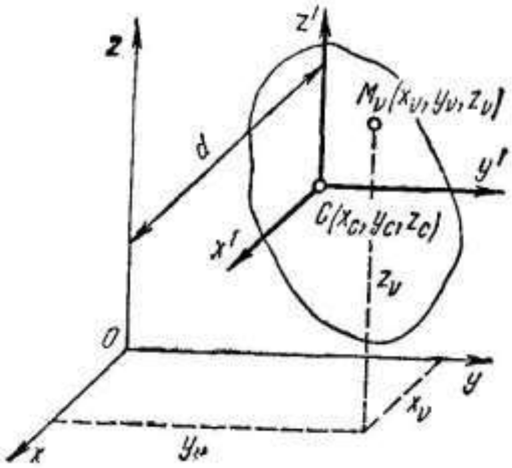
Koordinata tekisliklariga nisbatan IM

$$J_0 = \sum m_\nu r_\nu^2,$$
$$J_0 = \sum m_\nu r_\nu^2, \qquad (5.9)$$
$$J_0 = \sum m_\nu r_\nu^2$$

Ko'pincha sistemaning o'qqa nisbatan inersiya momentini

$$J_z = M_\nu \rho_i^2 \qquad (5.10)$$

ko'rinishda yoziladi.




Bundan

$$\rho_u = \sqrt{\frac{J_z}{M}} \qquad (5.11)$$

$\rho_i$ - sistemaning o'qqa nisbatan *inersiya radiusi* deyiladi.

Jismning parallel o'qlarga nisbatan inersiya momenti

Jismning massalar markazi orqali o'tuvchi o'qqa parallel bo'lgan o'qqa nisbatan inersiya momentini hisoblashni ko'rib chiqamiz. Aytaylik, o'zaro parallel bo'lgan *Oxyz* va *Sx'y'z'* Dekart koordinatalar sistemalari berilgan bo'lsin, bunda *S* nuqta sistemaning massalar markazida joylashgan.

O'qqa nisbatan inersiya momentining ta'rifiga ko'ra

$$\left.\begin{aligned} I_z &= \sum m_\nu \left(x_\nu^2 + y_\nu^2\right), \\ I_{z'} &= \sum m_\nu \left(x_\nu'^2 + y_\nu'^2\right), \end{aligned}\right\}$$

Agar *Oxyz* koordinatalar sistemasiga nisbatan massalar markazining koordinatalarini $x_c$, $y_c$, $z_c$ bilan belgilasak, u holda $M_\nu$ nuqtaning koordinatalari $x_\nu = x'_\nu + x_c$ ; $y_\nu = y'_\nu + y_c$ ; $z = z'_\nu + z_c$ munosabatlar bilan bog'langan bo'ladi.

Natijada

$$I_z = \sum m_\nu \cdot \left(x_\nu'^2 + y_\nu'^2\right) + 2x_c \cdot \sum m_\nu x'_\nu + 2y_c \cdot \sum m_\nu y'_\nu + \left(x_\nu^2 + y_\nu^2\right) \cdot \sum m_\nu$$

ifoda hosil bo'ladi.

Bu ifodada $\sum m_\nu \cdot \left(x_\nu'^2 + y_\nu'^2\right)$ jismning massalar markazi orqali o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti; $\sum m_\nu = M$ - butun jism massasi; $\sum m_\nu x_\nu' = Mx_c' = 0$ va $\sum m_\nu y_\nu' = My_c' = 0,$ chunki sistemaning massalar markazini ifodalovchi *S* nuqta *Sx'y'z'* Bundan tashqari $x_c^2 + y_c^2 = d^2$ (*d – Oz* va *Cz'* o'qlar orasidagi masofa) ekanligini e'tiborga olsak,

$$I_z = I_{z'} + Md^2$$

formula hosil bo'ladi.

Bu formula *Gyuygens-Shteyner teoremasini* ifodalaydi: *biror o'qqa nisbatan sistemaning inersiya momenti sistemaning massalar markazi orqali shu o'qqa parallel ravishda o'tgan o'qqa nisbatan inersiya momenti bilan sistema massasini o'qlar orasidagi masofalar kvadratiga ko'paytmasining yig'indisiga teng.*

Jismning berilgan nuqtadan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inersiya momenti

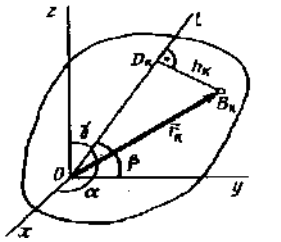
Oxyz o'qlar bilan, tegishlicha $\alpha$, $\beta$, va $\gamma$ burchaklar tashkil etuvchi Ol -o'qini o'tkazaylik (280 shakl). Ta'rif [(2) formula]ga ko'ra $J_l = \sum m_k h_k^2$ bo'ladi va $OB_kD_k$ uchburchakdan $h_k^2 = r_k^2 - (OD_k)^2$. Lekin $OD_k$ masofa, $\bar{r}_l = x_k\bar{i} + y_k\bar{j} + z_k\bar{k}$ vektorning Ol o'qidagi proektsiyasidan iborat bo'lgani sababli, $(x_k\bar{i}) = x_k sos\alpha$, $(y_k\bar{j}) = y_k sos\beta$ va $(z_k\bar{k}) = z_k\cos\gamma$ bo'ladi; hamda $r_k^2 = x_k^2 + y_k^2 + z_k^2$ ekanligini e'tiborga olsak: $J_l = \sum m_k[x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - (x_k sos\alpha + y_k\cos\beta + z_k\cos\gamma)^2]$.

Agar, $1-\cos^2\alpha = \cos^2\beta + \cos^2\gamma$, $1-\cos^2\beta = \cos^2\alpha + \cos^2\gamma$, va $1-\cos^2\gamma = \cos^2\alpha + \cos^2\beta$ ekanligi sababli, kosinuslar kvadratlari va kosinuslarning ko'paytmalarini qavsdan tashqariga chiqarib, (3) va (10) formulalarni e'tiborga olsak, yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishga keladi: $J_l = J_x\cos^2\alpha + J_y\cos^2\beta + J_z\cos^2\gamma - 2J_{xy}\cos\alpha\cos\beta - 2J_{yz}\cos\beta\cos\gamma - 2J_{zx}\cos\gamma\cos\alpha$ (12)

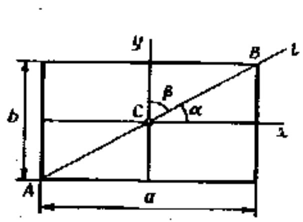
Agar, Oxyz o'qlarini jismning O nuqtadagi bosh inertsiya o'qlari bo'ylab yo'naltirsak, (12) formula soddalashadi, va $J_l = J_x\cos^2\alpha + J_y\cos^2\beta + J_z sos^2\gamma$ (12') ko'rinishga keladi. (12) va (12') formulalar orqali, berilgan Oxyz o'qlarga nisbatan inertsiya momentlari ma'lum bo'lsa va $O^1$ nuqtadan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inertsiya momentlarini hisoblash mumkin ekan. Agar jismning massa markazi ma'lum bo'lsa, (9) formula yordamida, ixtiyoriy nuqtadan o'tuvchi o'qqa nisbatan inertsiya momentlarini hisoblash mumkin bo'ladi.

Masala. Massasi m, tomonlari *a* va *b* larga teng bo'lgan, to'g'ri burchakli plastinaning diagonaliga nisbatan inertsiya momenti aniqlansin (2-shakl).

Yechish: Massa markazi S nuqtadan Sxy o'qlarni o'tkazamiz (shaklda Cz -o'qi ko'rsatilmagan), va bu o'qlar simmetriya o'qlari bo'lgani uchun, ular S nuqtadagi bosh inertsiya o'qlari hisoblanadilar. U holda γh90° ekanligi sababli, (12') formulaga asosan, $J_l = J_x\cos^2\alpha + J_y\cos^2\beta$ bo'ladi. Ushbu plastina uchun $J_x = mb^2/12$, $J_y = ma^2/12$ ekanligini aniqlaymiz; hamda $\cos\alpha = a/c$, $sos\beta = b/c$, va s=AV bo'ladi. Natijada: $J_l = ma^2b^2/6s^2 = ma^2b^2/6(a^2+b^2)$

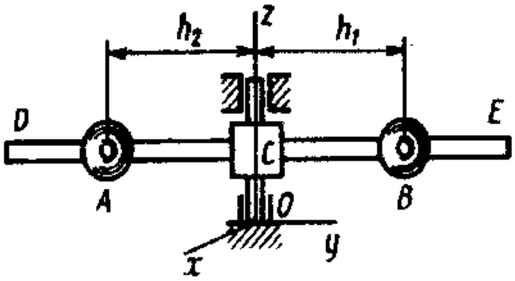



1-shakl




2-shakl.

Quyida, biz yuqorida kiritgan xarakteristikalar, ya'ni massalarning tarqalishini ikkita bir xil sharlarni Oz o'qi atrofida aylanayotgan sterjenning A va V nuqtalarga kiydirib qo'yilgandagi misolda ko'rib chiqamiz (3-shakl).




3-shakl.

Agar, $h_2 \neq h_1$ bo'lsa, u holda sistemaning massa markazi Oz -o'qida yotmaydi, va aylanish hisobiga podshipniklarda qo'shimcha bosim kuchi paydo bo'ladi; Agar, $h_2 hh_1$ bo'lsa, qo'shimcha bosim yo'q bo'ladi.

Agar $h_2=h_1$ bo'lgan holda, sharlar orasidagi masofani orttirsak, massa markazining o'rni o'zgarmaydi, lekin inertsiya momenti $J_z$ - ortadi va boshqa shartlar bir xil qolgan holda sterjenning aylanishi sekinlashadi.

Agar DE sterjenni Oyz tekisligida $\angle DC_z \neq 90°$ (ya'ni to'g'ri burchak bo'lmagan) burchakka bursak, $h_2 hh_1$ shartni saqlagan holda, sharlarni sterjenning chekkalariga surib qo'ysak, u holda massa markazining o'rni ham, inertsiya momenti $J_z$ -ning qiymati ham o'zgarmaydi. Ammo, markazdan qochma inertsiya momenti $J_{yz}$ - nolga teng bo'lmaydi, natijada Oz -o'q bosh inertsiya o'qi bo'lmay qoladi; natijada sterjenning aylanishida, podshipniklarga qo'shimcha ravishda yonmacha ravishda yo'nalgan bosim kuchlari paydo bo'ladi (o'qni «ura» boshlaydi).

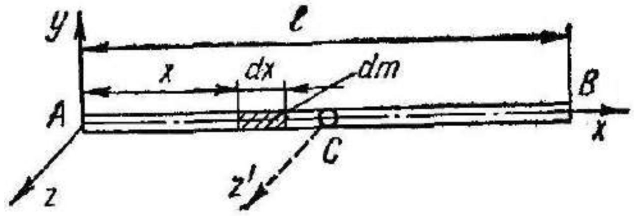
Inersiya ellipsoidi

Bir jinsli ba'zi jismlarning inersiya momentlarini hisoblash

Ko'pincha murakkab shaklga ega bo'lgan jimni oddiy shaklli jimlarga ajratish usuli bilan uning inersiya momentini aniqlash qulay bo'ladi. Bunday jismning inersiya momentini uning bo'laklari inersiya momentlarining yig'indisidan iborat deb qarash mumkin.

Bir jinsli oddiy shaklga ega bo'lgan ba'zi jimlarning inersiya momentlarini hisoblashni ko'rib chiqamiz.

Bir jinsli sterjenning inersiya momenti. *x* o'qni o'zunligi *l* ga teng ingichka *AV* sterjen bo'ylab yo'naltiramiz. Sterjenning *A* uchidan o'tuvchi va uning o'qiga perpendikulyar yo'nalgan *z* o'qqa nisbatan inersiya momentini hisoblaymiz.




Aytaylik sterjenning massasi M, zichligi $\rho_2 = M/l$ ga teng bo'lsin. U holda sterjen *dx* bo'lakchasining massasi $dm = \rho_2 dx$ ekanligini nazarda tutib quyidagini olamiz:

$$I_{Az} = \rho_2 \int_0^l x^2 dx = \rho_2 \frac{l^3}{3} = \frac{1}{3} Ml^2.$$

O'qqa parallel ravishda sterjenning massalar markazi orqali o'tuvchi *Cz'* o'qqa nisbatan inersiya momentini Gyuygens-Shteyner teoremasiga asosan aniqlaymiz:

$$I_{Az} = I_{Cz'} + Md^2, \text{ bunda } d^2 = \left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{l^2}{4}.$$

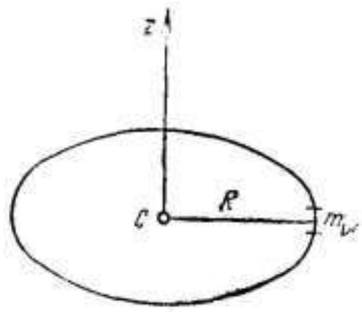
Binobarin,

$$I_{Cz'} = I_{Az} - M\frac{l^2}{4} = M\frac{l^2}{3} - M\frac{l^2}{4} = M\frac{l^2}{12}.$$

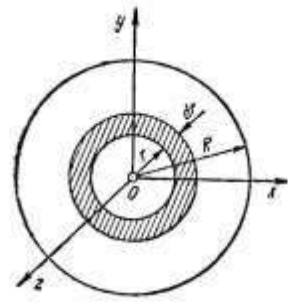
2. Ingichka doiraviy halqaning inersiya momenti. Massasi $M$ va radiusi $R$ ga teng doiraviy halqaning markazidan uning tekisligiga perpendikulyar ravishda o'tuvchi $Cz$ o'qqa nisbatan inersiya momentini hisoblaymiz. Halqaning barcha nuqtalari $Cz$ o'qdan bir xil $h_\nu = R$ masofada joylashgani tufayli

$$I_z = \sum m_\nu h_\nu^2 = \left(\sum m_\nu\right) R^2 = MR^2$$

bo'ladi, $\sum m_\nu = M$ halqaning massasi.




Bu formula massasi M, radiusi R ga teng yupqa qobiqli silindrning markaziy bo'ylama o'qiga nisbatan inersiya momentini topish uchun ham o'rinli bo'ladi.




3. Bir jinsli doiraviy diskning inersiya momenti. Massasi M, radiusi R ga teng doiraviy diskning O nuqtaga nisbatan inersiya momentini hisoblaymiz. O qutbga nisbatan diskning inersiya momenti shu nuqtadan disk tekisligiga perpendikulyar ravishda o'tuvchi Oz o'qqa nisbatan hisoblangan inersiya momentiga teng bo'ladi. Diskda radiuslari $r$ va $r+dr$ ga teng aylanalar orasidagi doiraviy halqani ajratamiz. Bu halqaning massasi

$$dm=2\pi r\rho_1 dr$$

ga teng.
Bu yerda

$$\rho_1 = \frac{M}{\pi R^2}$$ diskning zichligini ifodalaydi.

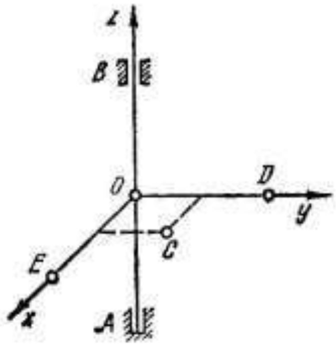
$$I_z = \int_{(M)} r^2 dm = \int_o^R r^2 \cdot 2\pi r\rho_1 dr = 2\pi\rho_1 \int_o^R r^3 dr = 2\pi\rho_1 \frac{R^4}{4} - \frac{MR^2}{2}.$$

Bu formula radiusi $R$ ga teng doiraviy silindrning markaziy bo'ylama o'qiga nisbatan inersiya momentini topish uchun ham o'rinli bo'ladi.

Disk tekisligidagi $Ox$ va $Ou$ o'qlarga nisbatan uning nuqtalari simmetrik joylashgani uchun $I_x = I_y$ . va $2I_o = I_y + I_x + I_z$ , lekin $I_z = I_o$ bo'lgani uchun

$$I_x = I_y = \frac{1}{2} I_o = \frac{MR^2}{4}$$

Masala. AV vertikal valga hamda o'zaro ⊥ bo'lgan r o'zunlikdagi OYe va OD sterjenlar vositasida bir xil Ye va D yuklar biriktirilgan. Sterjenlari va val massasini hisobga olmay va yuklarini moddiy nuqta deb qarab sistemaning massalari markazi topilsin.




Yechish. Koordinatalar o'qlarini o'tkazamiz. Yuklar massalarini m bilan belgilasak, Ye ( r,0,0), D (0,r,0) bo'lgani uchun (5.5) ga ko'ra

$$x_c = \frac{\sum m_\nu x_\nu}{\sum m_\nu} = \frac{mr}{2m} = \frac{r}{2}$$

$$y_c = \frac{\sum m_\nu y_\nu}{\sum m_\nu} = \frac{mr}{2m} = \frac{r}{2}$$

$$z_c = \frac{\sum m_\nu z_\nu}{\sum m_\nu} = \frac{0}{2m} = 0$$

Binobarin, sistemaning massalar markazi S(r/2; r/2; 0) nuqtada yotadi.

Inersiya bosh o'qlarining xususiyatlari

Agar O nuqtadan Oxyz o'qlarni o'tkazsak, u holda bu o'qlarga nisbatan, $J_{xy}$, $J_{yz}$, $J_{zx}$ qiymatlardan iborat bo'lgan va $J_{xy}=\sum m_k x_k y_k$, $J_{yz}=\sum m_k y_k z_k$, $J_{zx}=\sum m_k z_k x_k$ (10) *formulalar orqali aniqlanadigan markazdan qochma inertsiya momentlari* (yoki *inertsiyalar ko'paytmasi*) deb ataluvchi ifodalar paydo bo'ladi. Bu erdagi $m_k$- nuqtaning massasi, $x_k$, $y_k$ , $z_k$ -lar nuqtaning koordinatalari, hamda $J_{xy}= J_{yx}$ bo'ladi va h.k. Yaxlit jismlar uchun (10) formula (5') formula kabi quyidagi ko'rinishga keladi: $J_{xy}= \int_{(V)} \rho xy dV$ (10'). Markazdan qochma inertsiya momentlari, o'qlarga nisbatan momentlardan farqli ravishda, musbat yoki manfiy qiymatlarga ega bo'lishlari ham mumkin, va xususiy holda maxsus yo'naltirilgan Oxyz o'qlarga nisbatan nolga teng bo'lishlari ham mumkin.

B o sh i n e r ts i ya o' q l a r i. Simmetriya o'qiga ega bo'lgan bir jinsli jismni olib ko'raylik. Oxyz koordinata o'qlarini shunday yo'naltiraylikki, Oz o'qi jismning simmetriya o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsin (279 shakl). U holda, simmetriya qoidasiga asosan, jismning $m_k$ -massali va $x_k$, $y_k$ , $z_k$ - koordinatali har bir nuqtasiga, tegishli ravishda boshqa indeksli, shunday massali lekin koordinatalari teskari ishorali bo'lgan, ya'ni $-x_k$, $-y_k$ , $z_k$ nuqta, albatta, mavjud bo'ladi. Natijada $\sum m_k x_k z_k=0$ va $\sum m_k y_k z_k=0$ bo'ladi, chunki bu yig'indidagi qiymatlar moduli bo'yicha o'zaro teng, lekin teskari ishoralar bilan juft-juft bo'lib ishtirok etadilar; bundan (10) tenglikni e'tiborga olsak: $J_{xz}$ =0 $J_{yz}$=0 (11) bo'ladi.

Shunday qilib, z -o'qiga nisbatan massalar simmetrik ravishda joylashganliklari sababli, $J_{zx}$ va $J_{yz}$ lar nolga aylanish bilan xarakterlanadi. *Markazdan qochma inertsiya momenti nolga teng bo'lgan $J_{xz}$ va $J_{yz}$ qiymatlarning indekslarida ishtirok etgan Oz o'q, jismning O nuqtadagi bosh inertsiya o'qi deb ataladi.*

Yuqoridagilarga asosan, *agar jismning simmetriya o'qi mavjud bo'lsa, bu o'q shu jismning ixtiyoriy nuqtasidagi bosh inertsiya o'qi bo'ladi.*

Bosh inertsiya o'qi, albatta jismning simmetriya o'qi bo'lishi shart emas. Simmetriya tekislikka ega bo'lgan, bir jinsli jismni olib ko'raylik (shaklda *abcd* tekisligi simmetriya tekisligi hisoblanadi). SHu simmetriya tekisligida yotuvchi Oz, Ox va unga perpendikulyar yo'nalgan Oy o'qlarni o'tkazaylik. U holda, simmetriya qoidasiga asosan, jismning $m_k$ -massali va $x_k$, $y_k$ , $z_k$ - koordinatali har bir nuqtasiga, tegishli ravishda boshqa indeksli, shunday massali lekin koordinatalari shunday va teskari ishorali, ya'ni $x_k$, $-y_k$ , $z_k$ nuqta, albatta, mavjud bo'ladi. Natijada yuqoridagi kabi $\sum m_k x_k y_k=0$ va $\sum m_k y_k z_k=0$, yoki $J_{xu}$ =0, $J_{yz}$=0 bo'ladi. Shu sababli, u -o'qi O nuqtadagi bosh inertsiya o'qi bo'ladi. Shunday qilib, *agar jism simmetriya tekisligiga ega bo'lsa, shu tekislikka perpendikulyar ravishda yo'nalgan ixtiyoriy o'q, shu tekislikni kesib o'tgan O nuqtadagi bosh inertsiya o'qi hisoblanar ekan.* (11) tenglama, Oz o'qi jismning O nuqtasi (koordinata boshi)dagi inertsiya o’qi ekanligining sharti hisoblanadi. Xuddi shu kabi, agar $J_{xu}=0$, $J_{yz}=0$ bo’lsa, u holda Ou o’qi jismning O nuqtadagi bosh inertsiya o’qi hisoblanadi. Demak, *agar barcha markazdan qochma inertsiya momentlari, ya’ni:*

$$J_{xu}=0,\ J_{yz}=0,\ \ J_{zx}=0 \qquad (11')$$

*bo’lsa, u holda har bir koordinata o’qlari, jismning O nuqta (koordinata boshi) dagi bosh inertsiya o’qi hisoblanadi.*

Masalan, shakldagi uchala Oxyz -o’qlari (Oz -o’qi simmetriya o’qi bo’lganligi sababli, Ox va Oy -o’qlari esa simmetriya tekisligiga perpendikulyar bo’lganligi sababli) jismning O nuqtadagi bosh inertsiya o’qlari hisoblanadi.

Bosh inertsiya o’qlariga nisbatan aniqlangan inertsiya momentlari, *jismning bosh inertsiya momentlari* deb ataladi.

Jismning massalar markazidan o’tkazilgan bosh inertsiya o’qlari, *bosh markaziy inertsiya o’qlari* deb ataladi. Yuqorida isbot qilinganlarga asosan, agar jism simmetriya o’qiga ega bo’lsa, u holda bu o’q jismning bosh markaziy o’qlaridan biri hisoblanadi, chunki massa markazi shu o’qda joylashgan bo’ladi. Agar, jism simmetriya tekisligiga ega bo’lsa, u holda shu tekislikka perpendikulyar bo’lib, jismning massa markazidan o’tsa, bu o’q ham bosh markaziy inertsiya o’qlaridan biri hisoblanadi.

Yuqorida ko’rib o’tilgan misollarda, asosan simmetrik jismlar tahlil qilindi, masalalar echishda uchraydigan jismlarning ko’pchiligi aynan shundaylardan iborat bo’ladi. Lekin, shuni isbot qilish mumkinki, har qanday jismning ixtiyoriy nuqtasidan hech bo’lmaganda o’zaro perpendikulyar bo’lgan uchta o’qni shunday o’tkazish mumkinki, ular uchun (11’) tenglama qanoatlanadi, ya’ni jismning shu nuqtadagi bosh inertsiya o’qlari hisoblanadi.

Mexanik sistema nuqtalariga ta’sir etuvchi kuchlarni klassifikatsiya qilish

Mexanik sistema (yoki qisqacha sistema) deb shunday moddiy nuqtalar to’plamiga aytiladiki, uning har-bir nuqtasining harakati va holati sistema tarkibiga kiruvchi boshqa nuqtalarning harakati va holatiga bog’liq bo’ladi.

Mexanik sistemani tashkil etuvchi nuqtalarning o’zaro ta’sir kuchlari *ichki kuchlar* deyiladi. Mexanik sistema tarkibiga kirmaydigan nuqta yoki jismlarning berilgan sistema nuqtalariga ta’sir kuchlari *tashqi kuchlar* deyiladi.

1. Sistema barcha ichki kuchlarining geometrik yig’indisi (ichki kuchlarning bosh vektori) nolga teng.

$$\sum_{\nu=1}^{N} \vec{F}_{\nu}^{\,i} = 0 \qquad (5.1)$$

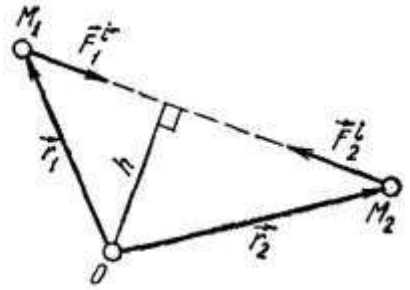
Bunda $\vec{F}_{\nu}^{\,i}$ - nomeri ga teng nuqtaga ta’sir etuvchi ichki kuchlari teng ta’sir etuvchisi, $N$ - mexanik sistema tarkibiga kiruvchi nuqtalar soni.

Sistema barcha ichki kuchlari ixtiyoriy nuqtaga nisbatan momentlari geometrik yig’indisi (ichki kuchlari bosh momenti) nolga teng:

$$\vec{M}_{0}^{\,i} = \sum \left(\vec{F}_{\nu}^{\,i}\right) = 0 \qquad (5.2)$$

yoki $$\vec{M}_{0}^{\,i} = \sum \vec{r}_{\nu} \cdot \vec{F}_{\nu}^{\,i} = 0 \qquad (5.3)$$

Agar sistema ikkita $M_1$ va $M_2$ nuqtalardan tashkil topsa




$$\vec{F}_{2}^{\,i} = -\vec{F}_{1}^{\,i}$$

$$\vec{F}_{1}^{\,i} + \vec{F}_{2}^{\,i} = 0$$

$$\vec{M}_{0}\left(\vec{F}_{1}^{\,i}\right) + \vec{M}_{0}\left(\vec{F}_{2}^{\,i}\right) = 0$$

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Mexanik sistemaning ta'rifini bering
2. Ichki va tashqi kuchlarning ta'rifini bering
3. Sitemaning massasi va massalar markazini aniqlovchi ifodalarni keltiring
4. Sistemaning o'qqa (nuqta yoki tekislikka) nisbatan inersiya momenti tushunchasining ta'rifini bering va ifodalarini keltiring
5. Inersiya radiusi deb qanday o'lchamga aytiladi?

## Mavzu: **MATERIALLAR QARSHILIGI. ASOSIY TUSHUNCHALAR**

**Reja:**

1. Umumiy tushunchalari, maqsadi va vazifalari;
2. Materiallar qarshiligi uchun qabul qilingan asosiy prinsip va farazlar;
3. Konstruksiya elementlarining oddiy turlari va ularning hisob sxemalari;
4. Konstruksiya elementlari orasidagi bog'lanishlar, bog'lanishlarning hisob sxemalari.

**Tayanch iboralar:** Mustahkamlik, bikrlik, ustivorlik, deformasiya, sterjen, to'sin, val, plastina, qobiq, hajmiy jismlar, elastiklik, plastiklik, mo'rtlik, izotrop va anizatrop materiallar, farazlar va yo'l qo'yilishlar, tayanchlar.

***Materiallar qarshiligi*** fanining paydo bo'lishi o'yg'onish davriga to'g'ri keladi. Ma'lumki bu davrga kelib texnikani, savdo-sotiqni rivojlantirish, dengizlarda so'zishni va harbiy ishlarni rivojlantirish uchun katta-katta kemalar, ko'priklar, gidrotexnik inshootlar va boshqa murakkab mashina-mexanizmlarni yaratish lozim edi. Fanning asoschisi sifatida mashhur italyan olimi Galileyni (*XVII asr*) ko'rsatish mumkin. Bu fan haqidagi dastlabki nazariy ishlarni u qilgan bo'lsa ham, ammo materiallarning fizik xossalarini e'tiborga olmaganligi sababli katta no'qsonlarga yo'l qo'ygan edi.

Materiallar qarshiligini o'rganishga asos soluvchi tajribalarni dastlab shu asrning mashhur fiziklari *Guk, Mariott, Dyugamel, Kulon* va boshqalar o'tkazgan edi. Fanning tarixi to'g'risida ma'lumotlar adabiyotlarda batafsil keltirilgan.

Amaliyot shuni ko'rsatadiki, har qanday jism tashqi ta'sir natijasida *deformasiyalanadi*, ya'ni o'zining shakl va o'lchamlarini o'zgartiradi. Ba'zi bir hollarda esa konstruksiyaning buzilish hollari ham uchraydi.

Mashina va inshootlar mustahkam bo'lishi bilan birga, bikr bo'lishi ham zarur, ya'ni konstruksiyalar yoki ularning ayrim qismlari tashqi kuchlar ta'siridan katta deformasiyalar hosil qilmasligi kerak.

*Materiallar qarshiligi* mashina va inshooat elementlari va jismlarini mustahkamligini va deformasiyalanishini o'rganuvchi fan.

*Mustahkamlik* deb, konstruksiya va uning elementlarida materialining tashqi kuchlar ta'siriga buzilmasdan qarshilik ko'rsatish xususiyatiga aytiladi.

Materiallar qarshiligi fanida konstruksiya elementlarini *mustahkamlikka, bikrlikka va ustivorlikka* hisoblash usullari ko'rib chiqiladi.

*Mustahkamlikka hisoblash* kam material sarflagan holda berilgan yukni ko'tarib turadigan detalning o'lcham va shaklini aniqlashga imkon beradi.

*Bikrlik* deb, konstruksiya va uning elenmentlarini deformasiya paydo bo'lishiga qarshilik ko'rsatish xususiyatiga aytiladi.

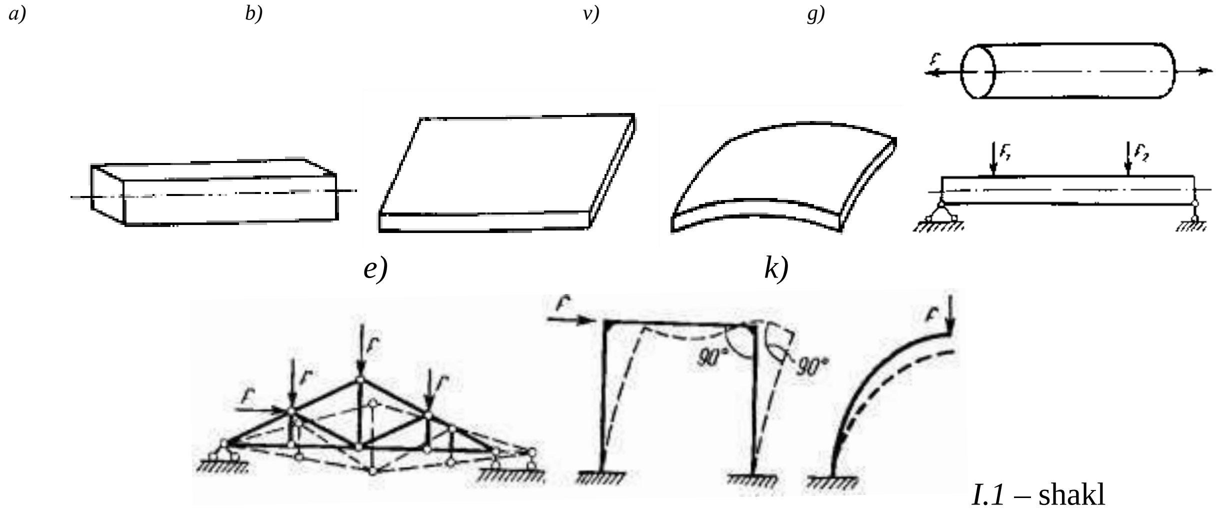
*Bikrlikka hisoblash* konstruksiya va uning elementlarining shakli va o'lchamlarining o'zgarishi (tashqi ta'sir natijasida) ruxsat etilgan me'yor (norma)lardan oshmasligini ta'minlaydi.

*Ustivorlik* deb, konstruksiya va uning elementlarini dastlabki muvozanat holatidan chetga chiqarmoqchi bo'lgan ta'sirga qarshilik ko'rsatish xususiyatiga aytiladi.

*Ustivorlikka hisoblash* konstruksiya elementlarini to’satdan ustivorligini yo’qotish holatlarini oldini oladi. Bunga misol qilib uzun to’g’ri sterjenni o’qi bo’ylab qisilganda to’satdan egrilanishini keltirish mumkin.

Bu masalalarni hal qilishda materiallar qarshiligi umumta’lim va unummuxandislik fanlariga tayanadi. Asosan *matematika, fazika va nazariy mexanika* fanlariga. Bu fanlarni (xususan nazariy mexanikaning *statika* bo’limi) bilmagan talaba bu fanni o’zlashtira olmaydi.

Injenerlar amaliyotida uchraydigan konstruksiya turlari xilma xil bo’lib, ular anchagina murakkabdir. Ularning elementlari qo’yidagi oddiy ko’rinishlarda uchraydi.




*I.1* – shakl

*To’sin* – ko’ndalang kesim o’lchamlari uzunlik o’lchamiga qaraganda juda kichik bo’lgan konstruksiya qismlariga aytiladi (*I.1 -shakl, a*).

*Plastinka yoki plita* - jismning qalinligiga nisbatan o’lchamlari katta bo’lgan tekis sirt bilan o’ralgan konstruksiya qismlariga aytiladi (*I.1 -shakl, b*).

*Qobiq* – qalinligi boshqa o’lchamlariga nisbatan juda kichik bo’lgan egri sirt bilan o’ralgan konstruksiya qismlariga aytiladi (*I.1 -shakl,v*). Bularga samolyot, raketa fyuzelajlari va turli me’morchilik go’mbazlari, paroxod korpuslari va hakozolar kiradi.

*Massiv* – uchta o’lchami bir xil tartibda bo’lgan konstruksiya qismlariga aytiladi. Bularga imorat fundamentlari, ko’prik tayanchlari va hakozolar kiradi.

*Sterjen* – to’g’ri o’qli cho’ziluvchi yoki qisiluvchi ingichka to’singa aytiladi (*I.1 – shakl,g*).

Konstruksiyaning yuqorida bayon qilingan elementlardan tashqari ularning tuzilmalari ham bo’ladi. Bu tuzilmalar ayrim elementlardan tarkib topgan bo’lib, ular konstruksiya qismlari deyiladi.

*Ferma* - bir qancha sterjenlardan sharnirlar vositasida tutashtirib tuzilgan geometrik o’zgarmaydigan sistemaga aytiladi (*I.1- shakl,e*). Ferma sterjenlarida sharnirlar bo’lgani uchun ular faqat cho’zilish yoki qisilishga qarshilik ko’rsatadi.

*Rama* – bir qancha to’sinlarni bikr qilib tutashtirishdan hosil bo’lgan sistemaga aytiladi (*I.1- shakl,k*). Rama yuklanganda uning ayrim elementlari egilib, tutashtirilgan no’qtalaridagi to’g’ri burchaklari o’zgarmaydi. Shaklda ramaning deformasiyadan keyingi vaziyati punktir chiziq bilan ko’rsatilgan.

Agar to’sinning o’qi egri chiziq bo’lsa, bundan to’sin egri to’sin deyiladi (*I.1- shakl,n*). Shaklda egri to’sinning deformasiyadan keyingi vaziyati punktir chiziq bilan ko’rsatilgan.

Agar to’sin yoki sterjen prizma shaklida bo’lsa, prizmatik to’sin yoki prizmatik sterjen deb ataladi. Geometriya no’qtai nazaridan olganda bunday to’sin yoki sterjen tekis shaklning markazi bir to’g’ri chiziq bo’ylab boradigan tarzda ilgarilama harakat qildirilishidan hosil bo’ladi, bunda tekis shakl o’z markazi harakat qilgan chiziqqa hamma vaqt tik qolishi zarur. Tekis shaklning og’irlik markazi harakat qilgan chiziq to’sin yoki sterjenning o’qi deb, tekis shaklning o’zi esa, to’sin yoki sterjenning ko’ndalang kesim yuzi deb ataladi.

To’sin o’qiga perpendikulyar, bo’lgan tekis kesimlar ko’ndalang to’sin o’qiga parallel bo’lgan kesimlar bo’ylama, qolgan kesimlar esa qiya kesimlari deyiladi.

Jismga ta’sir etuvchi tashqi ta’sir olib tashlangandan keyin ular ta’sirida paydo bo’lgan deformasiya to’liq yoki qisman yuqolishi mumkin.

Jismning tashqi kuch ta’siri olib tashlangandan keyin ular ta’sirda paydo bo’lgan deformasiyani to’liq yo’qotish xususiyati *elastiklik* deb ataladi.

Tashqi ta’sir etuvchi kuch olib tashlangandan keyin yo’qoladigan deformasiyaga *elastiklik deformasiya*, yo’qolmaydigan (qisman qoladigan) deformasiyaga esa *qoldiq* yoki *plastik* deformasiya deyiladi.

Tashqi ta’sir olib tashlangandan keyin buzilmasdan o’zida qoldiq deformasiyaga ega bo’lgan materialning xususiyatiga *plastiklik,* material esa *plastik material* deyiladi. Ularga kam uglerodli po’lat, allyuminiy, mis, paydo va boshqalarni misol qilish mumkin.

Eslatib o’tish lozimki deformasiyaning paydo bo’lishi ko’pgina hollarda konstruksiyani normal ishlashini buzadi va shuning uchun mustahkamlik buzilgan deb hisoblanadi.

Juda kam miqdorda plastiklik xususiyatiga ega bo’lgan materiallar sezilarli bo’lmagan qoldiq deformasiyalarsiz buziladi. Masalani, cho’yan qattiq qotishmalar, oyna, g’isht va boshqalar. Bunday materiallarni mo’rt *materiallar* deyiladi.

Konstruksiya elementlarini hisoblash ishlarini osonlashtirish maqsadida material, yuk va detallarning bir-biriga ta’sir ko’rsatish xarakteriga nisbatan materiallar qarshiligida ba’zi *gipotezalarga (cheklanishlarga*) yo’l qo’yladi. Buning natijasida hisob formulalarini keltirib chiqarish osonlashadi.

Jism materiali *yaxlit (g’ovaksiz*) deb hisoblanadi. Bu gipoteza mayda zarrachali jismlar uchun juda qo’l keladi. Yog’och, beton, tosh va g’isht uchun juda ham to’g’ri kelmasada, ammo hisob natijalari bu xildagi materiallar uchun ham xaqiqatga yaqin keladi. Bu gipoteza real materiallar uchun matematik analizning uzluksiz funksiya formulalarini ishlatishga asos bo’ladi.

Jism materiali *bir jinsli va izotrop* bo’ladi, ya’ni material har bir no’qtada, har bir yo’nalishda bir xil xususiyatga ega deb hisoblanadi. Metall bir jinsli materiallardan bo’lib, beton, tosh va g’ishtning bir jinsli xususiyati kamroqdir. Masalan, beton, sement va bir jinsli bo’lmagan shag’al aralashmasidan iboratdir. Bu gipoteza yog’och, beton kabi materiallar uchun kam qo’llaniladi.

*Jism yuklanishdan oldin unda boshlang’ich zo’riqish kuchlari bo’lmaydi* deb faraz qilinadi. Darxaqiqat po’lat detallarning notekis sovishi, yog’ochning notekis ko’chishi yoki betonning notekis qotishi natijasida ularda boshlang’ich zo’riqish kuchlari paydo bo’ladi. Bu boshlang’ich zo’riqish kuchlari, umuman bizga noma’lum, biroq ularning miqdori tashqi yuklar ta’siridan jismda hosil bo’ladigan qo’zg’aluvchi zo’riqish kuchlari miqdoriga qaraganda juda ham kichik bo’ladi. Mobodo, boshlang’ich zo’riqish kuchlari sezilarli miqdorda ekanligi payqalsa, ularni tajriba yo’li bilan aniqlashga harakat qilinadi.

*Kuchlar ta’srining mustaqillik prinsipi.* Bu prinsipga ko’ra kuchlar sistemasi ta’sirining natijasida bu kuchlarni ketma-ket yoki tartibsiz qo’yilishidan hosil bo’ladigan ta’sirlar natijasi teng deb faraz qilinadi. «Ta’sir natijasi» degan termindan jismlarda ichki kuchlar ta’siridan uning ayrim no’qtalarida hosil bo’ladigan deformasiya va ko’chishlar tushuniladi.

Bu prinsipdan nazariy mexanikada keng ko’lamda foydalanilsa ham, deformasiyalanuvchi jismlar uchun undan qo’yidagi ikki shart:

kuch qo’yilgan no’qtaning ko’chishi jism o’lchamlariga nisbatan juda ham kichik bo’lishi sharti:

ko’chishlar, deformasiyaning natijasi bo’lganligidan, u ta’sir qiluvchi kuchlarga proporsional, ya’ni chiziqli bog’langan bo’lish sharti bajarilgan taqdirdagina foydalanish mumkin.

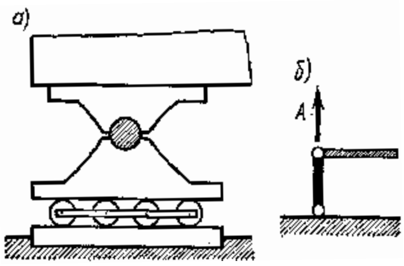
*Sen –Venan prinsipi.* Jismga qo’yilgan kuchning ta’sir no’qtasidan yetarlicha o’zoqda joylashgan no’qtalarda hosil bo’ladigan ichki kuchlar xarakteri tashqi kuchning ta’sir xarakteriga bog’liq emas. Bu prinsip asosida, jismga u qadar katta bo’lmagan yuzachalarda taqsimlangan kuchlar shu kuchlarning teng ta’sir etuvchisini ifodalovchi bitta to’plangan kuch bilan almashtirilishi mumkin, buning natijasida hisoblash ishi osonlashadi.

Bu holatlarni paydo bo’lish jarayoni qonunlarini aniqlash amalda mumkin bo’lmaydi. Shuning uchun materiallar qarshiligida bir nechta farazlar qabul qilinganki, ular bu holatlardan halos bo’lishga yordam beradi.

Tekislik sistemasiga oid to’sin tayanchlari uch xil bo’ladi:

1. *Sharnirli qo’zgaluvchan tayanch* (*I.2 – shakl, a*). Bunday tayanchlar to’sin uchining gorizontal ko’chishiga va to’sin ko’ndalang kesimining aylanishiga qarshilik ko’rsatmaydi. Bu xildagi tayachnlarda faqat tayanch teqisiligiga tik yo’nalgan bittagina vertikal reaksiya hosil bo’ladi.

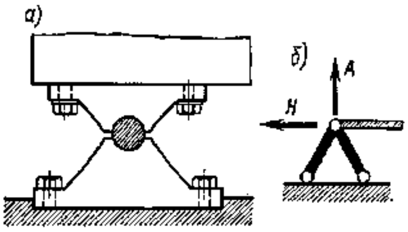
Sharnirli qo’zg’aluvchan tayanchlar sxematik ravishda bir vertikal sterjenning ikki uchiga qo’yilgan sharnirlar orqali ham ko’rsatiladi (*I.2 - shakl, b*). Bu xildagi tayanchlar to’sinning erkin uzayishiga yoki qisqarishiga imkon beradi.



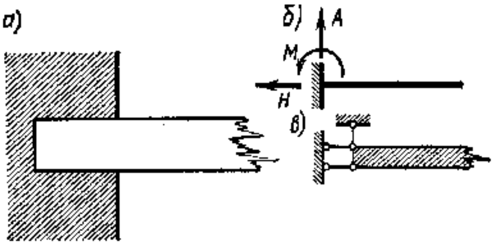

*I.2* – shakl

2. *Qo'zgalmas sharnirli tayanch* (*I.3 - shakl, a* va *b*). Bunday tayanchlar to'sin uchining hyech qanday chiziqli ko'chishiga yo'l qo'ymaydi, faqat to'sinning tiralgan no'ktasiga xos kesimning aylanishigagina imkon beradi. Bu xildagi tayanch reaksiyalarni hamma vaqt vertikal va gorizontal tuzuvchilarga ajratish mumkin. Qo'zg'almas sharnirli tayanchlarning sxematik tasviri *I.3 - shakl, b* da ko'rsatilgan.

3. *Qistirib mahkamlangan tayanch* (*I.4 - shakl, a,b*). Bu xildagi tayanchlar tayanch no'qtasiga xos kesimning chiziqli va burchakli ko'chishlariga yo'l qo'ymaydi. Bunday tayanchlarda umuman vertikal va gorizontal tuzuvchilarga ajraluvchi reaksiya bilan reaktiv moment (moment reaksiyasi) hosil bo'ladi. Bularni qistirma momentlar deb atasa ham bo'ladi.



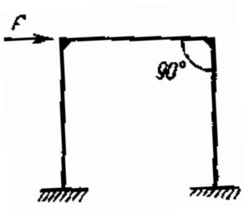

*I.3* – shakl




*I.4* - shakl

Agar to'sin faqat bir uchi bilan qistirib mahkamlangan bo'lsa, bunday to'sin *bikr tayach* (*konsol*) deyiladi. To'sinlarning tayanch oralig'i prolyot ham deb ataladi.

Agar to'sinning tayanch reaksiyalari faqat statika tenglamalari bilan topilsa, bunday to'sinlar *statik aniq to'sinlar* deyiladi. Bunday to'sin larning xillari *I.1*- shaklda berilgan.




*I.5* – shakl

Agar noma'lum reaksiyalar soni shu to'sin uchun lozim bo'lgan statik tenglamalar sonidan ortib ketsa, u holda to'sinlar *statik aniqmas to'sinlar* deyiladi. Bunday to'sinlarning reaksiyalarini topish uchun qo'shimcha tenglamalar (deformasiya tenglamalari) to'zish lozim bo'ladi *(I.5 – shakl*).

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Materiallar qarshiligi fanining maqsadi to'g'risida gapirib bering.
2. Fanning asosiy vazifalari to'g'risida gapirib bering
3. Qabul qilingan asosiy farazlarni sanab bering.
4. Hisob sxemasi nima?
5. Bog'lanish turlari nechta va ularda qanaqangi reaksiya kuchlari yuzaga keladi?

## Mavzu: **DEFORMATSIYA VA KUCHLANISHLAR**

**Reja:**

1. Konstruksiya elementlari va mashina qismlariga ta'sir etuvchi sirtqi va xajmiy kuchlar;
2. Jism ichki zo'riqish kuchlari to'g'risida tushuncha va ularni aniqlash. Kesish usuli;
3. Oddiy deformasiya turlari;
4. Kuchlanishlar haqida va mustahkamlik sharti.

**Tayanch iboralar:** To'plangan va taqsimlangan kuchlar, nyuton, elastik kuchlar, ichki kuch faktorlari, kesimlar, normal kuch, urunma kuch, eguvchi moment, burovchi moment, absolyut deformasiya, nisbiy deformasiya, normal kuchlanish, urunma kuchlanish, mustahkamlik sharti.

Mashina va uning qismlari ishlash jarayonida bir-biriga har xil ta'sir ko'rsatishadi. Bu esa bu qismlarni deformasiyalanishiga olib keladi.

Konstruksiya elementlarining qabul qiladigan tashqi ta'sir kuchlari ikki tur bo'ladi:

*hajmiy* (og'irlik, inersiya kuchlari);

*sirtqi*, ya'ni ko'rilayotgan elementni qo'shni elementga ta'siri.

Nazariy mexanika kursidan ma'lumki, sirtqi kuchlar:

*to'plangan;*

*taqsimlangan* turlari bo'linadi.

Kuchning ta'sir xarakteriga qarab:

*statik* va

*dinamik* turlarga ajratiladi.

*Statik kuchlar* shunaqangi kuchlarki, ularning son qiymati, yo'nalishi va ta'sir etish joyi o'zgarmas bo'ladi yoki juda sekin o'zgaradi (buni e'tiborga olmasa ham bo'ladi). Shunday qilib, statik kuchlar ta'siri davrida konstruksiyaning barcha elementlari muvozanatda turadi (masalan og'irlik kuchlari).

*Dinamik kuchlar* son qiymatini, yo'nalishini va ta'sir joyini qisqa vaqt ichida o'zgartirib turishadi. Bularga zarb bilan ishlaydigan, to'satdan qo'yilgan kuchlar va davriy va o'zgaruvchan kuchlar bilan ishlaydigan mashina va uning elementlarini misol qilish mumkin. Masalan, metallarni kovkalash, qoziq qoqish, g'ildiraklarning relslarga ko'rsatgan bosimi, krivoship-polzunli mexanizmlarning bir-biriga ta'sir kuchlari.

Dinamik kuchlarga inersiya kuchlari ham kiritiladi. Masalan, aylanayotgan maxovikda paydo bo'ladigan kuchlar.

Konstruksiya va uning elementlarini hisoblashda tashqi kuchlar qatoriga bog'lanishlardagi (tayanchlar) reaksiya kuchlari ham kiritiladi.

Mashina detallarini mustahkamlikka hisoblashda ularga ta'sir etuvchi tashqi kuchlarni aniqlash bilan kifoyalanib qolinmaydi. Balki ular ta'sirida paydo bo'ladigan ichki elastik kuchlarni aniqlashni bilish lozim bo'ladi.

Ma'lumki har qanday jism, shular qatorida mashina detallari inshootlarni ham material no'qta yoki zarrachalar sistemasi deb qarash mumkin. Haqiqatda ham xuddi shunday. Nazariy mexanika kursida o'zgarmas sistemalar to'g'risida gapirilganda, materiallar qarshiligida esa o'zgaradigan (deformasiyalanadigan) sistemalar haqida gap boradi.

Tashqi kuch ta'sirida bu sistemalar deformasiyalanadi, ya'ni zarrachalar (no'qtalar) orasidagi bog'lanish o'zgaradi (ya'ni «uyg'onadi»). Mana shu zarrachalar orasidagi bog'lanish kuchlari «uyg'onib» detal tashqi ta'sirga qarshilik ko'rsata boshlaydi.

Bu ichki elastik kuchlarni aniqlash uchun yana nazariy mexanikaga murojaat etishga to'g'ri keladi. Bu kursda *kesimlar usuli* (metodi) tushunchasi bilan tanishtirilgandi.

*Kesimlar usulining mohiyati* shundan iborat ediki, ko'rilayotgan jism hayolan bir tekislik bilan kesilib, ikki qismga ajratilar edi. Bu bo'laklarning biri tashlab yuborilib, buning o'rniga kesgunga qadar ta'sir etuvchi olib qolingan qismga ichki kuchlar qo'yilardi.

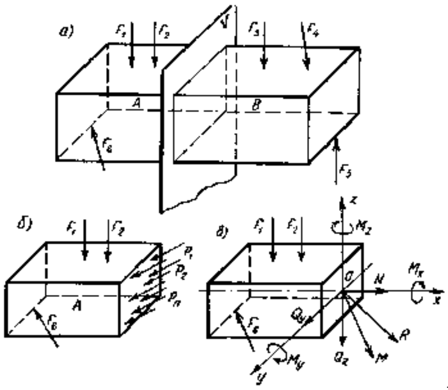
Mana shu olib qolingan bo'lak unga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar va kesimga qo'yilgan ichki kuchlar ta'sirida muvozanatda turgan mustaqil (alohida) jism deb qaralar edi. Nyutonning uchunchi qonuniga muvofiq olib qolingan va tashlab yuborilgan bu yuklarning ko'ndalang kesimiga ta'sir etuvchi ichki kuchlar miqdor jihatdan teng, yo'nalishi bo'yicha qarama-qarshidir. Ya'ni, bu yuklarning hohlaganini olib, uning muvozanati tekshirilganda, hosil qilingan (topilgan) ichki kuchlar modul bo’yicha teng, yo’nalishi bo’yicha qarama-qarshidir. Shuning uchun bo’laklarni olib qolishda qaysi biriga muvozanat tenglamalari oson to’zilsa shunisi olib qolinadi.

Jism (material)ning uzluksizligi to’g’risidagi yo’l qo’yilishga muvofiq jismda paydo bo’lgan ichki kuchlari kesim bo’yicha teng (bir xil) yoki teng taqsimlanmagan bo’ladi.

Jismning olib qoligan bo’lagiga muvozanat tenglamalarini qo’llab, ichki kuchlarning kesim bo’ylab taqsimlanish qonunini topish mumkin emas, balki bu kuchlarga statik ekvivalent bo’lgan kuchlarni qiymatini topish mumkin bo’ladi.

Yuqorida aytganimizdek, *materiallar qarshiligida* asosan to’sinlar to’g’risida gap bo’lganligi uchun, tashqi kuchlar ta’sirida to’sin ko’ndalang kesimida (*II.1* - shakl) paydo bo’ladigan ichki kuchlarni aniqlashga harakat qilamiz.

To’sinni *V* kesim bilan xayolan kesib, ikki bo’lakka ajratamiz va chap tomonidagi bo’lakni olib qolamiz. Agar to’singa ta’sir etuvchi tashqi kuchlar bir tekislikda yotgan bo’lsa, *V* kesimda paydo bo’luvchi ichki kuchlarning statik ekvivalenti - *R* bosh vektor (kesimning og’irlik markaziga qo’yilgan)ni va olib qolingan bo’lakka qo’yilgan tashqi kuchlar sistemasini muvozanatlovchi bosh momentni ko’rsatish mumkin.



*II.1* – shakl

Bosh vektorni qabul qilingan koordinata o’qlarga proyeksiyalaymiz, ya’ni uning tashkil etuvchilaring ko’rsatamiz.

Bosh vektorning bu tashkil etuvchilarini, bosh moment bilan birgalikda *ichki kuch omillari (faktorlari)* deb ataymiz.

*N* - bo’lama (normal) kuch

*Q* - ko’ndalang (urunma) kuch

*M* - eguvchi moment.

Bu ko’rsatilgan noma’lumlarni aniqlash uchun statikaning muvozanat tenglamalarini qo’llaymiz

$$\sum F_z = 0; \quad \sum F_x = 0 \quad \sum M_0 = 0, \qquad (II.\ 1)$$

( *x* - o’qi to’sin o’qi bo’ylab yo’nalgan).

Agar to’singa ta’sir etuvchi tashqi kuchlar bir tekislikda yotmasa, ya’ni ular fazoviy sistemani tashkil etsa, u holda to’sin ko’ndalang kesimida oltita ichki kuch faktorlari paydo bo’ladi. Ularni aniqlash uchun esa statikaning oltita muvozanat tenglamasi qo’llaniladi.

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0; \quad \sum F_z = 0 \ ; \sum M_x = 0; \quad \sum M_y = 0; \quad \sum M_z = 0, \qquad (II.\ 2)$$

bu yerda: *N* - bo’ylama kuch;

$Q_z; Q_y$ - ko’nadalang kuchlar;

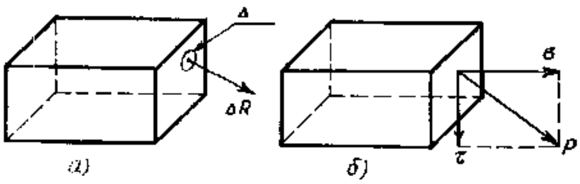
$M_x$ - burovchi moment;

$M_z;M_y$ - eguvchi momentlar.

Deformasiya tushunchasi kabi materiallar qarshiligidagi yana bir asosiy parametr bu *kuchlanishdir.*

*Kuchlanish* to’sin ko’ndalang kesimida ichki kuchlarning intensivligini (taqsimlanganligi) ifodalaydi.

Ixtiyoriy kuchlar bilan yuklangan to’sinni olamiz va kesimlar usulidan foydalanib uni ikki bo’lakka ajratamiz (*II.2*– shakl). Olib qolingan bo’lakni ko’ndalang kesimidagi bir no’qta atrofida elementar yuzachani ajratamiz.



*II.2* – shakl

Elementning juda kichikligini e'tiborga olgan holda bu yuzachadagi turli no'qtalardagi ichki kuchlar modul jihatdan teng va yo'nalishi ham bir xil. Ya'ni parallel kuchlar sistemasini tashkil qiladi. Bu sistemaning teng ta'sir etuvchisini *dF* orqali ifodalaymiz. *dF* ni elementlar yuzacha *dA* ga bo'lib ichki kuchlar intensivligi aniqlanadi, ya'ni *dA* elementar yuzachadagi no'qtada paydo bo'layotgan kuchlanish

$$p = \frac{dF}{dA}; \qquad (II.\ 3)$$

Demak, kuchlanish – ichki kuchning yuzaga nisbatiga teng. Kuchlanish vektor kattalikdir. Uning o'lchov birligi:

$$[p] = \frac{|F|}{|A|} = \frac{куч}{юза} = \frac{н}{м^2} = Па, \qquad (II.\ 4)$$

Bu birlik juda kichik bo'lganligi uchun *Mpa= $10^6$ Pa =1 n/m$^2$*

*p* ni tashkil etuvchilarga ajratamiz:

*у* - normal kuchlanish;

*ф* - urunma kuchlanish.

*у* va *ф* orasidagi burchak *$90^o$* bo'lganligi uchun, to'liq qo'llanish moduli

$$p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}, \qquad (II.5)$$

Hayotdan ma'lumki, konstruksiya elementlarini ekspluatasiya qilishda qo'yidagi oddiy deformasiyalar yuzaga kelishi mumkin:

cho'zilish (tros, zanjir, ip);

qisilish (kolonna, ustun , g'isht terimi, shtamplar);

siljish (zaklyopka, boltlar, shponka payvand choklari).

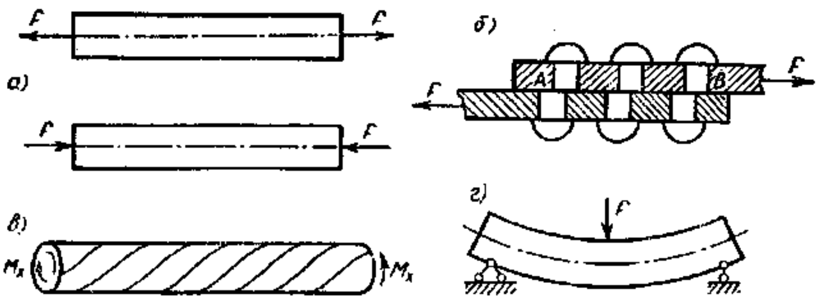
Materialni buzilishiga olib borgan siljish kesish deyiladi (qaychi yordamida kesish, shtampovka);

buralish (aylanma harakat yordamida quvvat uzatuvchi elementlar);

egilish (to'sinlar, o'qlar, tishli g'ildirak tishlari).

Mana shu deformasiyalanishlar jarayonida to'sin ko'ndalang kesimida paydo bo'ladigan ichki kuchlarni ham ko'rsatib o'tish mumkin. Masalan;

- agar kesimda faqat bo'ylama kuch *N* paydo bo'lsa u holda to'sin cho'zilayapti yoki qisilayapti (cho'zilishda *N* kesimdan tashqariga, qisilishda *N* kesimga qarab yo'nalgan bo'ladi);
- agar kesimda faqat ko'ndalang kuch *Q* paydo bo'lsa siljish deformasiyasi;
- agar kesimda faqat burovchi moment $M_b$ paydo bo'lsa buralish deformasiyasi;



*II.3*- shakl

- agar kesimda eguvchi moment $M_e$ paydo bo'lsa, sof egilish, $M_e$ bilan birgalikda *Q* ham paydo bo'lsa bu ko'ndalang egilish;
- agar kesimda ichki kuch faktorlaridan bir nechtasi paydo bo'lsa, u holda murakkab deformasiyalanish yuzaga keladi.

*Mustahkamlik sharti to'g'risida tushuncha.* Konstruksiya elementlari mustahkam bo'lishligi uchun havfli ko'ndalang kesimlaridagi hosil bo'ladigan eng katta kuchlanish shu sterjen materiali uchun ruxsat etilgan normal kuchlanishdan ortib ketmasligi kerak.

Shunday qilib, mustahkamlik sharti qo'yidagicha:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} \le [\sigma], \qquad (I.\ 6)$$

Bu yerda $[\sigma]$ - ruxsat etilgan kuchlanish.

Ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash qo'yidagicha

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{ок}}{k}$$

Bu yerda $\sigma_{ок}$ - kuchlanishning oquvchanlik chegarasi;

$k$ - ehtiyot koeffisiyenti.

Ruxsat etilgan kuchlanishni tanlashda qator holatlarni hisobga olish zarur bo'ladi - hisoblash uchun berilayotgan kuch qiymatlari, materialni mexanik xarakteristikalari aniqligi, hisoblash usullari konstruksiyadagi alohida qismlarini o'zaro ta'sirini oddiylashtirib olishimiz va h.k.

Ehtiyot koeffisiyenti hamma bu kamchiliklarni yopib ketishi zarur bo'ladi. Bu koeffisiyenti tanlash juda murakkab jarayon. Qisqa qilib aytganda bu koeffisiyentini shunday tanlash kerakki, konstruksiyani ma'yorida ishlashi uchun halaqit qiladigan yuzaga kelishi mumkin bo'lgan materialning xavfli holatini oldi olinishi zarur bo'lishi shart.

Statik yuklashda bu koeffisiyentning qiymati qo'yidagicha

- plastik material uchun *k =2,4…2,6* - mo'rt material uchun *k = 3,0…9,0*

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Tashqi kuchlar tasnifini keltiring.
2. Ichki kuchlar nima?
3. Kesimlar usulining mohiyatini aytib bering.
4. Ichki kuchlar qanday aniqlanadi?
5. Kuchlanish nima va uning o'lchov birliklari haqida aytib bering.
6. Oddiy deformasiyalarni sanab bering.

## Mavzu: **TEKIS SHAKLLARNING GEOMETRIK TAVSIFNOMALARI**

**Reja:**

1. *Asosiy tushunchalar.*
2. *Tekis shakllarning o'qlarga nisbatan statik momentlari.*
3. *Tekis shakllarning inersiya momentlari.*
4. *Qutb inersiya momenti bilan o'qlarga nisbatan inersiya momentlari orasidagi bog'liqlik.*
5. *Oddiy shakllarning inersiya momentlari. Parallel o'qlarga nisbatan inersiya momentlari.*
6. *O'qlar burilganda inersiya momentlarining o'zgarishi. Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlarini aniqlash.*

**Tayanch iboralar**: Kesim yuzasi, statik moment, kesim og'irlik markazi koordinatalari, o'qiy, qo'tbiy va markazdan qochma inersiya momentlari.

Oddiy deformasiyalarni ko'rib chiqishdan oldin sterjen, to'sinlarning mustahkamligini, bikrligini aniqlashda kerak bo'ladigan tekis kesim yuzalarini geometrik xarakteristikalari bilan tanishib chiqamiz.

To'g'ri sterjenlarni cho'zilish (qisilish)dagi deformasiyalarini o'rganganimizda, sterjenning qarshiligi uning ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liq ekanligini ko'rgandik

$$\sigma = \frac{N}{A}; \quad \Delta l = \frac{N \cdot l}{EA}; \quad U = \frac{N^2 \cdot l}{2EA} \qquad (III.1)$$

Bizga ma'lumki yuza – bu ko'ndalang kesimni eng oddiy geometrik xarakteristikasidir. Agar biz kesimni cheksiz elementar yuzachalardan iborat desak, butun kesimning yuzi

$$A = \int_A dA, \qquad (III.2)$$

Deformasiyaning keyingi turlari ya'ni egilish, buralish, murakkab cho'zilish (qisilish)larni o'rganishga o'tganimizda kesim geometrik xarakteristikalarini ancha murakkab turlariga duch kelamiz. Bularga:

statik momentlar;

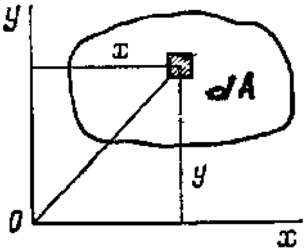
inersiya momentlari kiradi.

Bu xarakteristikalarning ifodalari (*III.2*) formuladan keskin farq qilib integral ostiga qaysi o'qqa nisbatan moment olinayotganligiga qarab, masofalar ko'paytirilib yoziladi. Demak, ko'rsatilgan geometrik xarakteristikalar kesimning shakli va o'lchamlari bilan moment olinayotgan o'q yoki no'qtaning joyig'a ham bog'liq ekan.

*Tekis shakllarning o'qlarga nisbatan statik momentlari.* Biror o'qqa nisbatan *kesimning statik momenti* deb, kesim elementar (*III.1* –shakl) yuzachalar *dA* bilan ulardan o'sha o'qgacha bo'lgan masofalar ko'paytmasining yig'indisiga aytiladi, ya'ni

$$S_x=\int y\, dA; \qquad S_y=\int x\, dA \qquad (III.3)$$

Statik momentlar $sm^3$ , $m^3$ va hakozolarda ifodalanadi.



*III.1*– shakl

Bizga nazariy mexanikadan ma'lumki kesim yuzasining og'irlik markazi qo'yidagicha aniqlanadi:

$$x_c =(\int x\, dA)/A; \quad y_c=(\int y\, dA)/A \qquad (III.4)$$

Agar bu ifodalani (*III.3*) formulaga qo'yladigan bo'lsa,

$$S_x=y_sA; \quad S_y=x_sA, \qquad (III.5)$$

ekanligi ma'lum bo'ladi. Demak *A* yuzaning biron o'qqa nisbatan statik momenti, shu yuza bilan uning og'irlik markazidan shu o'qqacha bo'lgan masofaning ko'paytmasiga teng ekan.

Statik moment ham mo'sbat, ham manfiy kattalik bo'lishi mumkin. Agar statik moment aniqlanayotgan o'q shu yuzaning og'irlik markazidan o'tsa, u holda shu o'qqa nisbatan statik moment nolga teng bo'lar ekan, ya'ni

$$x_c=0; \quad y_c=0 \quad \text{bundan} \quad S_x=S_y=0 \qquad (III.6)$$

Agar kesim murakkab bo'lib, yuzasi va og'irlik markazi osongina aniqlanadigan oddiy shakllarga bo'linsa, u holda butun kesimning biror o'qqa nisbatan statik momenti, uning alohida qismlaridan xuddi shu o'qqa nisbatan olingan statik momentlar yig'indisiga teng

$$S_x=S_{1x}+S_{2x}+\ldots+S_{nx} \qquad (III.\ 7)$$
$$S_y=S_{1y}+S_{2y}+\ldots+S_{ny}$$

*Tekis kesimlarning inersiya momentlari.* Tekis kesimning biror o'qqa nisbatan *o'qiy (ekvatriol) inersiya momenti* deb, elementar yuzachalar bilan ulardan o'sha o'qqacha bo'lgan masofa kvadrati ko'paytmasining yig'indisiga aytiladi (*III.1*– shakl) yoki

$$J_x=\int y^2\, dA; \quad J_y=\int x^2\, dA \qquad (III.8)$$

Agar integral ostidagi ifodalarni elementar yuzachalar bilan birga koordinata o'qlarigacha bo'lgan masofalar ko'paytmasi tashkil etsa markazdan *qochirma inersiya momentlari* deyiladi:

$$J_{xy}=\int xy\, dA \qquad (III.\ 9)$$

Agar inersiya momenti koordinata boshiga nisbatan olinsa, *qutbiy inersiya momenti* deyiladi: $J_c=\int c^2\, dA$ (*III.10*)

Shakldan ko'rinib turibdiki, $c^2=x^2+y^2$ (*III.11*)

Demak $$J_c=\int c^2 dA=\int\left(x^2+y^2\right)dA=J_x+J_y \qquad (III.\ 12)$$

O'qiy inersiya momentlari mo'sbat kattalikdir, ular nolga teng bo'lmaydi va $sm^4$, $m^4$ larda ifodalanadi.

Markazdan qochirma inersiya momentlari esa ham mo'sbat, ham manfiy va nolga teng bo'lishi mumkin.

Murakkab kesimning inersiya momenti uni tashkil etuvchi bo'laklarning inersiya momentlarining yig'indisiga teng bo'ladi. $J_x = J_{1x} + J_{2x} + J_{3x} + ....$ *(III.13)*

Agar kesim simmetriya o'qiga ega bo'lsa, u holda shu o'qqa va unga perpendikulyar bo'lgan o'qqa nisbatan markazdan qochirma inersiya momentlari nolga teng bo'ladi.

*O'zaro parallel bo'lgan o'qlarga nisbatan olingan inersiya momentlari orasidagi bog'liqlik.* Kesimning og'irlik markazidan o'tuvchi o'qlar markaziy o'qlar deb, bu o'qlarga nisbatan olingan inersiya momentlari esa *markaziy inersiya momentlari* deyiladi.

Faraz qilaylik $Ox$ va $Oy$ o'qlarga nisbatan olingan inersiya momentlari $J_x$ , $J_y$ va shaklning yuzasi ma'lum bo'lsin. Bu $Ox$ va $Oy$ o'qlarga parallel bo'lgan $Ox_1$ va $Oy_1$ o'qlarga nisbatan inersiya momentlarini hisoblash talab qilinsin (*III.2* – shakl). Shakldan ko'rinib turibdiki,

$$y_1 = a + y \qquad x_1 = b + x , \qquad (III.\ 14)$$

Agar bu ifodalarni inersiya momentlari ifodalari qo'yilsa

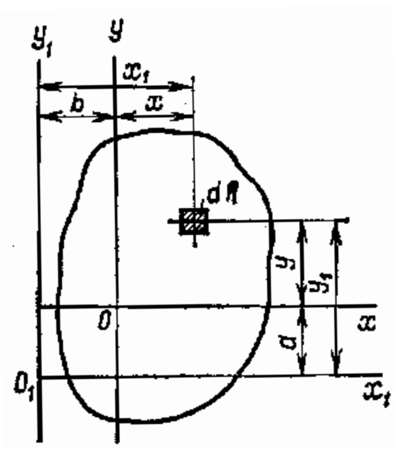
$$J_{x_1} = \int_A y_1^{\ 2} dA = \int_A (a+y)^2 dA = J_x + 2aS_x + a^2 A, \qquad (III.\ 15)$$

yoki
$$J_{x_1} = J_x + 2aS_x + a^2 A , \qquad (III.\ 16)$$

Xuddi shunga o'xshash –

$$J_{y_1} = J_y + 2bS_y + b^2 A \qquad J_{x_1 y_1} = J_{xy} + abA + aS_y + bS_x \qquad (III.\ 17)$$

bu ifodalardagi $S_x$ va $S_y$ - statik momentlardir. Agar $Ox$ va $Oy$ o'qlari - markaziy o'qlar bo'lsa , $S_x = 0$ va $S_y = 0$ *(III. 18)*




*III.2* – shakl

U holda $J_{x_1} = J_x + a^2 A \quad J_{y_1} = J_y + b^2 A \qquad J_{x_1 y_1} = J_{xy} + abA$ *(III. 19)*

Bu formulalar murakkab shakllarning inersiya momentlarini hisoblashda qo'llaniladi.

Ma'lumki, $J_c = J_x + J_y = J_c + (a^2 + b^2)A$ *(III.20)*

Agar masalaning sharti teskari holda bo'lganda

$$J_x = J_{x_1} - a^2 A \qquad J_y = J_{y_1} - b^2 A \qquad J_{xy} = J_{x_1 y_1} - a \cdot b \cdot A \qquad (III.\ 21)$$

Bu ifodalardan ko'rinib turibdiki, parallel o'qlarga nisbatan olingan inersiya momentlari orasida eng kichigi markaziy inersiya momentlari ekan.

*Ba'zi bir oddiy shakllarning inersiya momentlari.* Oddiy shakllarning inersiya momentlarini bilish murakkab shakllarning inersiya momentlarini hisoblashda yordam beradi:

*To'g'ri to'rtburchak*. Asosiy $b$ va balandligi $h$ bo'lgan to'g'ri to'rtburchak ning asosiga nisbatan inersiya momentini hisoblaymiz (*III.3 – shakl, a*). Ajratilgan elementar yuzacha qiymati

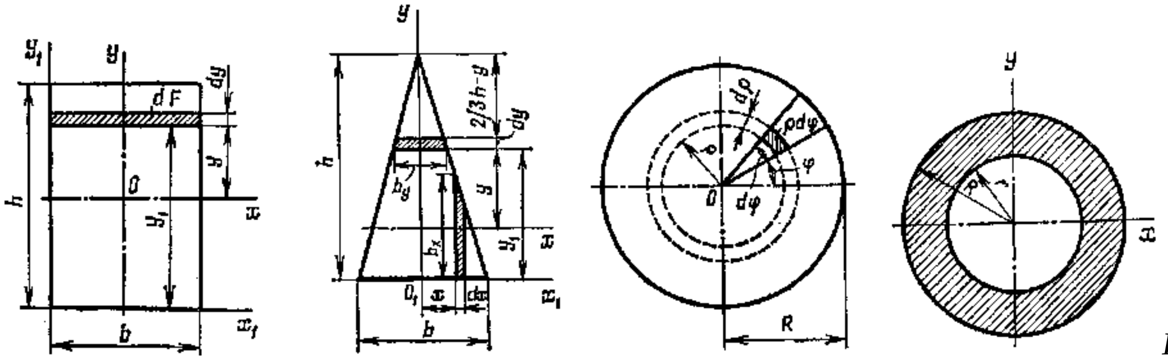
$$dA = b \cdot dy \qquad (III.\ 22)$$

$$J_{x_1} = \int_A y_1^{\ 2} dA = \int_A y_1^{\ 2} b dy = b \frac{h^3}{3} \qquad (III.23)$$

xuddi shunday $$J_{y_1} = \frac{b^3}{3} h \qquad (III.\ 24)$$

*(III. 21)* formuladan foydalanib markaziy inersiya momentlarini ham hisoblash mumkin:

$$J_x = J_{x_1} - a^2 A = J_{x_1} - \left(\frac{h}{2}\right)^2 A = \frac{bh^3}{3} - \frac{h^2}{4} bh = \frac{bh^3}{12} \qquad (III.25)$$




*III.3*- shakl

yoki $J_x = \frac{bh^3}{12}$, *(II. 26)* xuddi shunday $J_y = \frac{hb^3}{12}$, *(III.27)*

*Uchburchak* – bu yerda ham ajratilgan elementar yuzacha qiymati (*III.3 – shakl,b*):

$$dA = a \cdot dy \qquad (III.28)$$

*ΔABC* va *ΔDBE* o'xshashligidan $$\frac{a}{b} = \frac{h-y}{h} \qquad (III.\ 29)$$

Yoki $$a = \frac{b}{h}(h - y) \qquad (III.\ 30)$$

U holda $$dA = b\frac{h-y}{h}dy \qquad (III.\ 31)$$

Uchburchak asosiga nisbatan inersiya momenti

$$J_{x_1} = \int_A y^2 dA = \int_0^h y^2 b \frac{h-y}{h} dy = b\int_0^h y^2 dy - \frac{b}{h}\int_0^h y^3 dy = \frac{bh^3}{3} - \frac{bh^3}{4} = \frac{bh^3}{12}, \qquad (III.\ 32)$$

yoki $J_{x_1} = \frac{bh^3}{12}$,

markaziy o'qga nisbatan

$$J_x = J_{x_1} - a^2 A = \frac{bh^3}{12} - \frac{bh}{2}\left(\frac{h}{3}\right)^3 = \frac{bh^3}{36}, \qquad (III.\ 34)$$

*Doira.* Doira markazidan ixtiyeriy *c* masofadagi ajratilgan yuzachaning qiymati (*III.3 – shakl,v*)

$$dA = 2\pi\rho d\rho\ , \qquad (III.\ 35)$$

Unda $$J_\rho = \int_A \rho^2 dA = \int_0^r \rho^2 2\pi\rho d\rho = 2\pi\frac{r^4}{4}, \qquad (III.\ 36)$$

yoki diametr orqali ifodalasak, $$J_\rho = \frac{2\pi r^4}{4} = \pi\frac{r^4}{2} = \pi\frac{\left(\frac{d}{2}\right)^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0{,}1d^4, \qquad (III.37\ )$$

$$J_x = J_y = \frac{J_\rho}{2} = \frac{\pi d^4}{64} \approx 0{,}05d^4, \qquad (III.\ 38\ )$$

*Halqasimon kesim.* Bu kesim uchun doira kesim uchun keltirib chiqarilgan inersiya momentlari ifodasidan (*III.3 – shakl,g*)

$$J_x = J_y = \frac{J_\rho}{2} = \frac{\pi D^4 - \pi d^4}{64} = \frac{\pi}{64}\left(D^4 - d^4\right) \approx 0{,}05 d^4 \;, \qquad c = \frac{d}{D} \qquad \textit{(III. 39)}$$

Unda $$J_x = J_y = \frac{\pi D^4}{64}\left(1 - c^4\right), \qquad \textit{(III.40)}$$

Qutbiy inersiya moment $$J_\rho = \frac{\pi D^4}{32}\left(1 - c^4\right), \qquad \textit{(III.41)}$$

*O'qlar bo'ralganda inersiya momentlarining o'zgarishi.* Biron shakl uchun $x$ va $y$ koordinata o'qlariga nisbatan inersiya momentlari ma'lum bo'lsin

$x$ va $y$ o'qlarga nisbatan $\alpha$ burchakka burilgan $x_1$ va $y_1$ o'qlarga nisbatan inersiya momentlarini hisoblash talab etilayotgan bo'lsin. $x$ va $u$ koordinata o'qlaridan $y=1...5$ va $x=0...5$ masofalarda yotgan elementar $dA$ yuzaga ajratib olamiz. Xuddi shu yuzachining ya'ni $x_1$ $u_1$ koordinata sistemasiga nisbatan korrdinatalari:

$y_1=1...2;\; x_1=0...2,$ *(III. 42)*

$x_1$ va $y_1$ koordinatalarni $y$ va $x$ koordinatalar hamda $\alpha$ burchaga orqali ifodalaymiz:

$$y_1 = 1...2 = 1...3 - 2...3 = 1...3 - 4...5 = 1...5 \cdot \cos\alpha - 0...5 \cdot \sin\alpha$$

$$y_1 = 1...5 \cdot \cos\alpha - 0...5 \cdot \sin\alpha = y \cdot cos\alpha - x \cdot \sin\alpha \qquad \textit{(III. 43)}$$

$$x_1 = 0...2 = 2...4 + 0...4 = 1...5\sin\alpha + 0...5\cos\alpha = y\sin\alpha + x\cos\alpha$$

$$x_1 = \sin\alpha + x\cos\alpha$$

$x_1$ va $y_1$ o'qlarga nisbatan izlanayotgan inersiya momentlari:

$$J_{x_1} = \int_A y_1^2 dF = \int_F \left(y\cos\alpha - x\sin\alpha\right)^2 dA = \int_A \left(y^2\cos^2\alpha + x^2\sin^2\alpha - 2xy\cos\alpha\sin\alpha\right) dA =$$

$$= J_x\cos^2\alpha + J_y\sin^2\alpha - J_{xy}\sin 2\alpha, \qquad \textit{(III.44)}$$

Demak:

$$J_{y_1} = \int_A x_1^2 dF = \int_A \left(y\sin\alpha - x\cos\alpha\right)^2 dA = \int_A \left(y^2\sin^2\alpha + x^2\cos^2\alpha + 2xy\cos\alpha\sin\alpha\right) dA =$$

$$= J_x\sin^2\alpha + J_y\cos^2\alpha + J_{xy}\sin 2\alpha, \qquad \textit{(III.45)}$$

Ikki o'zaro perpendikulyar o'qlarga nisbatan inersiya momentlarini yig'indisi o'zgarmas kattalikdir.

Biz yuqorida keltirib chiqargan ifodalardan ko'rinib turibdiki inersiya momentlarining qiymatlari $\alpha$ burchakka bog'liq ekan.

$$J_{x_1 y_1} = \int_A x_1 \cdot y_1 \cdot dA = \left(y\cos\alpha + x\sin\alpha\right)\left(y\sin\alpha + x\cos\alpha\right) dA =$$

$$\int_F\int_F = \int_F \left(y^2\cos\alpha\sin\alpha + xy\cos^2\alpha - xy\sin^2\alpha - x^2\cos\alpha\sin\alpha\right) dA =$$

$$= J_x\cos\alpha\sin\alpha + J_{xy}\cos^2\alpha - J_{xy}\sin^2\alpha - x^2\cos\alpha\sin\alpha = \qquad \textit{(III. 46)}$$

$$= \frac{J_x - J_y}{2}\sin 2\alpha + J_{xy}\cos 2\alpha$$

Burchakning ba'zi bir qiymatlarida o'qiy inersiya momentlari o'zlarining eng katta va eng kichik qiymatlariga erishadi. Bu inersiya momentlari *bosh inersiya momentlari*, o'qlar esa *bosh inersiya o'qlari* deb etaladi.

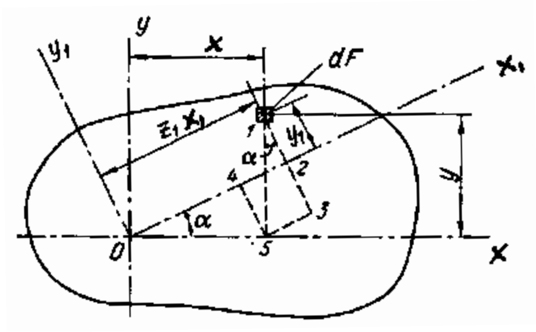
Bu inersiya momentlarini va o'qlarni qanday joylashganligini bilish uchun $J_{x_1}$ ifodaning *1*-hosilasini olamiz.

$$\frac{dJ_{x_1}}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left(\; J_x\cos^2\alpha + J_y\sin^2\alpha - J_{xy}\sin 2\alpha \;\right) =$$

$$= -J_x \cdot 2 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha + J_y \cdot 2 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha - J_{xy} \cdot 2 \cdot \cos 2\alpha\,, \qquad (III.\ 47)$$

va bu ifodani nolga tenglashtiramiz

$$\left( \frac{dJ_{x_1}}{d\alpha} \right)_{\alpha=\alpha_0} = -(J_x - J_y)\sin 2\alpha_0 - 2 \cdot J_{xy} \cos 2\alpha_0\,, \qquad (III.\ 48)$$




*III.3* – shakl

Bu yerda $\alpha_0$ - *x* va *u* o’qlarini bosh inersiya o’qlariga mos tushush uchun buralishi kerak bo’lgan burchak. $J_{x_1 y_1}$ ifodasi bilan olingan $\left( \frac{dJ_{x_1}}{d\alpha} \right)$ ni solishtiramiz.

$$\left( \frac{dJ_{x_1}}{d\alpha} \right)_{\alpha=\alpha_0} = (-2 \cdot J_{x_1 y_1})_{\alpha=\alpha_0} = 0\,, \qquad (III.49)$$

Yoki

$$(J_{x_1 y_1})_{\alpha=\alpha_0} = 0\,, \qquad (III.\ 50)$$

Demak bosh inersiya o’qlariga nisbatan $J_{x_1 y_1} = 0$ yoki bosh inersiya o’qlari deb, $J_{x_1 y_1} = 0$ bo’lgan o’qlarga aytilar ekan.

Bizga ma’lumki markazdan qochma inersiya momenti, simmetriya o’qlariga nisbatan nolga teng edi, demak o’zaro perpendikulyar o’qlarning birontasi simmetriya o’qiga mos kelsa, u o’q bosh inersiya o’qlaridir.

*(III. 48)* ifodani $\alpha$ ga nisbatan yechilish:

$$tg 2\alpha_0 = -\frac{2 \cdot J_{xy}}{\left(J_x - J_y\right)} \quad \text{yoki} \quad tg\alpha_0 = -\frac{J_{xy}}{\left(J_{\max} - J_y\right)}, \qquad (III.\ 51)$$

Bosh inersiya momentlarini topish uchun qo’yidagi formulalardan foydalaniladi:

$$J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{J_x}{J_y} \pm \sqrt{\left(\frac{J_x - J_y}{2}\right)^2 + J^2{}_{xy}}\ , \qquad (III.52)$$

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Tekis kesimlarning geometrik xarakteristikalari nima uchun aniqlanadi?
2. Statik moment debnimaga aytiladi?
3. Statik moment xossalarini sanab bering
4. Tekis kesim yuzalarining inersiya momenti deganda nimani tushunasiz?
5. Inersiya momentlarining qanaqani turlarini bilasiz?
6. Qo’tb inersiya momenti bilan o’qiy inersiya momentlari orasida qanday bog’lanish mavjud?
7. Tekis kesim yuzalarining markaziy o’qlarga parallel o’qlarga nisbatan inersiya momenti ifodasini keltirib chiqaring
8. Oddiy kesimlar uchun inersiya momenti ifodalarini yozib bering
9. Koordinata o’qlari bo’ralganda inersiya momentlari qanday o’zgaradi?
10. Bosh inersiya o’qlari deb qanday o’qlarga aytiladi?
11. Bosh inersiya momentlari nima?

Mavzu: **CHO'ZILISH VA SIQILISH**

**Reja:**

1. Markaziy chuzilish va qisilish to'g'risida tushuncha.
2. Bo'ylama kuchlarni aniqlash va ularning epyuralari.
3. Chuzilish va qisilishda kuchlanishlar. Guk qonuni. Bernulli gipotezasi.
4. Bo'ylama va ko'ndalang deformasiya. Puasson koeffisenti. Elastiklik moduli.
5. Chuzilish va qisilishda mustahkamlik sharti.

**Tayanch iboralar:** Cho'zilish va qisilish, bo'ylama (normal )kuchlar, epyura, markaziy cho'zilish (qisilish), normal kuchlanish, mustahkamlik sharti. Sterjen, to'sin, absolyut deformasiya, nisbiy deformasiya, guk qonuni, elastiklik moduli, bo'ylama deformasiya, ko'ndalang deformasiya, puasson koeffisiyenti.

Cho'zilish va qisilish deformasiyasi hayotda juda keng tarqalgan. Bunda to'g'ri sterjenlarning ko'ndalang kesimlarida faqat bo'ylama zo'riqish kuchlari (*N*) yuzaga keladi. Misol tariqasida *IV.1* - shakldа ko'rsatilgan sterjenni ko'rib chiqamiz. Sterjenning ixtiyoriy kesimida paydo bo'ladigan bo'ylama kuchni topish uchun kesimlar usulidan foydalanamiz.

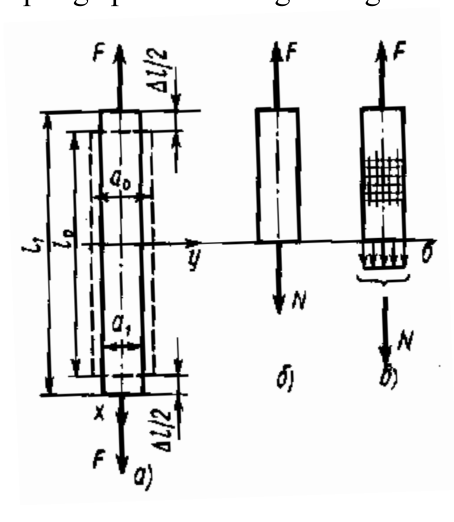
Agar hisoblash natijasida sterjen ko'ndalang kesimida manfiy ishorali bo'ylama kuch chiqsa, demak bu kuch biz o'ylagan deformasiyaning teskarisini qo'zg'atadi, bu holda topilgan bo'ylama kuchning yo'nalishi teskari tomonga o'zgartiriladi.

Demak, bo'ylama kuch deb, sterjen ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan normal kuchlanishlarning teng ta'sir etuvchisiga aytiladi.

$$N_x = \int_A \sigma dA, \qquad (IV.1)$$

*Bo'ylama kuchlar epyurasi* deb shunaqani grafikka aytiladiki, bu grafikning har bir ordinatalari shu kesimdagi bo'ylama kuchlarning miqdoriga teng.

Epyuralar odatda sterjenn o'qlariga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqqa chiziladi.




*IV.1* – shakl

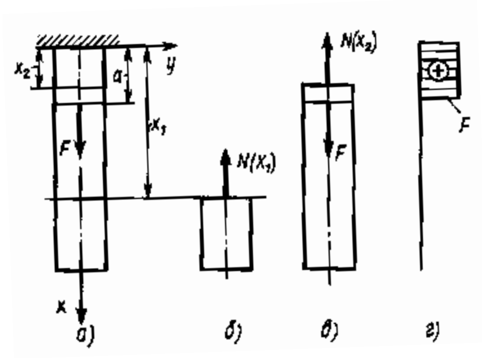
Bo'ylama kuchlarni epyurasini qurish uchun bu kuchlarni sterjen uzunligi bo'yicha o'zgarish qonunini bilish va ba'zi bir bo'ylama kesimlarda ko'ndalang kuchlarni kattaligini topish kerak.

Misol tariqasida *IV.2* - shakldа ko'rsatilgan sterjenning uchun ko'ndalang kuchlar epyuralarini chizib ko'ramiz.

Ko'rinib turibdiki, cho'zilgan yoki qisilgan to'g'ri sterjenlarning ko'ndalang kesimlarida faqat normal kuchlanishlar hosil bo'ladi. Normal kuchlanishlarni aniqlash uchun ularning sterjen ko'ndalang kesimi bo'yicha taqsimlanish qonunini bilish lozim. Buning uchun tekis kesimlar (Bernulli) farazidan foydalaniladi, ya'ni deformasiyagacha tekis bo'lgan kesim deformasiyadan keyin ham tekisligicha qoladi.

Buni asoslash uchun qo'yidagicha tajriba utkazamiz. Rezinadan tayyorlangan sterjen sirtiga o'qiga parallel va perpendikulyar chiziqlar yordamida to'r chizib, sterjenni cho'zuvchi kuch bilan yuklaymiz.

Vertikal chiziqlar bir biridan o'z o'zoqlashadi, lekin tikligicha qoladi. Ya'ni, kesim yuzalari bo'ylab normal kuchlanishlar tekis taqsimlangan bo'lar ekan.



*IV.2*– shakl

Normal kuchlanishlarning qiymatlarini topish uchun kesimlar usulidan foydalanamiz ( *IV.1* - shakl).

$\sum F_y = N - F = 0,$ *(IV. )* bundan *F=N* *(IV.3)*

Ikkinchi tomondan *(IV. 1)* formulaga asosan $N = \int_A \sigma dA = \sigma \int_A dA = \sigma \cdot A$, *(IV.4)*

yoki $\sigma = \dfrac{N}{A}$, $\left|\dfrac{н}{м^2}\right|$, *(IV. 5)*

*Cho'zilgan yoki qisilgan sterjenlarning mustahkamlik sharti:*

Konstruksiya elementlari mustahkam bo'lishligi uchun havfli ko'ndalang kesimlaridagi hosil bo'ladigan eng katta kuchlanish shu sterjen materiali uchun ruxsat etilgan normal kuchlanishdan ortib ketmasligi kerak.

Shunday qilib, cho'zilgan yoki qisilgan sterjenlar uchun mustahkamlik sharti qo'yidagicha:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} \le [\sigma], \qquad (IV.\ 6)$$

Bu ifodadan foydalanib qo'yidagi uch xil masalani hal qilish mumkin bo'ladi:

- *Mustahkamlikka tekshirish*: $\sigma_{\max} \le [\sigma]$, *(IV. 7 )*
- *Ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash*: $A \ge \dfrac{F_{\max}}{[\sigma]}$, *(IV. 8 )*
- *Sterjen ko'taraoladigan yukning qiymatini topish:* $F_{\max} = A \cdot \sigma$, *(IV. 9 )*

Cho'zilish va qisilishda deformasiyalarni aniqlash uchun *IV. 2*- shakl, *a* da ko'rsatilgan sterjenni ko'rib chiqamiz. Sterjenning deformasiyagacha bo'lgan uzunligini *l*, deformasiyadan keyingi uzunligini esa $l_1$ bilan belgilaymiz. Sterjen uzunligining qancha miqdorga oshishi *absolyut bo'ylama cho'zilish* (qisqarishi esa absolyut qisqarish) deb ataladi va u qo'yidagicha aniqlanadi:

$$\Delta l = l_1 - l, \qquad |m|, \qquad (IV.10\ )$$

Sterjen uzunlik birligiga to'g'ri keladigan absolyut bo'ylama deformasiya *nisbiy bo'ylama deformasiya* deyiladi: $\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l}$, *(IV. 11)*

*Turli materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanishlarning qiymatlari*

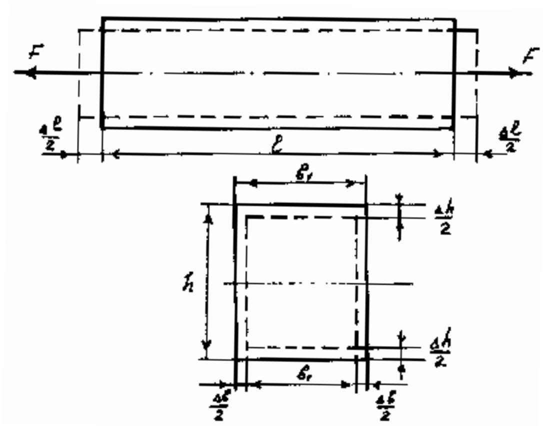
*IV.1- jadval*

| **MATERIALI** | ***[σ$_{ch}$], MPa*** | ***[σ$_k$], Mpa*** |
|---|---|---|
| Po'lat, St.1 | *120* | *120* |
| Po'lat,St.2 | *140* | *140* |
| Po'lat,St.3 | *160* | *160* |
| Ligerlangan po'lat | *100-400* | *100-400* |
| Qo'lrang cho'yan | *30-40* | *120-150* |
| Dyuralyuminiy | *80-150* | *80-150* |
| Qarag'ay(tolalari bo'yicha) | *7-10* | *10-12* |

| | | |
|---|---|---|
| Dub (tolalari bo'yicha) | *9-13* | *13-15* |
| G'isht (sement qorishmasi bilan tyorilgan holda) | *0,2 gacha* | *1,2* |
| Beton | *0,4* | *3,5* |

Ko'rinib turibdiki, nisbiy bo'ylama deformasiyaning o'lchov birligi yo'q.

Shakldan ko'rinib turibdiki, sterjen deformasiyalanganda uning faqat bo'ylama o'lchamlari emas balki ko'ndalang kesim o'lchamlari ham o'zgaradi. Bu hol uchun ko'ndalang kesimning o'lchamlari deformasiyagacha *b* va *h*, deformasiyadan keyin ular mos ravishda $\Delta b$ va $\Delta h$ miqdorga kichrayadi (*IV.3* – shakl,*b*).



*IV.3* – shakl

Bunda $\Delta b$ va $\Delta h$ - absolyut ko'ndalang deformasiyalar. Nisbiy ko'ndalang deformasiyalar esa qo'yidagicha aniqlanadi: $\varepsilon_b' = \dfrac{\Delta b}{b}$ $\quad\varepsilon_h'' = \dfrac{\Delta h}{h}$, *(IV. 12)*

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, izotrop materiallar uchun $\varepsilon_b' = \varepsilon_h'' = \varepsilon'$, *(IV.13 )*

va nisbiy ko'ndalang deformasiyaning nisbiy bo'ylama deformasiyaga nisbatining absolyut qiymati o'zgarmas miqdor ekan: $\mu = \left|\dfrac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right| = const$, *(IV.14 )*

bunda *μ – ko'ndalang deformasiya koeffisiyenti* bo'lib, u materialning elastiklik xarakteristikalaridan biridir. Bu koeffisiyent birinchi bo'lib fransuz matematigi Puasson tomonidan topilganligi uchun unga *Puasson koeffisiyenti* deb nom berishgan. Puasson koeffisiyenti *0* bilan *0,5* oralig'ida o'zgaradi

Sterjenning cho'zilishi faqat elastiklik chegarasida qaralsa, cho'zuvchi kuch bilan absolyut cho'zilish orasida to'g'ri proporsionallik bog'lanish borligini tajribada birinchi bo'lib ingliz fizigi Robert Guk topgan, bunga asosan

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA}, \qquad (IV.15)$$

Ko'ndalang deformasiya koeffisiyenti (μ) ning qiymatlari

*IV.2- jadval*

| **Materiali** | **Puasson koeffisiyenti, *μ*** | **Materiali** | **Puasson koeffisiyenti, *μ*** |
|---|---|---|---|
| Po'lat | *0,25-0,33* | Ko'rg'oshin | *0,45* |
| Mis | *0,31-0,34* | Latun | *0,32-0,42* |
| Bronza | *0,32-0,35* | Alyuminiy | *0,32-0,36* |
| CHO'YAN | *0,23-0,27* | Rux | *0,21* |
| Shisha | *0,25* | Tosh | *0,16-0,34* |
| Beton | *0,16-0,18* | Kauchuq | *0,47* |
| Po'qak | *0,0* | Bakelit | *0,36* |
| Selluloid | *0,33-0,38* | Visxommit | *0,37* |

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, absolyut cho'zilish cho'zuvchi kuch bilan sterjen uzunligiga to'g'ri proporsional va sterjenning cho'zilishdagi bikrligiga (*EA*) teskari proporsionaldir. Bu yerda *E* –

proporsionallik koeffisiyenti. Unga *elastiklik moduli* deb nom berilgan, chunki u materialning cho'zilishga (qisilishga) qarshilik ko'rsatish xususiyatini bildiradi.

Yuqoridagi formulalardan ko'rinib turibdiki,

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \qquad |M\Pi a| \qquad \textit{(IV. 16)}$$

(*IV.15*) va (*IV.16*) formulalarga *Guk qonuni* deb ataladi. (*IV.16*) ifoda amalda ko'p qo'llaniladi. Bu bog'lanish koordinatalar sistemasida og'ma to'g'ri chiziq bilan ko'rsatilgan (*IV.4* – shakl,*a*)

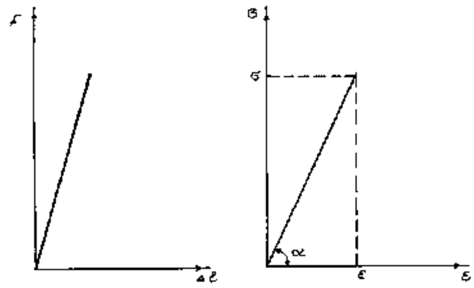
To'g'ri chiziq bilan *e* o'qi orasidagi burchakning tenglamasi *Ye* ning miqdorini belgilaydi.

$$E = tg\alpha\,, \qquad \textit{(IV. 17)}$$

Agar sterjenlarning kesimlari pog'onalab o'zgarsa yoki sterjenga tashqi kuchlar turli no'qtalariga ta'sir etsa, absolyut bo'ylama deformasiya qo'yidagicha aniqlanadi:

$$\Delta l = \sum_{i=1}^{n} \Delta l_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{N_i l_i}{E_i A_i}\,, \qquad \textit{(IV.18)}$$

bu yerda *n*- uchastkalar yoki pog'onalar soni.



*IV.4*- shakl

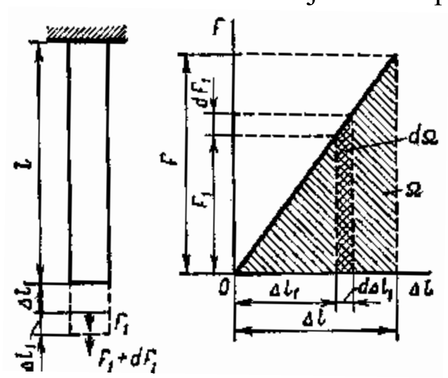
Turli materiallar uchun elastiklik moduli(E) ning qiymatlari

*IV.3- jadval*

| **Material** | ***E , MPa*** | **Material** | ***E , MPa*** |
|---|---|---|---|
| Po'lat | *2 10⁵* | Cho'yan | *1,15-1,6 10⁵* |
| Mis | *10⁵* | Shisha | *0,18-0,4 10⁵* |
| YOG'OCH | *1,0-1,2 10⁵* | Beton | *0,1-0,3 10⁵* |
| Alyuminiy | *0,69 10⁵* | | |

*Cho'zilish va qisilishda potensial energiya.* Jismga qo'yilgan tashqi kuchlar ular tomonidan hosil bo'lgan ko'chishlarda ish bajarishadi, bunda jismda deformasiya energiyasi – potensial energiya yig'iladi. Mana shu energiya hisobiga tashqi kuchlar olingandan keyin jism o'z holatini tiklaydi.

Bir prizmatik sterjenni olamiz. *F* kuch ta'sirida sterjen *Δl* miqdorga cho'zilgan bo'lsin. *F* kuch *0*



*IV.5*- shakl

dan *F* miqdorgacha sekin o'sganda *A* ishni bajaradi. Bu ish elastiklik deformasiya chegarasida son jihatdan potensial energiya miqdoriga teng. $A = U,$ *(IV. 19)*

*F* kuch $F_1$ kattalikka ega bo'lganda ko'chishning miqdori - $Дl_1$ ga teng bo'ladi. $F_1$ kuchga $dF_1$ miqdorda orttirma berali, unda siljish ham $d\Delta l_1$ miqdorga ko'payadi. $F_1$ kuchning elementar ishi

$$dA = \frac{1}{2} F_1 d\Delta l_1 \qquad \textit{(IV.20)}$$

*IV.5-* shakl, *b* dan $dA = d\Omega$, $A = \int_0^{\Omega} d\Omega = \Omega$, (*IV.21)*

unda, $U = A = \frac{1}{2} F \cdot \Delta l = \frac{N^2 l}{2EA}$ (*IV.14)*

Agar sterjenlarning kesimlari pog'onalab o'zgarsa yoki sterjenga tashqi kuchlar turli no'qtalariga ta'sir etsa, potensial energiya qo'yidagicha aniqlanadi:

$$U = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} \frac{N_i^2 l}{2EA_i} \qquad (IV.15)$$

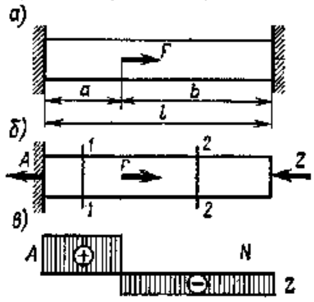
Solishtirma potensial energiya qo'yidagicha topiladi:

$$u = \frac{U}{V_o} = \frac{\frac{1}{2} F \cdot \Delta l}{A_o l_o} = \frac{1}{2}\sigma \cdot \varepsilon = \frac{\sigma^2}{2E} \qquad (IV.16)$$

**Cho'zilish va qisilish deformasiyasida uchraydigan statik noaniq masalalar**

Ma'lumki, cho'zilishga yoki qisilishga ishlayotgan statik aniq sterjenlarni hisoblashda sterjen kesimida paydo bo'ladigan bo'ylama (normal) kuchlarni va tayanchlardagi reaksiya kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlanadi va paydo bo'ladigan deformasiyalarning juda kichikligini (sterjenning o'lchamlariga nisbatan) e'tirof etiladi. Bunday masalalar, ya'ni faqat statikaning muvozanat tenglamalari yordamida yechiladigan masalalar *statik aniq masalalar* deyiladi.

Lekin amalda shunaqangi konstruksiyalarga kuch kelamizki, bu konstruksiyani tashkil etuvchi elementlarni mustahkamlikka sinash yoki ularning kesimini tanlash jarayonini paydo bo'ladigan deformasiyalarni aniqlashni bilmasdan amalga oshirib bo'lmaydi, ya'ni aniqroq qilib aytilganda bu elementlarda paydo bo'ladigan zo'riqishlarni aniqlash uchun faqat statikaning muvozanat tenglamalari yetarli bo'lmaydi. Bunaqangi sistema (tizim) lar statik noaniqdir. Demak, faqat statikaning muvozanat tanglamalari yordamida yechib bo'lmaydigan masalalar *statik noaniq* masalalar deyiladi. Bu turdagi masalalarni yechish uchun *yordamchi* (deformasiya) tenglamalari tuziladi. Ikkala tomoni ham bikr tayanchga o'rnatilgan va *F* kuch bilan yuklangan sterjenni ko'rib chiqamiz (*VI.1-* shakl).




*VI.1* - shakl

*F* *k*uch ta'sirida ikkala tayanchlarda reaksiya kuchlari paydo bo'ladi. Sterjen qisimida paydo bo'ladigan ichki (bo'ylama) kuch va kuchlanishlarni aniqlash uchun biz bu reaksiyalarni topishimiz zarur bo'ladi. Bu holat uchun statikaning faqat bitta tenglamasidan, ya'ni gorizontal (barcha kuchlarning *u* o'qiga proyeksiyalar yig'indisi nolga tengligi) foydalansak bo'ladi, ya'ni

$$\sum F_y = 0, \qquad R - F + Z = 0, \qquad (VI.1)$$

ko'rinib turibdiki, tenglamada ikkita noma'lum, masala bir marotaba statik noaniq. Masalani yechish uchun yordamchi tenglama to'zish lozim bo'ladi. Bu tenglamani to'zish uchun xayolan tayanchlardan birini, masalan pastki tayanch olib tashlab, uni *Z* noma'lum reaksiya kuchi bilan almashtiramiz (*VI.1 -b* shakl). Faraz qilaylik, sterjenga faqat tashqi kuchi ta'sir etmoqda, ya'ni *Z =0.* Unda *F* kuch ta'sirida sterjenning faqat yuqori qismi deformasiyalanadi, natijada kuch qo'yilgan kesim *Дl*$_F$ masofaga pastga ko'chadi.

Sterjenning pastki qismi esa deformasiyalanmaydi, faqat qattiq jism kabi $\Delta l_F$ masofaga pastga ko'chadi, jumladan sterjenning pastki uchi ham shu masofaga ko'chadi.

$$\Delta l_F = \frac{F \cdot a}{EA}, \qquad (VI.2)$$

Endi, tashqi kuchni yo'q ( $F = 0$) va sterjenga faqat noma'lum $Z$ reaksiya kuchi ta'sir etayapti deb faraz qilaylik. Bu kuch ta'sirida butun sterjen deformasiyalanadi va sterjenning pastki uchi $\Delta l_Z$ masofaga yuqoriga ko'chadi, ya'ni

$$\Delta l_Z = \frac{Z \cdot l}{EA}, \qquad (VI.3)$$

Masalaning berilish shartida esa, sterjenning pastki uchi bikr tayanchga o'rnatilgan bo'lib, u yuqoriga ham, pastga ham ko'chmaydi, ya'ni

$$\Delta l = 0, \qquad (VI.4)$$

Demak, $F$ kuch ta'sirida paydo bo'lgan va pastga yo'nalgan ko'chish $Z$ kuch ta'sirida paydo bo'lgan va yuqoriga yo'nalgan ko'chishga teng. Ya'ni, yordamchi (deformasiya) tenglamasi qo'yidagi ko'rinishda ekan $\Delta l_F = \Delta l_Z$, $(VI.5)$ yoki $\Delta l = \frac{F \cdot a}{EA} - \frac{Z \cdot l}{EA} = 0$, $(VI.6)$

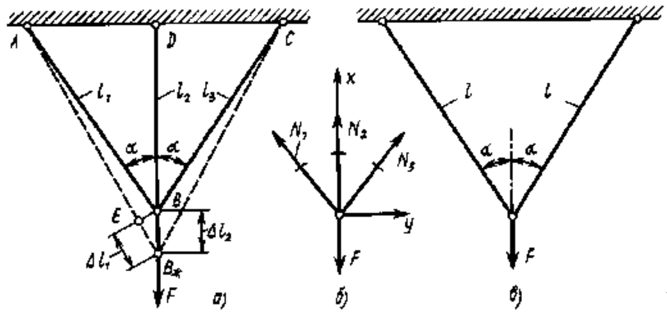
Bundan $Z = F\frac{a}{l}$, $(VI.7)$, $(VI.1)$ ifodalardan $R = F\frac{b}{l}$, $(VI.8)$

Tayanchlardagi reaksiya kuchlar aniqlangandan keyin, sterjen kesimida paydo bo'ladigan bo'ylama kuch va kuchlanish statik aniq masalalarda qanday topilgan bo'lsa (muvozanat tenglamalari yordamida), shunday topiladi.

Bir narsani ta'kidlab o'tish joizki, noma'lum reaksiyalar va ko'chishlarning yo'nalishlari taxminan olinadi, ularning asl yo'nalishlari hisoblashlar natijalariga qarab aniqlanadi.

Endi shu sxema asosida murakkabroq masalalarni yechishga o'tamiz.

*VI.2- a* shaklda ko'rsatilgan sterjenlar sistemasi $B$ sharnirga osilgan $F$ yuk ta'sirida turibdi. Sterjenlar po'latdan yasalgan va ikki chetdagilarining uzunligi $l_1 = l_3$, o'rtadagi sterjenning uzunligi $l_2$ bo'lsin. Mazkur sterjenning mustahkamligini ta'minlovchi ko'ndalang kesim yuzalarini aniqlash lozim bo'lsin.




*VI.2-* shakl

Sterjenlar $A$, $B$, $C$ va $D$ no'qtalarda sharnirlar vositasi yordamida tutashtirilganligi uchun ularda faqat o'qi bo'ylab yo'nalgan zo'riqishlar hosil bo'ladi. Ularning aniqlash uchun $B$sharnirning muvozanatini tekshiramiz. Sharnirga ta'sir etuvchi kuchlar va koordinata o'qlarining yo'nalishlari *VI.2-b* shaklda ko'rsatilgan.

Statikaning muvozanat tenglamalariga ko'ra

$$N_3 \cdot \sin\alpha - N_1 \cdot \sin\alpha = 0 \qquad -F + N_2 + N_1 \cdot \cos\alpha + N_3 \cdot \cos\alpha = 0, \qquad (VI.9)$$

Bu tenglamalarining birinchisidan $N_1 = N_3$ bo'ladi. U holda ikkinchi tenglama qo'yidagi ko'rinishga o'tadi. $N_2 + 2N_1 \cdot \cos\alpha = F$, $(VI.10)$

Demak, bitta tenglamada ikki noma'lum, ya'ni noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalaridan bitta ko'p, ya'ni masala bir marotaba statik noaniq ekan.

Masalani yechish uchun yana yordamchi tenglama to'zim lozim bo'ladi. Bu qo'shimcha tenglamlalar deformasiyalarning birgalik shartini ifodalovchi umumiy prinsip asosida tuziladi. Har qanday konstruksiya tashqi kuchlar ta'sirida deformasiyalanganda, uni tashkil etuvchi elementlar – sterjenlar hammasi birgalikda deformasiyalanadi. Hyech qaysisi alohida o'zi deformasiyalanmaydi – bu prinsipning mohiyati ana shunday.

Qo'shimcha tenglamani tekshirilayotgan konstruksiya elementlarining deformasiyalarini e'tiborga olgan holda tuzamiz, ya'ni $B$ sharnirni ko'chishini sterjenlarning deformasiyalanish sxemasidan aniqlaymiz.

Faraz qilaylik, hisob sxemasining simmetrikligidan, $B$ no'qta deformasiyadan keyin $B^*$ holatga o'tdi. Qolgan sterjenlarning yangi holatlari shtrixlangan chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Birinchi sterjenning cho'zilishini *B* no'qtadan uning yangi holatiga perpendikulyar tushurib aniqlash mumkin. Deformasiyaning kichikligidan $AE = AB$ va $\alpha = AB^{*}D$ deb olish mumkin.

U holda ikkinchi sterjenning cho'zilishini $\Delta l_2$ orqali ifodalasak, birinchi sterjenning cho'zilishi ko'yidagicha bo'ladi $\Delta l_1 = \Delta l_2 \cdot \cos\alpha$, *(VI.11)*

Guk qonunidan foydalanib va *YeA = sonst*, $\Delta l_1 = \Delta l_2 \cdot \cos\alpha$ ligini hisobga olib, oxirgi tenglamadan

$$N_1 = N_2 cos\alpha, \qquad (VI.12)$$

Buni *(VI.10)* tenglamaga qo'ysak,

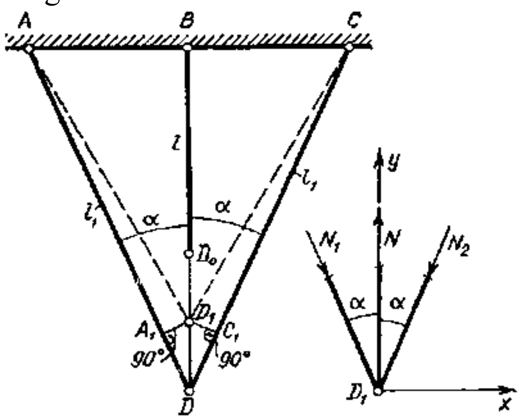
$$N_2 = \frac{F}{1+2cos^3\alpha}, \qquad (VI.13)$$

Bundan
$$N_1 = N_3 = \frac{F\cos^2\alpha}{1+2\cos^3\alpha}, \qquad (VI.14)$$

Masalamiz statik aniq masalaga aylandi.

Turli xil konstruksiyalarni yig'ishda, ularning qismlarini mutlaqo aniq o'lchamda tayyorlashning iloji bo'lmaganligi sababli ko'pgina qiyinchiliklarga duch kelinadi. Statik aniq masalalarda birorta qismning keragidan uzunroq yoki qisqaroq bo'lishi sistema tarkibidagi sterjenlarda hyech qanday qo'shimcha zo'riqishlar hosil qilmaydi. Ammo statik noaniq sistiyemalarda, sistema tarkibidagi sterjenlardan birortasi uzun yoki qisqa tayyorganligi, faqat mazkur qismda emas, balki u bilan bog'langan boshqa qismlarda ham qo'shimcha zo'riqishlar paydo qiladi.

Masalan, *VI.3*- shakl,*a* da tasvirlangan statik noaniq konstruksiyaning o'rtadagi sterjeni $\delta=DD_0$ miqdorga kaltaroq qilib tayyorlangan bo'lsin.




*VI.3*- shakl

O'rta sterjen uchi $D_0$ ni chetdagi sterjenlarning uchlari bilan $D_1$ no'qtada tutashtirish uchun, o'rta sterjenni $\Delta l=D_0D_1$ ga cho'zib, chetdagi sterjenlarni $\Delta l_1=A_1D=C_1D$ ga qisish lozim bo'ladi. $D_1$ no'qtaning holatini topish uchun $A_1$ va $S_1$ no'qtalardan sterjenlarning dastlabki holatlariga perpendikulyarlar o'tkazamiz, ularning kesishgan no'qtasi $D_1$ no'qtani beradi. Shakldan yordamchi tenglamani yozib olamiz

$$D_0D = D_0D_1 + D_1D, \qquad (VI.\ 15)$$

Yoki
$$\delta = \Delta l + \frac{\Delta l_1}{\cos\alpha}, \qquad (VI.\ 16)$$

O'rtadagi sterjen cho'zilib, chetdagilari qisilganligi uchun statikaning muvozanat tenglamasi *(VI.10)* qo'yidagicha yoziladi. $N - 2N_1\cos\alpha = 0$, *(VI.17)*

$\Delta l_1$ bilan $\Delta l$ ning qiymatlarini Guk qonuni bo'yicha olib *(VI. 16)* ga qo'ysak

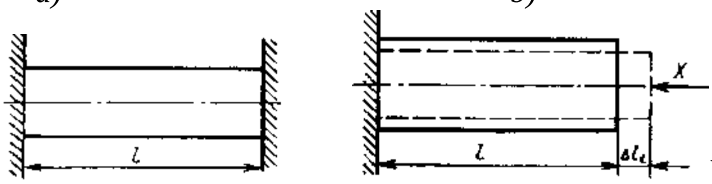
$$\delta = \frac{Nl}{E_м A} + \frac{N_1 l_1}{E_n A_1 cos\alpha}, \qquad (VI.\ 18)$$

*(VI.17)* va *(VI.18)* tenglamalarni birgalikda yechib, noma'lumlarni aniqlaymiz

$$N = \frac{E_м A\delta}{l_3\left[\,1+\dfrac{E_м A}{2E_n A_1\cos^3\alpha}\,\right]} \qquad N_1 = \frac{N}{2\cos\alpha}, \qquad (VI.\ 19)$$

O'rta sterjenning uzunligi aniqlanganda $\Delta l$ - $\delta$o'rniga $l$ olindi, chunki $l$ ga qaraganda $\delta$ juda ham kichik miqdor.

Statik noaniq sistemalarda *temperaturaning o'zgarishi* natijasida ham uning elementilarida zo'riqishlar hosil bo'ladi. Masalan, prizma shaklidagi sterjen (*VI.4*– shakl, *b*) ikki uchi $t_1$ temperaturada mahkamlangan bo'lsin.




*VI.4*- shakl

Temperatura $t_2$ gacha qizdirilganda (tashqi kuch yo'q), sterjen kesimida hosil bo'ladigan kuchlanishlarni topamiz. Sterjenning uzunligi $l$ ko'ndalang kesim yuzi $A$ va elastiklik moduli $E$ bo'lsin. Sterjenning temperaturasi $t_1$ dan $t_2$ ga o'zgarganda u cho'zilib, $B$ va $C$ tayachnlarni yorib kirishga intiladi. Bu tayanchlarning qarshilik kuchlari (reaksiyalar) sterjenga *VI.4* - shakl *b* da ko'rsatilgandek ta'sir etadi. Ana shu reaksiyalar sterjenda qisuvchi kuchlanishni hosil qiladi. Statikaning muvozanat tenglamasi

$$\sum F_x = 0, \quad \text{bundan} \quad R_C = R_B, \qquad (VI.20)$$

Demak, bu reaksiyalarni statika tenglamalaridan aniqlab bo'lmaydi, chunki birgina muvozanat sharti $B$ va $C$ tayachnlardagi reaksiyalarning teng va qarama-qarshiligini ifodalaydi. Qisuvchi kuchning miqdori noma'lumligicha qolaveradi, ya'ni masala statik noaniq.

Qo'shimcha tenglamani sterjenning uzunligi temperatura o'zgarganda ham o'zgarmay qolishi shartidan foydalanib topamiz. Sterjen uchlaridan birortasi erkin bo'lganda, temperatura ta'siridan sterjen $\Delta l_t$ ga cho'zilgan bo'lar edi. Ammo $F$ qisuvchi kuch sterjenni cho'zilishga qo'ymaydi, aksincha, uzunligi $l + \Delta l_t$ bo'ladigan sterjenni qisib, uning uzunligini $l$ ga tengligicha saqlaydi.

Demak, $F$ ta'siridan sterjen $\Delta l_F = \Delta l_t$ ga qisilar eka. Ana shu shartdan foydalanib, $F$ ni aniqlash uchun qo'shimcha tenglamani hosil qilamiz. Ma'lumki,

$$\Delta l_F = \frac{Fl}{EA}, \qquad \Delta l_t = \alpha \cdot l \cdot (t_2 - t_1), \qquad (VI.21)$$

Bunda α - sterjenningn temperatura ta'siridan kengayish koeffisiyenti

$$\frac{Fl}{EA} = \alpha \cdot l \cdot (t_2 - t_1), \qquad (VI.22)$$

Bundan $$F = \alpha \cdot EA \cdot (t_2 - t_1), \qquad (VI.\ 23)$$

Temperatura ta'siridan hosil bo'ladigan kuchlanish $$\sigma = \frac{F}{A} = \alpha \cdot E \cdot (t_2 - t_1), \qquad (VI.24)$$

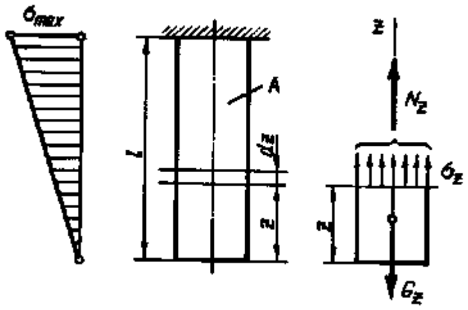
Ko'rinib turibdiki, bu kuchlanish sterjenning mexanik xarakteristikalari $E$ va $\alpha$ ga hamda temperaturaning o'zgarishiga bog'liq ekan.

Biz shu paytgacha, konstruksiya elementlarining deformasiya va kuchlanishlarini hisoblashda, bu deformasiya va kuchlanishlarga elementlarning *xususiy og'irligi* ko'rsatadigan ta'sirni etiborga olmagan edik. Ammo, ba'zan, konstruksiya elementlarining xususiy og'irligi qo'yiladigan yuk bilan bir tartibda bo'lishi mumkin. Bunday hollarda xususiy og'irlikni hisobga olmaslik katta hatoliklarga olib borishi mumkin.

Vertikal sterjenning yuqori uchi bikr tayanchga osilgan. Sterjenning uzunligi $l$ ko'ndalan kesim yuzi $A$, elastiklik moduli $E$ va solishtirma og'irligi $z$ bo'lsin (*VI.5*- shakl ). Sterjenning pastki uchidan $y$ oraliqdagi ko'ndalang kesim orqali *mn* tekislikni o'tkazib, pastki qismining muvozanatini tekshiramiz. U o'zining xususiy og'irligi $A\,\gamma\,z$ hamda *mn* kesim yuzasi bo'yicha teng tarqalgan ichki kuchlar ta'sirida muvozanatda turadi (*VI.5 - b* shakl).

$$N_y - A \cdot \gamma \cdot y = 0, \qquad (VI.25)$$

Bundan $$\sigma_y = \frac{N_y}{A} = \frac{A \cdot \gamma \cdot y}{A} = \gamma \cdot y, \qquad (VI.26)$$




*VI.5*- shakl

Ko'rinib turibdiki, sterjenning xususiy og'irligi e'tiborga olinganda, barcha ko'ndalang kesimlardagi normal kuchlanishlar bir xil bo'lmasdan, uning o'qi bo'ylab chiziqli qonun bilan o'zgarar ekan. Eng katta kuchlanish osilgan joyda, ya'ni $z = l$ bo'lgan kesimda paydo bo'lar ekan.

Xulosa sifatida statik noaniq masalarni yechishda qo'yidagi tartibdan foydalanilsa maqsadga muvofiq bo'lishligini e'tirof etamiz:

Tekshirilayotgan masalardagi sterjenlar sistemasiga qo'yilgan kuchlarni va sistema tarkibiga kiruvchi qismlarda yoki sterjenlarda hosil bo'ladigan zo'riqishlarni belgilash

Belgilangan bu kuchlar sistemasi uchun statikaning muvozanat tenglamalarini tuzish

Konstruksiya qismlarida paydo bo'ladigan deformasiyalar orasidagi munosabatlarni, sistemaning geometrik o'zgarmaslik shartidan foydalanib aniqlash, ya'ni qo'shimcha deformasiya tenglamalarini tuzish

Bu tenglamalar tarkibiga kiruvchi deformasiyalarni Guk qonuni yordamida tegishli zo'riqishlar orqali ifodalash

Hosil bo'lgan hamma tenglamalarni birgalikda yechish

*Temperatura ta'siridan kengayish koeffisiyenti* α *ning qiymatlari* *($1^0S$ ga)*

*VI.4- jadval*

| **Material** | **Temperatura ta'siridan kengayish koeffisiyenti $\alpha$, ($1^0S$ ga)** |
|---|---|
| Alyuminiy | $255 \cdot 10^{-7}$ |
| Magniy | $255 \cdot 10^{-7}$ |
| Mis | $167 \cdot 10^{-7}$ |
| Bronza | $(170...220) \cdot 10^{-7}$ |
| PO'LAT | $(100...130) \cdot 10^{-7}$ |

**NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:**

1. Markaziy cho'zilish (qisilish) deb nimaga aytiladi?
2. Bo'ylama kuchlar qanday aniqlanadi?
3. Epyura nima?
4. Kuchlanish nima?
5. Cho'zilish (qisilish)da mustahkamlik sharti ifodasini yozib bering.
6. Bo'ylama absolyut deformasiya nima?
7. Guk qonunini ta'riflab bering.
8. Statik noaniq masalalar deganda qanaqangi masalalar tushuniladi?
9. Yordamchi deformasiya tenglamalari nimaga asoslanib tuziladi?
10. Deformasiyaning birgalik shartining mohiyati nimada?
11. Montaj kuchlanishlar deganda nimani tushunasiz?
12. Temperatura ta'sirida paydo bo'ladigan kuchlanishlar qanday aniqlanadi?
13. Sterjenning xususiy og'irligini hisobga olganda uning ko'ndalang kesimida paydo bo'ladigan kuchlanishlar qanday topiladi?

Mavzu: **NO'QTANING KUCHLANISH VA DEFORMASIYALANISH HOLATLARI. SILJISH**.

**Reja:**

1. Nuqtaning kuchlanish holati to'g'risida tushuncha va uning turlari. Chiziqli, tekis va xajmiy kuchlanganlik holatlar.
2. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni.
3. Tekis kuchlanish holatida qiya yuzachalardagi kuchlanishlar. Bosh yuzalar va bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanish.
4. Sof siljish haqida tushuncha. Sof siljishda Guk qonuni.
5. Chuzilish va siljishda elastiklik modullari o'rtasidagi bog'lanish.
6. Ruxsat etilgan urinma kuchlanish. Sof siljishdagi potensial energiya.

**Tayanch iboralar:** Kuchlanish deformasiya kuchlanganlik holati, chiziqli, tekis va hajmiy kuchlanganlik holati,normal va urunma kuchlanishlar, urunma kuchlanishlarning juftlik qonuni, bosh kuchlanishlar va bosh yuzachalar. Kuchlanganlik holatlari, siljish, normal va urunma kuchlanishlar, sof siljish, kesilish, o'zilish, Guk qonuni, siljish moduli, siljishda potensial energiya.

*No'qtadagi kuchlanganlik holati haqida tushuncha*. Ma'lumki, cho'zilish va qisilishda qiya kesimlarda hosil bo'ladigan kuchlanishlarni qo'yidagicha (*VI.1*- shakl,*a*). Bunda qiya kesimning yuzasi

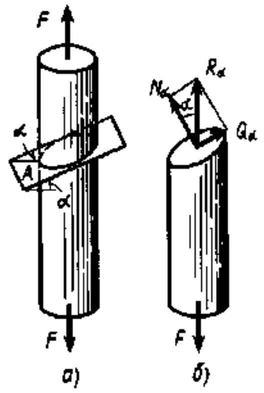
$$A_\alpha = \frac{A}{\cos\alpha}, \qquad (VI\ 1)$$

Statikaning muvozanat tenglamasidan $\sum F_y = 0,$ bundan $R_\alpha = N,$ *(VI.2)*

$$N_\alpha = F\cdot\cos\alpha, \qquad Q_\alpha = F\cdot\sin\alpha$$

Ko'rinib turibdiki, $\sigma_\alpha = \dfrac{N_\alpha}{A_\alpha} = \dfrac{F\cdot\cos\alpha}{\dfrac{A}{\cos\alpha}} = \sigma\cdot\cos^2\alpha$ , *(VI.3)*

$$\tau_\alpha = \frac{Q_\alpha}{A_\alpha} = \frac{F\cdot\sin\alpha}{\dfrac{A}{\cos\alpha}} = \frac{\sigma}{2}\sin 2\alpha$$



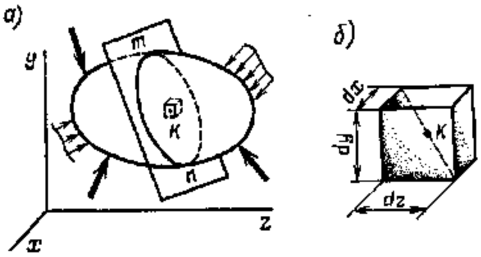

*VI.1* - shakl

Bu formulalardan ko'rinib turibdiki, qiya kesimlardagi kuchlanishlar bu qiyalikni tashkil etuvchi burchak α ga bog'liq ekan. Normal (bo'ylama) kuchlanishlar ko'ndalang kesimlarda (o'qqa $90^0$), urunma kuchlanishlar esa sterjen o'qiga $45^0$ bo'lgan kesimlarda o'zlarining eng katta qiymatlariga erishar ekan.

Murakkab hollarda bu kuchlanishlarni va ular yotgan yuzalarni topish ancha qiyinlashadi. Bu narsani aniqlash uchun biror no'qtadan o'tuvchi tekislikning turli holatladagi unda paydo bo'ladigan kuchlanishlarni o'rganish kerak.

Berilgan no'qtadan utuvchi cheksiz ko'p sondagi yuzalarning hammasida hosil bo'ladigan normal va urunma kuchlanishlarning to'plami berilgan *no'qtadagi kuchlanishlar holati* deyiladi.

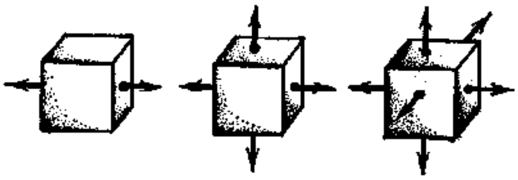
Bizga ma'lumki, cho'zilish va qisilish - deformasiyalanishning eng oddiy turi, bu yerda kuchlanganlik holati barcha no'qtalarda bir xil deb qaraladi.




*VI.2* – shakl

Umumiy hollarda esa kuchlanganlik holati bir xil emas, no'qtadan no'qtaga o'tilganda kuchlanish o'zgaradi. Masalan, istalgan *mn* kesimdagi kuchlanish har xildir (*VI.2*– shakl, *b*). Bu hollarda kuchlanganlik holatini o'rganish uchun biron bir *K* no'qta atrofida tomonlari *dx*, *dy* va *dz* bo'lgan juda kichik parallelepiped kesib olinadi. Tomonlari juda kichik bo'lganligi uchun parallelepipedning barcha no'qtalari va kesimlarida kuchlanganlik bir xil deb qaraladi. Bu faraz yuqorida ko'rilgandek qiya kesimlarda kuchlanishni o'zgarishini oddiy cho'zilish yoki qisilishdagiga o'xshashlikka olib keladi. Parallelepipedning tomonlaridagi kuchlanishlar berilgan deb hisoblanadi, qiya kesimlardagi kuchlanishlar esa muvozanat tenglamasi yordamida topiladi.

Berilgan no'qta atrofida hamma vaqt shunday elementar parallelepiped ajratish mumkinki, uning tomonlarida urunma kuchlanishlar yuzaga kelmaydi.



*VI.3* – shakl

Bu yuzalar *bosh yuzalar* deyiladi. Ularda hosil bo'ladigan kuchlanishlar *bosh kuchlanishlar* deyiladi.

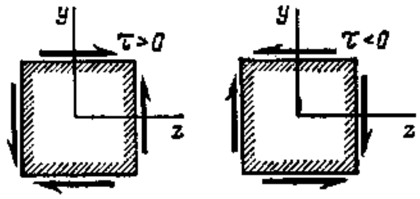
Bu kuchlanishlarning tomonlarga ta'siriga qarab uch turga bo'linadi (*VI.3* - shakl,):

1. *Chiziqli kuchlanganlik holati* – ajratilgan parallelepipedning o'zaro parallel bo'lgan bitta tomonlarida bosh kuchlanishlar yuzaga kelsa;

*Tekis kuchlanganlik holati* – ajratilgan parallelepipedning o'zaro parallel bo'lgan ikki tomonlarida bosh kuchlanishlar yuzaga kelsa;

*Hajmiy kuchlanganlik holati* - ajratilgan parallelepipedning o'zaro parallel bo'lgan ikki tomonlarida bosh kuchlanishlar yuzaga kelsa.

*Urunma kuchlanishlarning jo'ftlik qonuni.* Biror jismdan ajratib olingan parallelepiped uning tomonlariga qo'yilgan kuch ta'sirida muvozanatda turishi kerak. Parallelepiped tomonlar *dy,dz* va qalinligi (*zoy* tekisligiga perpendikulyar bo'lgan) birga teng deb olamiz (*vi.4* – shakl).




*VI.4* – shakl

Tomonga qo'yilgan kuch o'sha kuchlanish bilan yuza ko'paytmasiga teng ya'ni,

$$dF = \tau_{zy} \cdot dy \cdot 1, \qquad (VI.4)$$

Normal (bo'ylama) kuchlanishlar bir-biri bilan muvozanatlashadi. Urunma kuchlar esa ikki juft kuchni tashkil qiladi: $\tau_{zy}\,dy$ kuch $dz$ yelkasi bilan va $\tau_{yz}\,dz$ kuch $dy$ yelkasi bilan. Momentlar yig'indisi nolga teng bo'lishlik shartidan

$$(\tau_{zy}\,dy)\,dz - (\tau_{yz}\,dz)\,dy = 0, \qquad (VI.\ 5)$$

Bundan $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ , $\qquad (VI.\ 6)$

Demak, ikkita perpendikulyar tekisliklardagi urunma kuchlanishlar absolyut kattaligi jihatdan teng va ishorasi (yo'nalishi) jihatdan bir-biriga qarama-qarshi bo'lar ekan.

*Tekis kuchlanganlik holatida qiya tekisliklardagi kuchlanishlar.* Yon tomonlariga bosh kuchlanishlar ta'sir qilayotgan to'g'ri burchakli parallelopepidning burchak ostidagi qiya kesimida yuzaga keladigan kuchlanishlarni topamiz (*vi.5* - shakl).

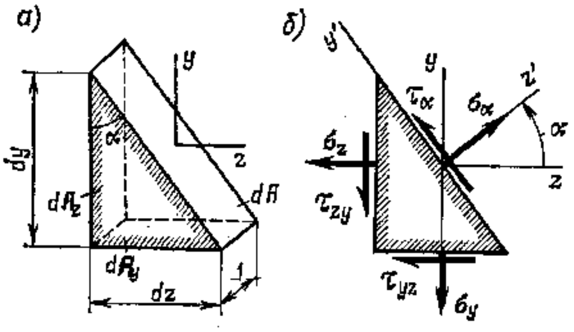
$$dA_z = 1 \cdot dy = dA \cdot \cos\alpha \qquad dA_y = 1 \cdot dz = dA \cdot \sin\alpha \ , \qquad (VI.7)$$

$\sigma_\alpha$ va $\tau_\alpha$ lar uchburchak prizmaning muvozanati shartidan topamiz.

$y'$ va $z'$ o'qlarga proyeksiyalar

$$\sigma_\alpha dA - \sigma_z dA_z \cdot \cos\alpha - \sigma_y dA_y \cdot \sin\alpha - \tau_{zy} dA_z \cdot \sin\alpha - \tau_{yz} dA_y \cos\alpha = 0$$

$$\tau_\alpha dA + \sigma_z dA_z \cdot \sin\alpha - \sigma_y dA_y \cdot \cos\alpha - \tau_{zy} dA_z \cos\alpha - \tau_{yz} dA_y \sin\alpha = 0 \quad , \quad (VI.8)$$




*VI.5* - shakl

$dA_z$ va $dA_y$ larning o'rniga (*VI.7*) ni qo'yamiz. $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ , *(VI. 9)*

$2\sin\alpha \cdot \cos\alpha = \sin 2\alpha$ va $\cos^2\alpha - \sin^2\alpha = \cos 2\alpha$ , *( VI. 10)*

ni hisobga olsak, $\sigma_\alpha = \sigma_я cos^2\alpha + \sigma_y \sin^2\alpha + \tau_{zy}\sin 2\alpha$ , *(VI.11)*

$$\tau_\alpha = -\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\sin 2\alpha + \tau_{zy}\cos 2\alpha \qquad (VI.11^*)$$

bu yerda ham $cos^2\alpha = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\alpha)$ va $\sin^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$ , *(VI.12)*

ekanligini hisobga olsak, $\sigma_\alpha = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\cos 2\alpha + \tau_{zy}\sin 2\alpha$ , *(VI.13)*

Bu formulardan ham ko'rinib turibdiki, $\sigma_\alpha$ va $\tau_\alpha$ larning qiymatlari $\alpha$ burchakka bog'liq ekan. Uning ba'zi qiymatida bu kuchlanishlar o'zlarining ekstremal qiymatlariga erishadi. Masalan, normal kuchlanishlar uchun bu yuzalar ikkita - $\alpha_0$ va $\alpha_0 + 90^0$ burchak oralig'idagi yuzalar bo'ladi. Bu kuchlanishlarning biri - $\sigma_{max}$ ; biri - $\sigma_{min}$. Bizga ma'lumki bu yuzalar *bosh yuzalar* deyiladi, bu yuzalardagi kuchlanishlar esa *bosh kuchlanishlar* deyiladi. Bu yuzalarda kuchlanishlar nolga teng bo'ladi.

Bosh yuzalar qanday joylashganligini aniqlash uchun $\tau_\alpha$ *(VI.11*)* formulani nolga tenglashtiramiz,

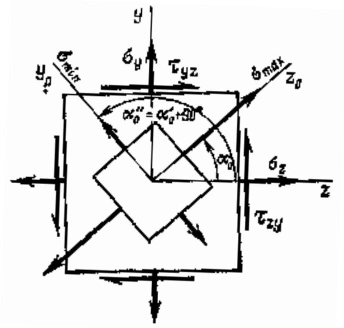
ya'ni $-\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\sin 2\alpha + \tau_{zy}\cos 2\alpha = 0$ , *(VI.14)*

Bundan $tg 2\alpha_0 = \frac{2\tau_{zy}}{\sigma_z - \sigma_y}$ , *(VI. 15)*

Bu burchak $\alpha_0$ bosh yuzalar qiyalik burchagidir. Bu $\alpha_0$ ni $\sigma_\alpha$ dagi *(VI.11)*larni o'rniga qo'yamiz

$$\sigma_{\max,\min} = \sigma_z cos^2\alpha + \sigma_y \sin^2\alpha + \tau_{zy}\sin 2\alpha \ , \qquad (VI.\ 16)$$

$$\sigma_{\max,\min} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2} \quad , \qquad (VI.\ 17)$$

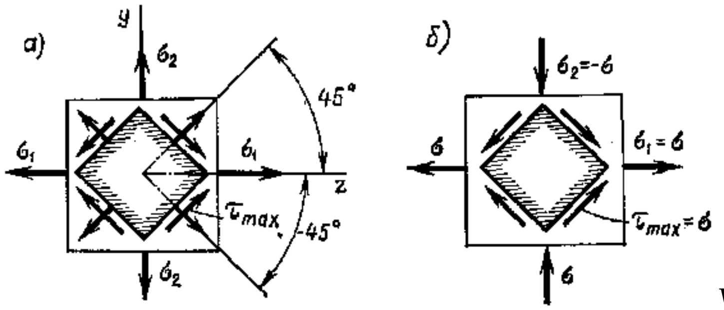


*VI.6* - shakl

*Ekstremal urunma kuchlanishlar.* Bu kuchlanishlarni topish uchun yuqorida olingan *(VI.11)* va *(VI.13)* formulalardan $\sigma_z = \sigma_1$ , $\sigma_y = \sigma_2$, va $\tau_{zy} = 0$ foydalanamiz

$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} cos\alpha$ , *(VI. 18)* $\tau_\alpha = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\sin\alpha$ , *(VI.19)*

Pastdagi formuladan ko'rinib turibdiki, $\alpha$ =-$45^0$ da *(sin 2$\alpha$ = -1)* urunma kuchlanish o'zining ekstremal qiymatlariga erishadi, ya'ni $\tau_\alpha = \dfrac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$, *(VI.20)*




*VI.7* - shakl

Bu formulaga *(VI. 17)* ni qo'ysak $\tau_{max}$ ni berilgan kuchlanishlar orqala ifoadalab olamiz

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4 \cdot \tau_{zy}} \quad , \qquad (VI.21)$$

Umumiy holda $\tau_{max}$ yuzalarda normal kuchlanishlar nolga teng bo'lmaydi. Agar *(VI.19)* formulaga

$\alpha = \pm 45^0$ qo'yilsa $\sigma_{\pm 45^0} = \dfrac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \dfrac{\sigma_z + \sigma_y}{2}$ , *(VI.22)*

Xususiy hollarda ya'ni $\sigma_1 = -\sigma_2 = \sigma$ bo'lgan yuzalarda

$$\tau_{max} = \sigma, \qquad (VI.\ 23)$$

*Va bu yuzalarda normal kuchlanishlar nolga teng bo'ladi. Kuchlanganlik holatining bu holi* sof siljish *deyiladi va yuzalar* sof siljish yuzalari *deyiladi.*

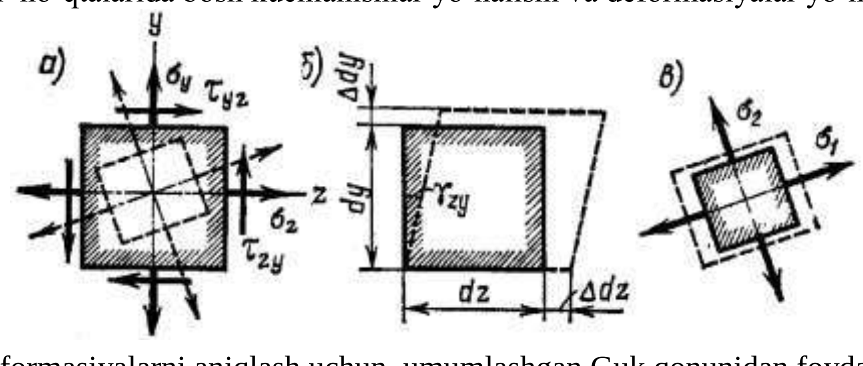
*No'qtadagi deformasiyalanish holati.* Tekis kuchlanganlik holatini ko'rib chiqamiz. Tomonlari cheksiz kichik *dz* va *dy* bo'lgan to'g'ri burchakli elementga normal $\sigma_z$ , $\sigma_y$ va urunma $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ kuchlanishlar ta'sir qilayotgan bo'lsin (*vi.8* – shakl).

Bu kuchlanishlarning bo'lishi elementni deformasiyalanishiga olib keladi, ya'ni

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta dz}{dz}, \qquad \varepsilon_y = \frac{\Delta dy}{dy} \qquad (VI.23^*)$$

Urunma kuchlanish bilan esa burchak deformasiya yoki siljish deformasiyasi bog'liq. Bu deformasiya burchaklar o'zgarishini hisobga oladi.

Ma'lumki, bir no'qtadan o'tuvchi ikkita o'zaro perpendikulyar bo'lgan yuzalar topish mumkinki, bu yerda $\tau = 0$ yoki $\gamma = 0$. Bu yuzalarda bosh deformasiyalar yoki $\varepsilon_1$ va $\varepsilon_2$ vujudga keladi. Izotrop va elastik jismlarni no'qtalarida bosh kuchlanishlar yo'nalishi va deformasiyalar yo'nalishi mos to'shadi.




*VI.8* – shakl

Bosh deformasiyalarni aniqlash uchun umumlashgan Guk qonunidan foydalaniladi.

fazoviy kuchlanganlik holati uchun:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}[\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)], \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{E}[\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)], \quad \varepsilon_3 = \frac{1}{E}[\sigma_3 - \mu(\sigma_2 + \sigma_1)] \qquad (VI.24)$$

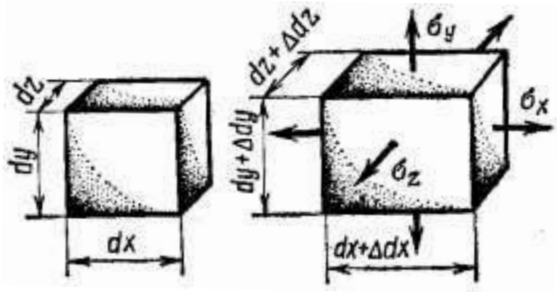
tekis kuchlanganlik holati uchun:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}[\sigma_1 - \mu(\sigma_2)], \qquad \varepsilon_2 = \frac{1}{E}[\sigma_2 - \mu(\sigma_1)], \qquad \varepsilon_3 = -\frac{\mu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2) \qquad (VI.\ 25)$$

Kuchlanishlar orqali ifodalansa

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu \cdot \varepsilon_2), \qquad \sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu \cdot \varepsilon_1) \qquad (VI.\ 26)$$

*Deformasiya vaqtida material hajmining o'zgarishi.* Deformasiyagacha tomonlari $dx$, $dy$ va $dz$ deformasiyadan keyin $dx+\Delta dx$, $dy+\Delta dy$ va $dz+\Delta z$ bo'lgan parallelepiped hajmini deformasiyagacha - $V_0$, deformasiyadan keyin esa - $V_1$ orqali belgilasak,




*VI.9* – shakl

u holda hajmning absolyut o'zgarishi

$$\Delta V = V_1 - V_0 = dx\cdot dy\cdot dz\left(1+\frac{\Delta dx}{dx}\right)\left(1+\frac{\Delta dy}{dy}\right)\left(1+\frac{\Delta dz}{dz}\right) - dx\cdot dy\cdot dz, \quad (VI.27)$$

Ma'lumki $\varepsilon_x = \dfrac{\Delta dx}{dx}$, $\varepsilon_y = \dfrac{\Delta dy}{dy}$, $\varepsilon_z = \dfrac{\Delta dz}{dz}$, *(VI.28)*

U holda $\Delta V = V_0\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z + \varepsilon_y\cdot\varepsilon_x + \varepsilon_y\cdot\varepsilon_z + \varepsilon_x\cdot\varepsilon_z + \varepsilon_x\cdot\varepsilon_y\cdot\varepsilon_z\right)$, *(VI.29)*

$$\Delta V = V_0\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z\right)$$

Nisbiy hajmiy deformasiya: (hajmning nisbiy o'zgarishi)

$$\theta = \frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \ , \qquad \theta = \frac{1-2\cdot\mu}{E}\left(\ \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z\ \right) \qquad (VI.30)$$

*Gidrostatik qisish*: $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = -\sigma$ $\quad \theta = -3(1-2\cdot\mu)\dfrac{\sigma}{E}$ *(VI.31)*

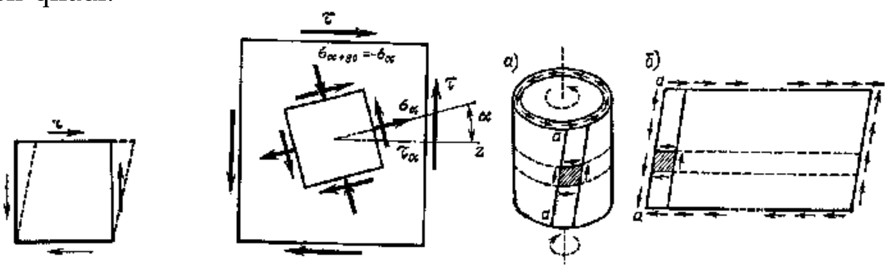
Potensial energiya $U = \dfrac{1}{2}\sigma\cdot\varepsilon$, *(VI.32)*

Jismning berilgan no'qtasi uchun deformasiyaning solishtirma potensial energiyasi:

$$u = \frac{1}{2}\sigma_1\cdot\varepsilon_1 + \frac{1}{2}\sigma_2\cdot\varepsilon_2 + \frac{1}{2}\sigma_3\cdot\varepsilon_3 \ , \qquad (VI.33\ )$$

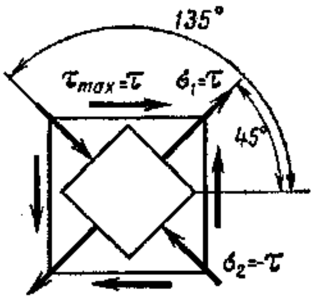
$$u = \frac{1}{2E}\left[\ \sigma^2{}_1 + \sigma_3^2 - 2\cdot\left(\sigma_1\cdot\sigma_2 + \sigma_2\cdot\sigma_3 + \sigma_1\cdot\sigma_3\right)\right.$$

Biz yuqorida kuchlanganlik holatlarini o'rganinimizda siljishni biron bir ixtiyoriy no'qta atrofida kesib (ajratib) olingan to'g'ri burchakli element tomonlari uzilmasdan yoki qisilmasdan, faqat siljish deformasiyasi ta'siri degandik (*VI.10* - shakl, *a* ), ya'ni element tomonlarida faqat urunma kuchlanish ta'sir qiladi.




*VI.10* – shakl

Demak, sof siljish deb, shunaqangi deformasiyalangan holatni aytamizki, o'zaro perpendikulyar bo'lgan yuzalarda faqat urunma kuchlanishlar ta'sir qiladi. Bu yuzachalar sof siljish maydonlari (yuzachalari) deyiladi.




*VI.11* - shakl

Biz yuqorida ixtiyeriy qiya tekisliklardagi kuchlanishlarni qo'yidagicha yozgandik

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2\alpha + \sigma_y \sin^2\alpha + \tau_{xy}\sin 2\alpha\,, \qquad \tau_\alpha = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\sin 2\alpha + \tau_{xy}\cos 2\alpha \qquad (VI.\ 34)$$

Bu ifodalarga $\sigma_x = \sigma_y = 0\,,\quad \tau_{xy} = \tau$ ni qo'ysak,

$$\sigma_\alpha = \tau_{xy}\sin 2\alpha\,, \qquad \tau_\alpha = \tau_{xy}\cos 2\alpha \qquad (VI.\ 35)$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, $\sigma_\alpha$ kuchlanish faqat sof siljish yuzachalarida, ya'ni $\alpha=0$ yoki $\alpha=(n\pi)/2$ da nolga teng bo'lar ekan. Qolgan yuzachalarda esa, $\sigma_\alpha$ nolga teng emas (*VI.10* -shakl).

Shu yerda normal kuchlanish $\sigma_\alpha$ ning qiziq bir xossasini ko'rib o'tamiz, hohlagan o'zaro perpendikulyar yuzalarda ular kattaligi jihatdan o'zaro teng va o'zaro qarama-qarshi ishoralari bilan ta'sir qilishar ekan, ya'ni

$$\sigma_{\alpha+90^0} = -\sigma_\alpha\,, \qquad \sin 2\left(\alpha + 90^0\right) = -\sin 2\alpha\,, \qquad (VI.\ 36)$$

Demak, sof siljishda o'ziga xos normal kuchlanishlarning jo'ftlik qonunini kuzatish mumkin.

$$\sigma_1 = \tau\,, \qquad (VI.\ 37)$$

Endi sof siljishda kuchlanishlarning eng katta va eng kichik qiymatlarini topamiz.

*(VI.35)* tenglamalarning birinchisiga muvofiq, normal kuchlanishlar o'zining eng katta qiymatiga $\alpha=45^0$ $(\sin 2\alpha=1)$ da erishadi. $\alpha=135^0$ $(\sin 2\alpha=-1)$ da esa teskari o'zining eng kichchik qiymatiga erishadi.

Urunma kuchlanishlarning eng katta qiymatini (*VI.35*) formuladan topish mumkin.

$$\alpha = 0 \ da \quad \tau_{max} = \tau\,, \qquad (VI.\ 38)$$

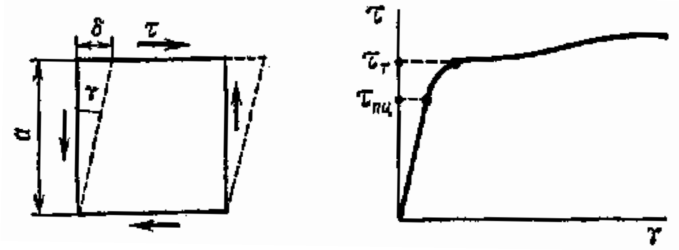
Demak, sof siljishda bosh siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlar bir –birlariga teng va son qiymati bo'yicha eng katta urunma kuchlanishiga teng bo'ladi. Bosh yuzachalar sof siljish yuzalari bilan $45^0$ burchakni tashkil qiladi (*VI. 11*– shakl, *b*).

*Sof siljishda Guk qonuni.* Sof siljish deformasiyasini ko'rib chiqamiz (*VI.12* – shakl,*a* ). $\delta$ kattalikni – absolyut siljish, $\delta/a$ nisbatni esa – nisbiy siljish yoki siljish burchagi $(\gamma)$ deb ataymiz.

Tajriabalarda aniqlanishicha, aniq bir chegaralarda sof siljish deformasiyasi elastik holda ruy beradi va uning kattaligi urunma kuchlanishga to'g'ri proporsionaldir.

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \qquad \text{yoki} \qquad \tau = \gamma G\,, \qquad (VI.39)$$

Bu ifodalar siljishda Guk qonunini ifodalaydi. Bu yerda *G* - proporsionallik koeffisiyenti yoki siljishdagi elastiklik moduli (ikkinchi tur elastiklik modul), *(MPa)*.



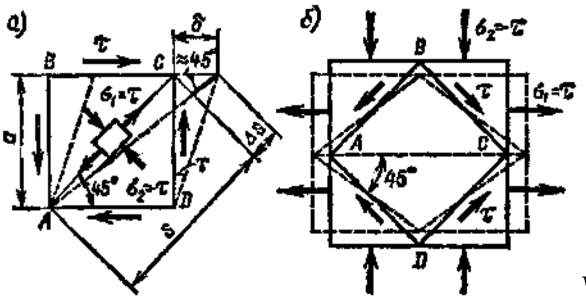

*VI.12*- shakl

Siljish modulining qiymati truba shaklidagi namunalarni buralishga sinash yordamida aniqlanadi.

Ko'rilayotgan element (*VI.13*– shakl, *a*) diagonali *AC* ning cho'zilishi $\Delta s$ ni ikki tomonlama ta'rif qilish mumkin:

- siljish deformasiyasining ta'sirida, ya'ni $\tau$ kuchlanish ta'sirida - *G* ga bogliq holda;

- *AC* diagonal $\sigma_1$ cho'zuvchi va $\sigma_2$ siquvchi kuch ta'sirida cho'zilishi mumkin, ya'ni $E$ ga bog'liq.




*VI.13*- shakl

Demak, $E$ va $G$ o'zaro bog'langan ekan:

Siljish deformasiyasining ta'sirida: $\Delta s=\delta\cdot cos45^0=\dfrac{\sqrt{2}}{2}a\cdot\gamma$ , *(VI. 40)*

Chunki $a=\delta\cdot cos45^0=\dfrac{\sqrt{2}}{2}s$ , *(VI.40)* va $\gamma=\dfrac{\tau}{G}$, *(VI.41)*

Unda $\Delta s=\dfrac{\tau}{2G}s$ , *(VI.42)*

Ba'zi materiallar uchun $G$ ning qiymatlari

*VI.1- jadval*

| № | Material | G,MPa |
|---|---|---|
| 1. | Po'lat | $8{,}1\cdot 10^4$ |
| 2. | Cho'yan | $4{,}5\cdot 10^4$ |
| 3. | Mis | $4\ldots 4{,}9\cdot 10^4$ |
| 4. | Alyuminiy | $2{,}0\cdot 10^4$ |
| 5. | Yog'och (tolalari bo'yicha) | $0{,}055\cdot 10^4$ |
| 6. | Shisha | $2{,}2\cdot 10^4$ |

Cho'zilish (qisilish) ta'sirida $\varepsilon_1=\dfrac{\Delta s}{s}=\dfrac{\sigma_1}{E}-\mu\dfrac{\sigma_2}{E}$ , *(VI.43)*

Chunki Guk qonuniga asosan $\varepsilon_y=\dfrac{1}{E}\left(\sigma_y-\mu\cdot\sigma_x\right)$ va $\varepsilon_x=\dfrac{1}{E}\left(\sigma_x-\mu\cdot\sigma_y\right)$ , *(VI.44)*

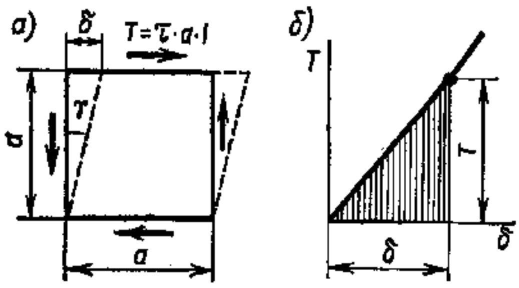
Bu yerda $\sigma_1=\tau$ va $\sigma_2=-\tau$ , $\Delta s=\dfrac{(1+\mu)\tau}{E}s$ *(VI. 13)*

*(VI.42)* va *(VI.43)* ni tenglashtirsak $G=\dfrac{E}{2(1+\mu)}$ , *(VI. 45)*

Sof siljishda potensial energiya. *Sof siljishda faqat urunma kuch $T$ ish bajaradi*

$$A=U=\frac{1}{2}T\cdot\delta, \qquad (VI.46)$$

Bu yerda $T=\tau\cdot a,$ $\delta=\gamma\cdot a$ , unda $U=\dfrac{1}{2}\tau\cdot\gamma\cdot a^2$ *(VI.47)*




*VI.14- shakl*

Element hajmi - $V=a^2\cdot 1,$ *(VI.48)*

Unda solishtirma potensial energiya $u=\dfrac{U}{V}=\dfrac{1}{2}\tau\cdot\gamma$ , *(VI.49)*

Guk qonuni bilan ifodalasak $$u=\frac{1}{2}\frac{\tau^2}{G},\qquad (VI.50)$$

Ko'rinib turibdiki, bu formula cho'zilishdagi solishtirma potensial energiyaning ifodasiga o'xshash

$$u=\frac{1}{2}\frac{\sigma^2}{G},\qquad (VI.51)$$

*Siljishda ruxsat etilgan kuchlanish.* Siljishda ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash cho'zilish yoki siqilishdagi ruxsat etilgan kuchlanishni tanlashga qaraganda murakkabroqdir.

Umuman cho'zilish yoki siqilishdagi ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash uchun materialning oquvchanlik chegarasi bilan mustahkamlik chegarasini asos qilib olingan bo'lsa, siljish uchun materialning bu tavsifnomalarini aniqlash amaliy jihatdan qiyin masaladir, chunki, sof siljish tekis kuchlanish holatiga ekvivalentdi, ya'ni murakkab kuchlanishdir.

Murakkab kuchlanish sinovini tajribalarda o'tkazish juda murakkab bo'lib, shuning uchun siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanish mustahkamlik nazariyalari asosida aniqlanadi.

Siljishda ruxsat etilgan kuchlanish mustahkamlikning ikkinchi, uchunchi va to'rtinchi nazariyalari asosida topiladi.

Ikkinchi nazariyaga muvofiq: $$[\sigma]\geq\sigma_1-\mu\sigma_3=\tau+\mu\tau=\tau(1+\mu)\qquad[\tau]\cong\frac{[\sigma]}{(1+\mu)},\qquad (VI.52)$$

Uchunchi nazariyaga ko'ra esa- $$[\sigma]\geq\sigma_1-\sigma_3=\tau-\tau=2\tau\qquad[\tau]=\frac{1}{2}[\sigma],\qquad (VI.53)$$

Va to'rtinchi nazariyaga muvofiq: $$[\sigma]\geq\sqrt{\frac{1}{2}\left[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2\right]}$$

Yoki $$[\sigma]\geq\sqrt{\frac{1}{2}\left[(\tau-0)^2+(\tau+\tau)^2+(0+\tau)^2\right]},\qquad[\tau]\cong\frac{[\sigma]}{\sqrt{3}},\qquad (VI.54)$$

Bir jinsli bo'lmagan materiallar uchun (masalan yog'och - $$[\tau]\cong\frac{[\sigma]}{10},\qquad (VI.55)$$

*Siljishga ishlaydigan birikmalarning amaliy hisobi.*

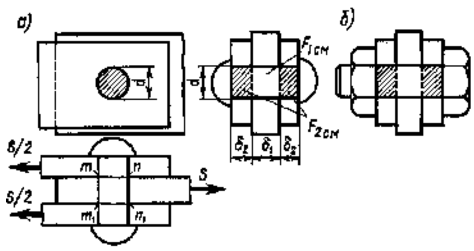
*1. Parchin mixli, boltli birikmalarni hisoblash.*

Bu birikmalarni hisoblash uchun u *m-n* va $m_1$-$n_1$ yoki ikki joyidan qirqiladi. Ikki joyidan qirqiladigan bitta parchin mix qirqilish shartiga chidash bera oladigan chegaraviy kuch $S_k$ ni topamiz.

Bunday birikmaning ishdan chiqish payti sifatida listlar sezilarli siljib, parchin mix qirqiladigan kesimlarda oqo'vchanlik paydo bo'ladigan holni olamiz.

Oquvchanlik chegarasini - $\sigma_o$ deb belgilasak $$Q_к=A\cdot\sigma_o,\qquad (VI.56)$$

bu yerda $$A=\frac{2\pi\cdot d^2}{4},\qquad (VI.57)$$



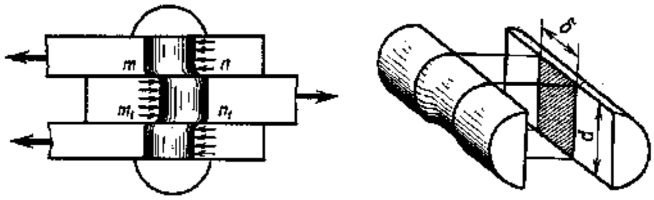

VI.15- shakl

U holda $$Q_к=\frac{\pi\cdot d^2}{2}\sigma_o,\qquad (VI.58)$$

Agar *k* ta listlar bo'lsa $$Q_k=k\frac{\pi\cdot d^2}{2}\sigma_o,\qquad (VI.59)$$

Ezilish $$A_э=\sum d\cdot\delta,\qquad Q_э=A_э\cdot\sigma_0,\qquad (VI.60)$$

PARCHIN MIXLAR SONI- $$n=\frac{N}{S_{\min}},\qquad (VI.61)$$

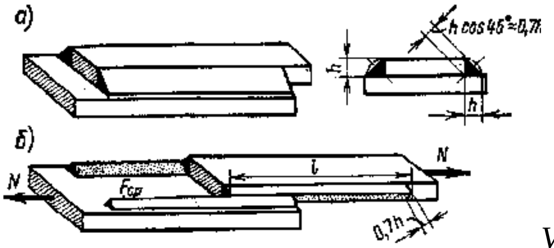


VI.16- shakl

*2. Payvand birikmalarini qirqilishga hisoblash*

$A_{к} = 2 \cdot l \cdot h \cdot \cos 45^{0} \approx 0{,}7 \cdot l \cdot h$ , *(VI.62)*

Mustahkamlik sharti: $\dfrac{N}{A_{к}} = \dfrac{N}{1{,}4 \cdot l \cdot h} \leq R_{б}^{п}$ , *(VI.63)*



*VI.16* - shakl

Bu yerda: $R_{б}^{п}$ -burchak payvand chok materialining qirqilishiga ko'rsatadigan hisobiy qarshiligi; *l* - bitta chokning hisob uzunligi.

## NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:

1. Qaysi holatda markaziy cho'zilishda urunma kuchlanishlar yuzaga keladi va ular qanday aniqlanadi?
2. No'qtadagi kuchlanganlik holati nima va uning qanakangi turlarini bilasiz?
3. Urunma kuchlanishlarning juftlik qonunini ta'riflab bering.
4. Tekis kuchlanganlik holatida qiya kesimlardagi kuchlanishlar qanday aniqlanadi?
5. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzachalar qanday aniqlanadi?
6. Siljish deb nimaga aytiladi?
7. Siljishda qanaqangi kuchlanish yuzaga keladi?
8. Siljishda mustahkamlik shartini yozing;
9. Siljishda Guk qonunini ta'riflab bering;
10. Siljishidga potensial energiya qanday aniqlanadi?

## Mavzu: **BURALISH**

**Reja:**

1. Burovchi momentlarni hisoblash va ularning epyurasini qurish.
2. Val kesimidagi kuchlanishni aniqlash. Valning mustahkamlik sharti.
3. Valning deformasiyasi. Ko'ndalang kesimning buralish burchagini aniqlash. Valning bikrlik sharti.
4. Buralishdagi deformasiyaning potensial energiyasi

**Tayanch iboralar:** Burovchi moment, quvvat. Aylanishlar soni, kuchlanish, qo'tbiy inersiya momenti, qarshilik momenti, kesim diametri, kesim yuzasi, mustahkamlik sharti, bikrlik sharti, siljish moduli, siljish burchagi, buralish burchagi, urunma kuchlanish, kesimning qo'tbiy inersiya moyenti, kesimning qarshilik momenti, mustahkamlik sharti, nisbiy buralish burchagi, bikrlik sharti, deformasiyaning potensial energiyasi.

Buralish deb to'sinning ko'ndalang kesimi yuzalarida faqat burovchi momentlar paydo buladigan deformasiyalanish holatiga aytiladi, bunda $N$, $M_e$ va $Q$ lar nolga teng bo'ladi.

Tekshirishlar shuni ko’rsatadiki, buraladigan to’sin deformasiyasining xarakteri ko’p jihatdan uning ko’ndalang kesim yuzasi shakliga bog’liq bo’ladi. Amalda asosan doiraviy va halqasimon kesimlar ko’p ishlatiladi.

Buraladigan to’sinining turli kesim yuzalariga bir necha tashqi momentlar qo’yilgan bo’lsin. To’sinning muvozanat holatiga asosan

$$M_1 - M_2 + M_3 + M_4 = 0, \qquad (VII.1)$$

ixtiyoriy *III* kesimdagi burovchi momentni topish uchun kesimlar metodidan foydalamiz.

$$\sum M_z = 0, \qquad (VII.2)$$

$$M_1 - M_2 + M_z = 0, \qquad M_z = M_2 - M_1$$

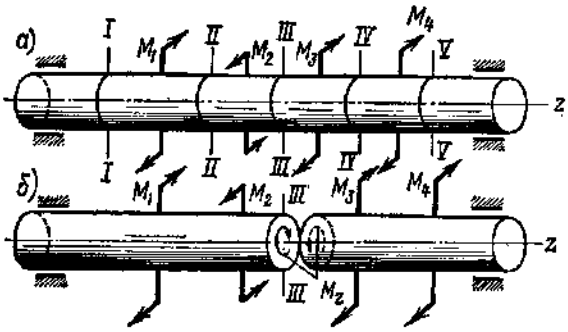
yoki $- M_z + M_3 + M_4 = 0, \qquad M_z = M_3 + M_4$

$M_z$ ning ikkala qiymati ham teng ekanligi ko’rinib turibdi.

Umumiy holda:

$$M_z = \sum M^{ch}$$

$$M_z = \sum M^{u}$$

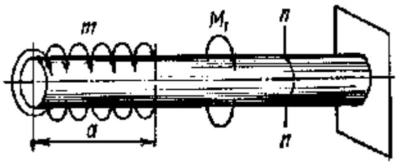



*VII.1*- shakl

$$M_{n-n} = \int_0^a m \cdot dz + M_1 = m \cdot a + M_1, \qquad (VII.3)$$

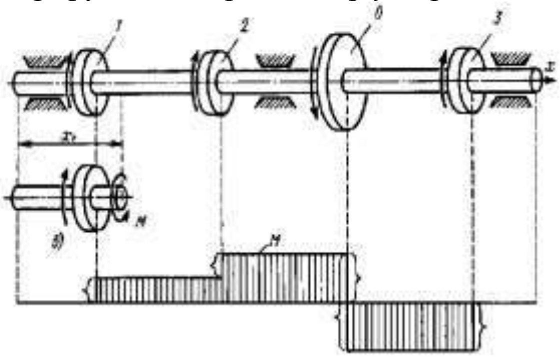
Tashqi normalardan qaralsa, soat strelkasi bo’yicha yo’nalgan momentlar - musbat , aks holda – manfiy hisoblanadi.

Agar qator kesimlardagi burovchi momentlarni topish kerak bo’lsa, $M_z$ ning to’sin uzunligi bo’yicha o’zgarishini grafik tasvirlash uchun burovchi momentlar epyuralari qo’riladi.

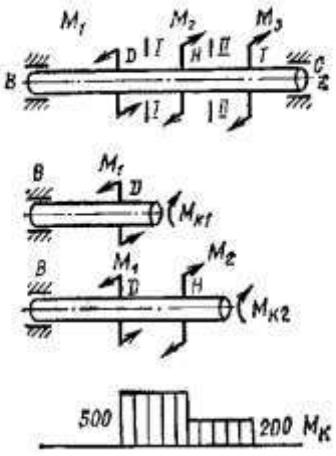



*VII.2*- shakl

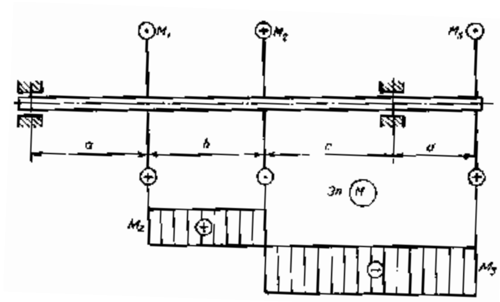
Burovchi moment va uning epyuralarini qo’rishni quyidagi misollarda ko’rib chiqamiz.



*VII.3*- shakl

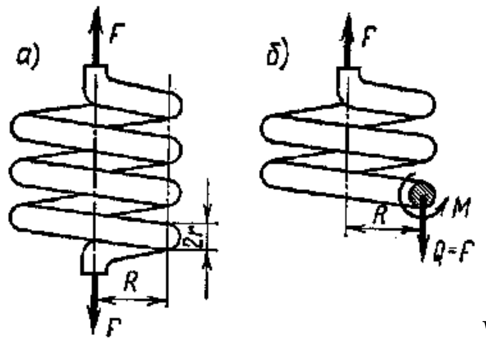



*VII.4*- shakl



*VII.5*- shakl

*Silindrik prujinalar.* Mashinasozlikda o’ramlari mayda qadamli silindrik prujinalar keng qo’llaniladi (*VII.6*- shakl).

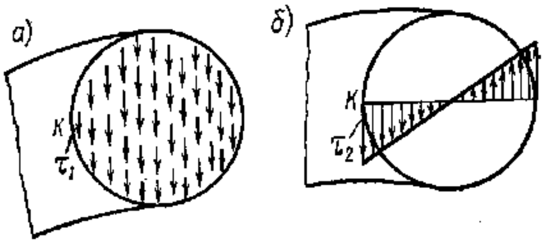



*VII.6*- shakl

O’ramlari mayda qadamli bo’lgan vinsimon silindrik prujina olamiz. Prujina o’ramining o’rtacha diametrini $D$ va radiusini $R$ orqali, prujina tayyorlashda ishlatilgan sim diametri $d$ va radiusini $r$ orqali, prujina o’ramlari sonining esa $n$ orqali belgilaymiz. Prujinani ikki qismga ajratamiz, pastki qismini tashlab yuborib, uning yuqori qismiga ta’sirini ko’ndalang kuch $Q$ va burovchi moment $M_b$ bilan almashtiramiz.

Ko’rinib turibdiki, $Q = F$ va $M_b = F\ R,$ *(VII.4)*

Shunday qilib, o’ramlari mayda qadamli bo’lgan prujina qirqilish bilan buralishga ishlaydi ya’ni,




*VII.7*- shakl

$$\tau_1 = \frac{F}{A_к} = \frac{F}{\pi \cdot r^2}, \qquad (VII.5)$$

$$\tau_2 = \frac{M_б}{W_\rho} = \frac{2 \cdot M_б}{\pi \cdot r^3} = \frac{2 \cdot F \cdot R}{\pi \cdot r^3}, \qquad (VII.6)$$

$$\tau_{\max} = \tau_1 + \tau_2 = \frac{F}{\pi \cdot r^2} + \frac{2\cdot F\cdot R}{\pi \cdot r^3} = \frac{2\cdot F\cdot R}{\pi \cdot r^2}\left(1 + \frac{r}{2\cdot R}\right), \qquad (VII.7)$$

$\left(\frac{r}{2\cdot R}\right) \prec 1$ bo’lganligi uchun $\tau_{\max} \frac{2\cdot F\cdot R}{\pi \cdot r^3}$, *(VII.8)*

Deformasyailanish jarayonida prujina o’ramlari buralishgagina ishlaydi deb hisoblab, prujina deformasiyasini topamiz.

$F$ kuch ta’sirida prujinaning cho’zilishini $\lambda$ orqali belgilab, $F$ kuchning $\lambda$ ko’chishda bajargan ishi $A$ ni topamiz. $\mathrm{A} = \frac{1}{2} R \cdot \lambda$, *(VII.9)*

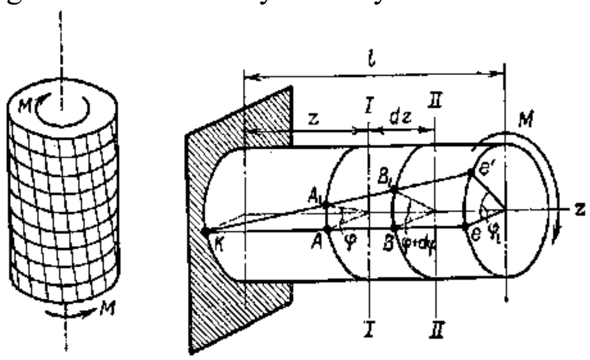
Prujinada hosil bo’ladigan potensial energiya $U = \frac{M^2 \cdot l}{2\cdot GJ_\rho}$, *(VII.10)*

$n$ o’ramli prujina tayyorlash uchun ketgan sim uzunligi $l = 2\cdot \pi \cdot R \cdot n$, *(VII.11)*

Shuning uchun $U = \frac{M^2 \cdot l}{2\cdot GJ_\rho} = \frac{\pi \cdot R^3 n \cdot F^2}{GJ_\rho}$, *(VII.12)*

$J_\rho = \frac{\pi \cdot r^4}{2}$ ekanligini hisobga olinsa, $\lambda = \frac{4\cdot R^3 n \cdot F}{G\cdot r^4}$, *(VII.13)*

Buralishda hosil bo’ladigan deformasiyalarni aniqlashdan oldin kichik bir tajriba o’tkazamiz. Agar rezinadan tayyorlangan silindrik sterjen sirtiga to’g’ri to’rtburchak shaklidagi to’r chizib uni burasak to’rlar bilan hosil qilingan to’g’ri to’r burchaklari qiyshayadi, to’sinning o’qi to’g’ri chiziqligicha qoladi, ko’ndalang kesim yuzasining konturi deformasiyadan keyin ham o’z shaklini saqlaydi.



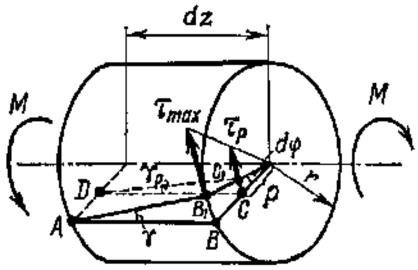

*VII.10*- shakl

Buralishda bir ko’ndalang yuzasi boshqasiga nisbatan buraladi, bu buralishda hosil bo’lgan burchak *buralish burchagi* deyiladi. Ko’ndalang kesimlar orasidagi masofa o’zgarmaydi, binobarin, bo’ylama tolalar chuzilmaydi ham qisilmaydi ham. Bu qilingan ishlar to’sin sirtidagi tolalarning deformasiyalarini ifodalaydi. Ichki tola deformasiyalarini o’rganishda aniqlik kiritish uchun qo’yidagi gipotezalarni qilamiz:

- ✓ buralguncha tekis bo’lgan kesim yuzasi buralgandan keyin ham tekis qoladi;
- ✓ istalgan kesim yuzasida o’tkazilgan radius egrilanmaydi.

Qabul qilingan gipotezalar asosida doiraviy kesimli to’sinning buralishini ko’ndalang kesim yuzalarining bir-biriga nisbatan siljishlari natijasi deb qarash mumkin. Buning natijasida to’sin ko’ndalang kesim yuzasida faqat urunma kuchlanishlar paydo bo’ladi, normal kuchlanishlar esa nolga teng bo’ladi.

Bir uchi qistirib mahkamlangan erkin uchiga *M* momentli juft kuch qo’yilgan *r* radiusli to’sinni ko’rib chiqamiz. To’sinning yon sirtida *ke* yasovchi o’tkazamiz u to’sin buralgandan keyin *ke'* holatni egallaydi. To’sinning buralishi natijasida qisib qo’yilgan kesimdan *z* masofadagi *I – I* kesimi *ц* burchakka, unga qo’shni *II -II* kesim esa *φ+d φ* burchakka buraladi. Demak *II* kesim, *I* kesimga nisbatan *d φ* burchakka buriladi. *dz* uzunlikka ega bo’lgan to’sin elementini alohida ko’rib chiqamiz. Qo’laylik uchun chap kesimini qo’zg’almas deb olamiz.




*VII.11*- shakl

*AB* yasovchi kichik $\gamma$ burchakka og'adi va $AB_1$ holatni egallaydi. Bu burchak

$$\gamma = \frac{BB_1}{AB} = \frac{r \cdot d\varphi}{dz}, \qquad (VII.14)$$

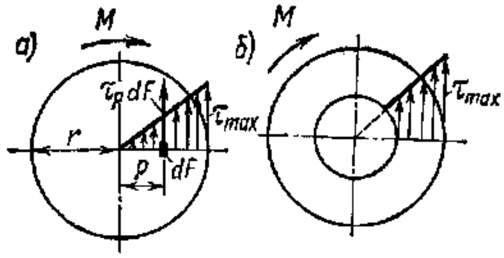
To'sin kesim yuzasining markazidan ixtiyoriy *c* masofada yotuvchi tola uchun

$$\gamma_\rho = \frac{CC_1}{DC} = \frac{\rho \cdot d\varphi}{dz}, \qquad (VII.15)$$

Siljishdagi Guk qonuniga asosan bu ikki no'qta uchun

$$\tau = \gamma \cdot G = G\frac{d\varphi}{dz}r, \quad \tau_\rho = \gamma_\rho \cdot G = G\frac{d\varphi}{dz}\rho, \qquad (VII.16)$$

Ko'rinib turibdiki, kuchlanish radiusga proporsional ravishda o'zgaradi. To'sin markazidan eng o'zoqda yotgan no'qtalarda kuchlanishlar eng katta qiymatga erishadi.




*VII.12*- shakl

Yuqoridagi $\frac{d\varphi}{dz}$ nisbatni burovchi moment $M_b$ bilan bog'laymiz. Buning uchun ixtiyoriy bir no'qta atrofida *dA* yuzacha ajratamiz, bu yuzagacha elementar $\tau_c \cdot dA$ urunma kuch ta'sir qiladi.

Bu kuchning to'sin o'qiga nisbatan elementar momenti

$$dM_б = \int_A \tau_\rho \cdot dA \cdot \rho = \int_A G \cdot \rho \frac{d\varphi}{dz}\rho \cdot dA = G\frac{d\varphi}{dz}\int_A \rho^2 dA = G\frac{d\varphi}{dz}J_\rho, \qquad (VII.17)$$

Chunki $\int \rho^2 dA = J_\rho$ U holda $\frac{M_б}{GJ_\rho} = \frac{d\varphi}{dz}$, *(VII.18)*

Bu qiymatni *(VII.16)* ga ko'ysak $\tau_{\max} = \frac{M_б}{J_\rho}\rho$, *(VII.19)*

Bu formula doiraviy ko'ndalang kesim yuzasining ixtiyoriy no'qtasidagi urunma kuchlanishni topish imkonini beradi.

Kesimning eng chekka no'qtalaridagi maksimal kuchlanishlar

$$\tau_{\max} = \frac{M_б}{J_\rho}\rho = \frac{M_б}{W_\rho}, \qquad (VII.20)$$

Bu yerda $W_\rho = \frac{J_\rho}{r}$ - doiraviy kesimning qo'tb qarshilik momenti deyiladi.

Bizga ma'lumki, doira shaklidagi kesim uchun

$$J_\rho = \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{\pi \cdot d^4}{32}, \qquad W_\rho = \frac{2 \cdot J_\rho}{d} = \frac{\pi \cdot d^3}{16}, \qquad (VII.21)$$

Halqa shaklidagi kesim uchun

$$J_\rho = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} = \frac{\pi \cdot D^4}{32}\left(1-\alpha^4\right), \qquad W_\rho = \frac{2 \cdot J_\rho}{d} = \frac{\pi \cdot D^3}{16}\left(1-\alpha^4\right), \qquad (VII.22)$$

Bu yerda - $\alpha = d/D$

Endi buralish burchagini topamiz $$d\varphi = \frac{M_б \cdot dz}{GJ_\rho}, \qquad \varphi = \int_0^l \frac{M_б \cdot dz}{GJ_\rho}, \qquad (VII.23)$$

Pog'onali yoki uzunligi sakrab o'zgaradigan to'sinlar uchun $$\varphi_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{M_б \cdot l}{GJ_\rho}, \qquad (VII.24)$$

Bu yerda: $GJ_c$ - to'sinning buralishdagi bikrligi deyiladi.

Nisbiy buralish burchagi $$\frac{M_б}{GJ_\rho} = \frac{d\varphi}{dz} = \theta, \qquad (VII.25)$$

*Doiraviy kesimli valning buralishida potensial energiya.* Buralishda to'sin materiali elastiklik chegarasidan oshib ketmaydigan kuchlanishda ishlaydi deb hisoblaymiz. Bunda tashqi kuchlarning buralishiga sarflanadigan ishi *A* to'sinda to'planadigan potensial energiya *U* qiymatiga teng bo'ladi.

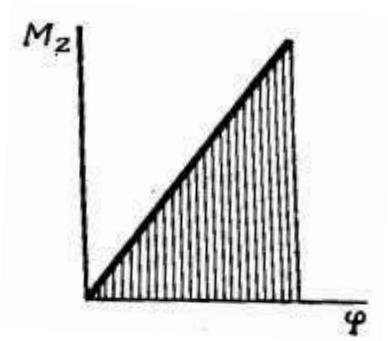
Ish esa buralish diagrammasining yuzasiga teng. $$\mathrm{A} = U = \frac{1}{2} M_б \cdot \varphi, \qquad (VII.26)$$

yoki $$U = \frac{M_б^2 \cdot l}{2 \cdot GJ_\rho} = \frac{\varphi^2 GJ_\rho}{2l}, \qquad (VII.27)$$

Bikrlikka hisoblashda: $$\varphi_{\max} = \frac{M_{б\max} \cdot l}{GJ_\rho} \le [\varphi], \qquad (VII.28)$$

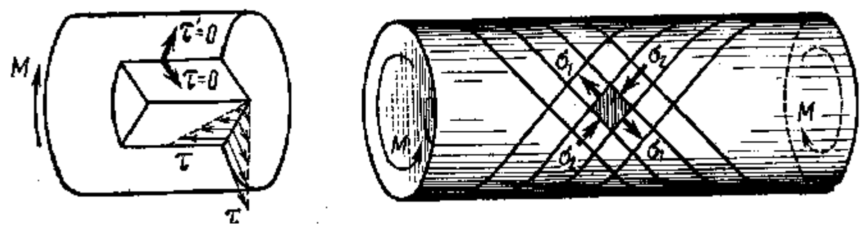
Yoki $$\theta_{\max} \frac{M_{б\max}}{GJ_\rho} \le [\theta], \qquad (VII.29)$$

Mustahkamlikka hisoblanganda: $$\tau_{\max} = \frac{M_{б\max}}{W_\rho} \le [\tau], \qquad (VII.30)$$




*VII.13*- shakl

*Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalar.* Yuqorida aytildiki, to'sinning buralishida uning ko'ndalang kesim yuzalarida urunma kuchlanishlar paydo bo'ladi va ular radiusga perpendikulyar yo'nalgan. SHunaqangi kuchlanishlar to'sinning radial yuzalarida ham paydo bo'ladi. To'sindan elementar parallelepiped (asosiy to'sin o'qidan *c* masofada) kesib olamiz. Ko'rinib turibdiki parallelepiped tekis sof siljish kuchlanganlik holatida turibdi. Parallepiped yuzachalari sof siljish yuzulari, undagi kuchlanishlar esa ekstremal. Bosh kuchlanishlar esa bizga ma'lumki, sof siljishda qiymati ekstremal urunma kuchlanish qiymatiga teng bo'lib, sof siljish yuzachalariga $45^0$ qiyalikka buralgan bo'ladi.




*VII.14*- shakl

Bu kuchlanishlar $$\sigma_{\max} = -\sigma_{\min} = \tau_{\max} = -\tau_{\min} = \frac{M_k}{W_\rho}, \qquad (VII.31)$$

Tajribalar bizning bu xulosalarimizning tasdiqlaydi. Masalan:

Agar yog'och to'sinni buraginamizda u bo'ylamasiga yoriladi, demak radial yuzalarda ham urunma kuchlanishlar borligidan dalolat beradi:

Mo'rt materiallardan tayyorlangan to'sinlar, qisilishga nisbatan cho'zilishga yomon ishlaydi va cho'zuvchi bosh kuchlanishlar ta'sirida vintsimon sirt bo'ylab yemiriladi.

Plastik po’latdan yasalgan sterjenlar esa kirqilganga o’xshab yemiriladi, chunki ularga cho’zuvchi kuchlanishlar urunma kuchlanishlarga nisbatan kam xavflidir.

**NAZORAT VA TOPSHIRIQ UCHUN SAVOLLAR:**

1. Buralishda sterjen ko’ndalang kesimida qanaqangi kuchlanish paydo bo’ladi va u qanday aniqlanadi?
2. Kesimning qarshilik momenti nima?
3. Buralishda mustahkamlik shartini ta’riflab bering
4. Buralish burchagi qanday aniqlanadi?
5. Buralishda deformasiyaning potensial energiyasi qanday aniqlanadi?
6. Quvvat bilan burovchi moment orasida qanaqangi bog’liqlik bor?

Mavzu: **EGILISH**

**Reja:**

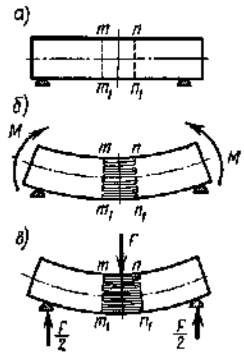
1. Balkalarning egilishi hiqidagi umumiy tushunchalar. Tayanch reaksiyalarini topish.
2. Balka kesimlarida hosil bo’ladigan ichki zo’riqish kuchlar, eguvchi moment, ko’ndalang kuch, bo’ylama kuchlarni aniqlash va epyuralarini qurish.
3. Balka kesimidagi normal kuchlanishlarni aniqlash. Mustahkamlik sharti.
4. Balkaning ko’ndalang egilishi. Urinma kuchlanishni aniqlash formulasi.

**Tayanch iboralar:** Sterjenlar, to’sinlar, eguvchi moment, ko’ndalang kuch, bikr tayanch, sharnirli qo’zg’aluvchan va qo’zg’almas tayanchlar, tayanch reaksiyalari, tekis egilish, eguvchi moment va ko’ndalang (urunma) kuch epyuralari, masshtabi va ishoralari.

To’sinlar, ko’pincha, o’z o’qidan utuvchi biror tekislikda yotgan kuchlar yoki juft kuchlar ta’sirida bo’ladi va bu kuchlar sistemasi ta’sirida etiladi.

Bunday kuchlar ta’sirida to’sinning to’g’ri chiziqli geometrik o’qi egri chiziqka aylanadi. Sterjenning bunday deformasiyasiga egilish deyiladi. Egilishga qarshilik ko’rsatuvchi to’sinlar to’sin deb ataladi. To’sin kesimida hosil bo’ladigan zo’riqish kuchlarini aniqlash uchun kesish metodidan foydalanamiz.

To’singa qo’yilgan yuklar uning simmetriya tekisligida yotsa, bunday egilishga tekis egilish deyiladi. Aks holda to’sinda qiyshiq egilish sodir bo’ladi.




*VIII.1*- shakl

Ko’p ishlatiladigan to’sinlar ko’ndalang kesimning kamida bitta simmetriya o’qi bo’lganligi uchun tekis egilish ko’p uchraydigan holdir.

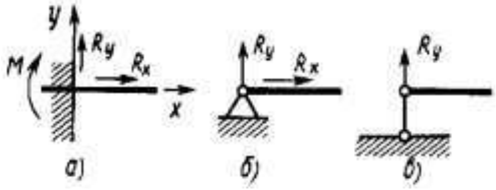
Tekis egilishda to’sin o’qi ham kuch tekisligida egiladi. Biz bu bobni tekis egilishni o’rganishdan boshlaymiz. Qiyshiq egilishni murakkab qarshilik bobida tekshiramiz. Tekis egiishdagi to’sinlarning mustahkamligini hisoblash uchun avval ularga qo’yilgan to’sin kuchlarini aniqlash lozim

To’singa qo’yilgan tashqi kuchlardan tashqari, tayanchlarning ham to’singa ta’siri tashqi kuchlar qatoriga kiradi. Shuning uchun to’sinlarning hisobini chiqarish tayanchlarning reaksiya kuchlarini aniqlashdan boshlanadi.

Tekislik sistemasiga oid to'sin tayanchlari uch xil bo'ladi:

1. *Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch (VIII.2-v* shakl) - bunday tayanchlar to'sin uchining gorizontal ko'chishiga va to'sin ko'ndalang kesimining aylanishiga qarshilik ko'rsatmaydi. Bu xildagi tayanchlarda faqat tayanch tekisligiga tik yo'nalgan bittagina vertikal reaksiya hosil bo'ladi.

Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchlar sxematik ravishda bir vertikal sterjenning ikki uchiga qo'yilgan sharnirlar orqali ham ko'rsatiladi xildagi tayanchlar to'sinning erkin uzayishiga yoki qisqarishiga imkon beradi.




*VIII.2*- shakl

2. *Qo'zg'almas sharnirli tayanch (VIII.2-b* shakl) - bunday tayanchlar to'sin uchining xech qanday chiziqli ko'chishiga yo'l qo'ymaydi, faqat to'sinning tiralgan no'qtasiga xos kesimning aylanishigagina imkon beradi. Bu xildagi tayanch reaksiyalarni hamma vaqt vertikal va gorizontal tuzuvchilarga ajratish mumkin. Qo'zg'almas sharnirli tayanchlarning sxematik tasvirida ko'rsatilgan.

3. *Qistirib mahkamlangan tayanch (VIII.2-a* shakl). Bu xildagi tayanchlar tayanch no'qtasiga xos kesimning chiziqli va burchakli ko'chishlariga yo'l qo'ymaydi. Bunday tayanchlarda umuman vertikal va gorizontal tuzuvchilarga ajraluvchi reaksiya bilan reaktiv moment (moment reaksiyasi) hosil bo'ladi. Bo'larni qistirma momentlar deb atasa ham bo'ladi.

Agar to'sin faqat bir uchi bilan qistirib mahkamlangan bo'lsa, bunday to'sin *konsol* deyiladi. To'sinlarning tayanch oralig'i *prolyot* deb ataladi.

Agar to'sinning tayanch reaksiyalari faqat statika tenglamalari bilan topilsa, bunday to'sinlar *statik aniq to'sinlar* deyiladi.

Agar noma'lum reaksiyalar soni shu to'sin uchun lozim bo'lgan statik tenglamalar sonidan ortib ketsa, u holda to'sinlar *statik aniqmas to'sinlar* deyiladi. Bunday to'sinlarning reaksiyalarini topish uchun qo'shimcha tenglamalar (deformasiya tenglamalari) tuzish lozim bo'ladi.

aniq to'sinlarning tayanch reaksiyalarini topishda statikaning muvozanat tenglamalaridan foydalaniladi

$$\sum x = 0, \qquad \sum y = 0, \qquad \sum M_A = 0, \qquad (VIII.1)$$

Bu formuladagi harfi to'sin tayanchlaridan biriga tegishli no'qtani ifodalaydi. Yuqorida keltirilgan tenglamalar faqat tekis sistemaga xosdir.

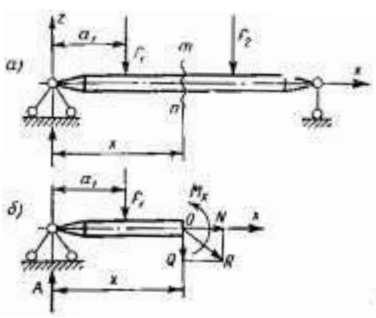
To'singa vertikal yo'nalgan parallel kuchlargina ta'sir qilganligidan tenglamalar sistemasining faqat ikkitasi qoladi:

$$\sum z = 0, \qquad \sum M_A = 0, \qquad (VIII.2)$$

Odatda, bu tenglamalar sistemasining birinchisi to'sinning ikkinchi tayanchiga nisbatan hamma kuchlardan olingan moment tenglamasi bilan almashtirib *(VIII.2)* tenglama tekshirish tenglamasi tariqasida qoldiriladi. Demak, kelgusi tayanch reaksiyalarini topishda qo'yidagi tenglamalardan foydalaniladi

$$\sum M_A = 0, \qquad \sum M_B = 0, \qquad (VIII.3)$$

To'sinlarning turli kesimlaridagi kuchlanishlarini bilish uchun avval ularda hosil bo'ladigan zo'riqish kuchlarini aniqlashni o'rganish lozim. Istalgan ko'ndalang kesimdagi ichki kuchlarni bilish uchun kesish usulidan foydalanamiz, ya'ni to'sinni chap tayanchidan *x* masofada *m-n* tekislik bilan kesib, uni ikki bo'lakka ajratamiz; ajratilgan qismlardan birini (masalan, o'ng qismini) tashlab, qolgan chap qismining muvozanatini tekshiramiz.



*VIII.3*- shakl

To'sinning kesimiga tashlab yuborilgan qismning ta'sirini almashtiruvchi kuchlarni qo'yamiz, bu kuchlar shu kesimdagi zo'riqish kuchlariga ekvivalent bo'ladi. Tekis sistema uchun zo'riqish kuchlari eng umumiy holda bir bosh vektor $R$ bilan bir bosh moment $M_x$ dan iborat bo'ladi, bunda $M_x$ - kuchlarni kesim markaziga ko'chirishda hosil bo'lgan juft kuch momentlarining algebraik yig'indisi. Zo'riqish kuchlardan birini ifodalovchi juft kuch momenti eguvchi moment deyiladi. Eguvchi momentni $M_x$ bilan belgilaymiz, zo'riqish kuchini ifodalovchi bosh vektor $R$ ni vertikal $Q_x$ va $N$ gorizontal kuchlarga ajratamiz. $Q_x$ kesuvchi ko'ndalang kuch, $N$ esa bo'ylama kuch deyiladi. Bu kuchlarni topish uchun to'sinning qoldirilgan qismi muvozanatini tekshiramiz:

$$\sum x = N_x = 0, \qquad \text{yoki} \quad N_x = 0 \qquad (VIII.4)$$

Agar to'singa tashqi og'ma kuchlar ta'sir qilsa, u holda bo'ylama kuch nolga teng bo'lmaydi

$$\sum z = -Q_x + A - F_1 = 0; \; Q = A - F_1, \qquad (VIII.6)$$

va

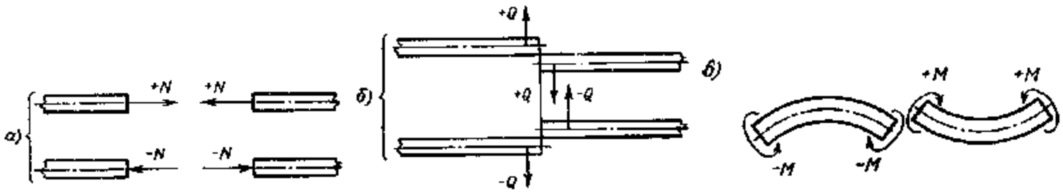
$$\sum M_0 = A_x - F_1(x - a_1) - M_x = 0; \qquad M_x = A_x - F_1(x - a_1) \qquad (VIII.7)$$

Demak, to'sin kesimida hosil bo'luvchi bo'ylama $N$ kuch to'sinning qoldirilgan qismiga qo'yilgan hamma kuchlarning to'sin o'qiga tushirilgan proyeksiyalarining algebraik yig'indisiga, kesuvchi $Q_x$ kuch esa to'sinning qoldirilgan qismiga qo'yilgan hamma kuchlardan to'sinning vertikal o'qiga tushirilgan proyeksiyalarining algebraik yig'indisiga tengdir.

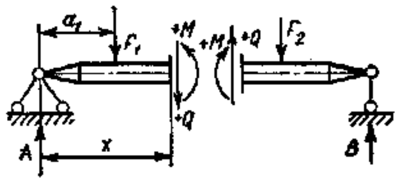
Eguvchi moment to'sinning qoldirilgan qismiga qo'yilgan hamma kuchlardan kesim markaziga nisbatan olingan statik momentlarning algebraik yig'indisiga teng.

Ba'zi hollarda to'sinning o'ng qismi muvozanatini ko'rib chiqish ma'qul bo'ladi: ba'zi bir tanlangan kesimning o'ng tomonidan topilgan $N$, $Q_x$ va $Q_y$ larning qiymatlari chap tomonidan topilgan shu zo'riqish kuchlarining qiymatlariga miqdor jihatdan teng bo'lib, ishoralari jihatdan farq qiladi. Bu xulosa to'sinning ikkala qismi ham muvozanatda bo'lishiga asoslangan.

Endi bu kuchlarning ishoralari qoidasiga to'xtalamiz. Agar bo'ylama kuchning yo'nalishi kesimdan qochsa mo'sbat, kesimga intilsa manfiy deb olinadi.




*VIII.4*- shakl




*VIII.5*- shakl

To'sinning *m-n* kesimidan chap tomonga qo'yilgan tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi shu kesimda pastdan va o'ng tomonga qo'yilgan tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi yuqoridan bo'ladi.

Agar eguvchi moment to'sinning pastki tolalarini cho'zsa uni mo'sbat deb qabul qilamiz.

Eguvchi moment, kesuvchi va bo'ylama kuchlarning to'sin o'qi bo'ylab o'zgarishini ko'rsatuvchi grafik ularning epyuralari deyiladi.

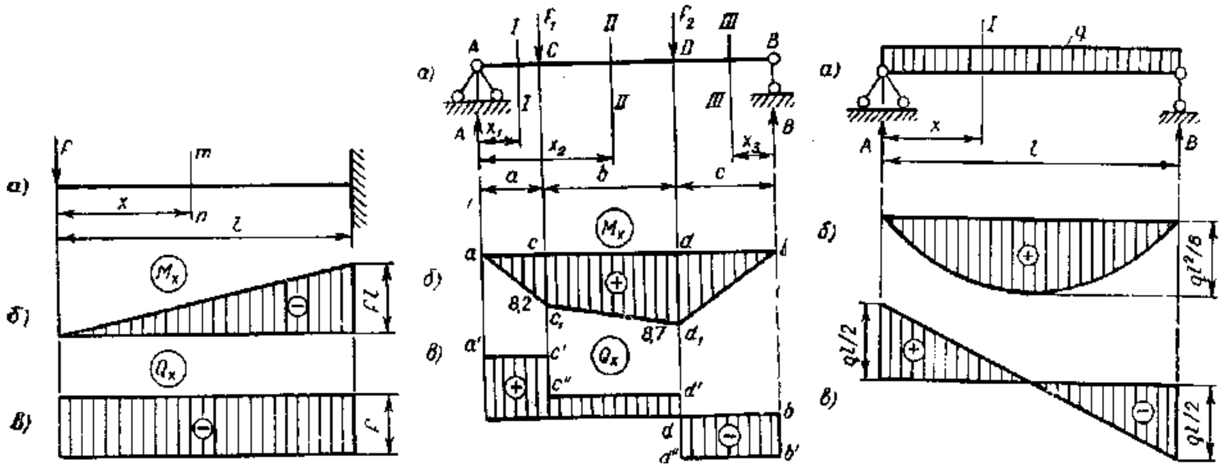
Bu epyuralar moment va kuchlarning tenglamalari yordamida chiziladi.

Bu epyuralar moment va kuchlarning tenglamalari yordamida chiziladi.

Bu epyuralar to'sinning qanday kesimlarida $M$ va $Q$ lar maksimal qiymatga erishganligini yaqqol ko'rsatadi. Demak, to'sinning xavfli kesimlari bu epyuralar tufayli bexato aniqlanadi.

Umuman olganda, to'singa faqat vertikal, ya'ni to'sin o'qiga tik yo'nalgan kuchlar ta'sir etganligidan bo'ylama kuch nolga teng bo'ladi. Binobarin, to'sinlar uchun faqat eguvchi moment bilan kesuvchi kuch epyuralarigina chiziladi. Boshqa xil konstruksiyalar (rama, egri to'sin kabilar) uchun bo'ylama kuch epyuralasini chizish ham talab qilinadi.

$M$ va $Q$ epyuralarini chizish tartibini quyidagi misollarda ko'ramiz.



*VIII.7*- shakl

*Sof egilish va normal kuchlanishni aniqlash   xi.8*- shaklda  ko'rsatilgan to'sinning eguvchi moment va urunma kuch epyuralarini tekshirib, qo'yidagi xulosaga kelamiz:

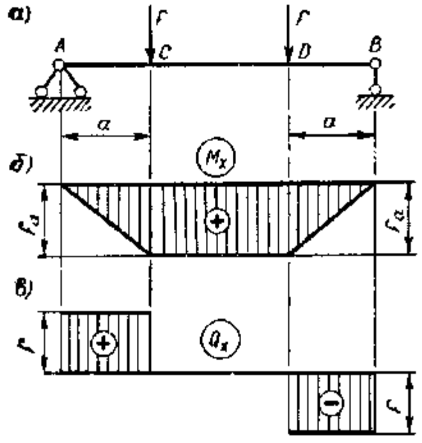
1. To'sinning  *CD*   uchastkasida eguvchi moment o'zgarmas miqdor bo'lib, urunma (kesuvchi) nolga teng, to'sinning bu uchastkadagi egilishi *sof egilish* deyiladi. Ya'ni, sof egilishda to'sinning ko'ndalang kesimlarida faqat o'zgarmas eguvchi moment hosil bo'ladi.

2. To'sinning  *AC*  va   *BD*   uchastkalarida  eguvchi momentlar o'zgaruvchi miqdor bo'lib, kesuvchi kuch nolga teng emas. Bu uchastkalardagi egilish ko'ndalang egilish  deyiladi.

3.To'singa  ta'sir  qilgan kuchlar to'sinning bosh tekisliklaridan birida yotgani uchun uning hamma uchastkalarida to'g'ri egilish sodir bo'ladi.

kuchlar qo'yilsa, to'sin bu holda ham sof egilish holatida bo'ladi. Bu sof egilishda hosil bo'ladigan normal kuchlanishni aniqlaymiz.

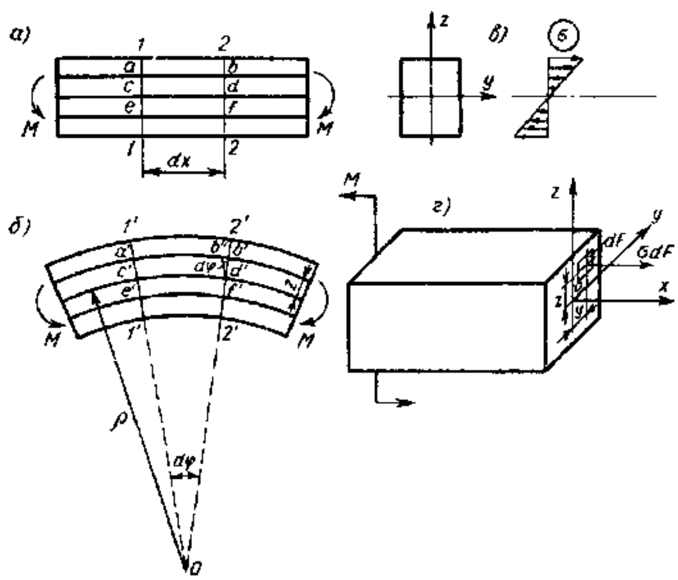
To'sin egilgandan keyin uning ko'ndalang kesimidagi zo'riqish kuchlarining taqsimlanish qonunini statika tenglmamalarining yolg'iz o'zi bilangina topib bo'lmaydi. Shuning uchun bu masalani yechishda deformasiya tenglamasini tuzamiz. Agar sof egilgan to'sinning sirtiga to'r chizilsa  (*XI.8*- shakl), deformasiyadan keyin qo'yidagi hodisalar namoyon bo'ladi.



*VIII.8* – shakl

To'singa chizilgan *1-1* va *2-2*- to'g'ri chiziqlar deformasiyadan keyin ham to'g'ri chiziqligicha kolib, faqat juda kichik biror burchakka og'adi. Demak, to'sinning deformasiyagacha  bo'lgan tekis  ko'ndalang kesim yuzi deformasiyadan keyin ham tekisligicha qoladi. Bu holat tekis yoki Bernulli gipotezasi  deyiladi. Bu gipotezani oddiy sterjenlarning deformasiyasida ham ko'rgan edik.

To'sinning qavariq tomonidagi  *ab*  tolasi cho'zilib, botiq tomonidagi tolasi  *ef* qisiladi. Ular orasidagi biror  *cd*  tolaning uzunligi o'zgarmaydi. Shunday qilib, to'sin tolalari orasida shunday qavat topilishi mumkin bo'ladiki, bu qavatda yotgan tolalarning uzunligi o'zgarmaydi, chunki to'sinning cho'zilgan va qisilgan tolalar qavati orasida bunday holis qavat bo'lishi o'z-o'zidan ravshan. To'sinning chuzilmagan hamda qisilmagan bu tolalari yotgan qavati  *neytral katlam* deyiladi.  Neytral qavat tekisligi bilan to'sinning ko'ndalang kesim tekisligi kesishgan chiziq mazkur kesimining  *neytral o'qi* deb ataladi.  To'sin egilganda har bir ko'ndalang kesim o'z neytral o'qi atrofida aylanadi.




*VIII.9*- shakl

Bu tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, to'sin egilganda uning tolalari turlicha deformasiyalanadi; neytral o'kdan eng o'zoq yotgan tolalarning deformasiyasi eng katta bo'ladi.

Darhaqikat, to'sin egilgandan keyin neytral qavatdan $z$ masofada turgan *ab* tola cho'zilib, $a'b'$ uzunlikka ega bo'ladi. Agar $d'b''$ kesmani $c'a'$ kesmaga paralel qilib o'tkazsak, *ab* tolaning absolyut cho'zilishi $b'b''$ bilan ifodalanadi va $a'b''$ kesma $c'd'$ kesmaga teng bo'ladi. Shunday qilib, neytral o'qdan $z$ masofada turgan tolaning nisbiy cho'zilishini topamiz:

$$\varepsilon_z = \frac{b'b''}{a'b''} = \frac{b'b''}{c'd''} = \frac{zd\varphi}{\rho d\varphi} = \frac{z}{\rho}$$

Bunda $\rho$ - neytral qavatning xozircha noma'lum bo'lgan egrilik radiusi.

Kuchlanishini topishdan oldin yana bir gipotezani e'tiborga olamiz. To'sinning qavatlari deformasiya vaqtida bir-biriga bosim ko'rsatmaydi, ya'ni to'sinning o'qiga tik yo'nalgan kuchlanishlar nolga teng bo'ladi. Demak, to'sin tolalarining har biri mustaqil ravishda faqat chuziladi, yoki faqat qisiladi. Binobarin, egilgan to'sinning tolalardagi kuchlanishlarni topish uchun oddiy cho'zilish yoki qisilishdagi Guk qonunidan foydalanamiz:

$$\sigma_z = E\varepsilon_z = E\frac{z}{\rho}, \qquad (VIII.8)$$

Bundan chiqdi, egilishdagi normal kuchlanish to'sin ko'ndalang kesimining balandligi bo'yicha kuchlanish topilgan no'qtadan neytral o'qqa bo'lgan masofaga proporsional ravishda o'zgaradi. Bunga ko'ra eng katta normal kuchlanishlar to'sinning chetki tolalarida hosil bo'ladi. Normal kuchlanish diagrammasi *VIII.9*- shaklda ko'rsatilgan cho'zuvchi kuchlanish mo'sbat deb hisoblanadi.

Normal kuchlanishning kesim yuzasida taqsimlanish qonunini bilgandan so'ng, uning qiymatini topish uchun kesish usulidan foydalanib muvozanat tenglamalarini tuzamiz. To'sinning bir qismi uchun umumiy holda oltita muvozanat tenglamasini yozish mumkin:

$$\sum x = 0 \qquad \sum M_x = 0$$
$$\sum y = 0 \qquad \sum M_y = 0 \qquad (VIII.9)$$
$$\sum z = 0 \qquad \sum M_z = 0$$

Endi bu tenglamalarni biz tekshirayotgan hol uchun yozamiz:

$$\sum x = 0, \qquad (VIII.10)$$

Yoki
$$\int_A \sigma_z dA = 0, \qquad (VIII.11)$$

Bu tenglikka normal kuchlanishning qiymatini *(XI.8)* dan keltirib ko'ysak

$$\frac{E}{\rho}\int_A zdA = 0, \qquad (VIII.12)$$ hosil bo'ladi.

Ammo bu ifodada $\frac{E}{\rho} \neq 0$, chunki to'sinning egilgan holatini tekshirayotganimiz uchun $\rho \neq 0$.

Demak, $$\int_A z dA = 0, \qquad (VIII.13)$$

Bu integral to'sinning ko'ndalang kesim yuzidan neytral o'qqa nisbatan statik momentni ifodalaydi. Demak, ko'ndalang kesimning neytral o'qi uning markazidan o'tadi.

Muvozanat tenglamalarining ikkinchi va uchinchisi $\sum y = 0,\quad \sum z = 0$ ayniyat ravishda nolga aylanadi; chunki $\sigma_z\, dA$ zo'riqish kuchi $Oy$ va $Oz$ o'qlarga nisbatan tik yo'nalgan.

Muvozanat tenglamalarining to'rtinchisi $\sum M_x = 0$ ham ayniyat ravishda nolga aylanadi, chunki $\sigma_z\, dA$ zo'riqish kuchi $Ox$ o'qiga paralleldir.

Muvozanat tenglamasining beshinchisini yozamiz:

$$\sum M_y = M - \int_F \sigma_z dFz = 0, \qquad (VIII.14)$$

bunda $M$ - tashqi moment.

Endi bu tenglamaga σ ning qiymatini *(VIII.8)* formuladan keltirib ko'ysak, qo'yidagi ifoda kelib chiqadi: $M = \frac{E}{\rho}\int_F z^2 dF$, *(VIII.15)* yoki $M = \frac{E}{\rho} J_y$, *(VIII.16)*

Bundan $$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ_y}, \qquad (VIII.17)$$

$J_y = \int_z z_2 dF$ - ko'ndalang kesimning $Oy$ neytral o'qqa nisbatan olingan inersiya momenti: $\frac{1}{\rho}$ - neytral tekislikning egriligini ifodalaydigan miqdor; $EJ_y$ - to'sinning egilishdagi bikrligi.

Ko'ndalang kesimning neytral o'qi uning markazidan o'tishi yuqorida ko'rsatilgan edi. Demak, to'sinning bo'ylama o'qi $Ox$ ning kesimlari markaziy no'qtalarining geometrik o'rnidan iborat bo'lganligidan, u neytral tekislik ustida yotadi, shuning uchun (*VIII.17*) formula to'sin o'qining egriligini aniqlaydi.

Demak, to'sinning egilgan o'qining egriligi eguvchi momentga to'g'ri proporsional va to'sinning bikrligi $EJ_y$ ga teskari proporsionaldir.

Muvozanat tenglamalarining oltinchisini tekshiramiz: $\sum M_z = \int_F y\sigma_z dF = 0$, *(VIII.18)*

Bunga $\sigma_z$ ning qiymatini keltirib ko'ysak: $\frac{E}{\rho}\int_F yzdF = 0$, *(VIII.19)*

Ammo $\frac{1}{\rho} \neq 0$ demak, $\int_A yzdA = 0$ bo'ladi.

Bu integral ko'ndalang kesim yuzidan $Oy$ va $Oz$ o'qlarga nisbatan olingan markazdan qochma inersiya momentini ifodalaydi; uning nolga teng bo'lishi $Oy$ va $Oz$ o'qlarning bosh markaziy o'qlar ekanligidan dalolat beradi. Demak, kuch yotgan tekislik neytral qavat tekisligiga tik bo'ladi. Tashqi moment $M$ shu bosh o'qlarining biridan o'tgan bosh tekislik ustida yotadi.

Endi $\frac{1}{\rho}$ ning qiymatini formuladan formulaga qo'yib qo'yidagi formulani hosil qilamiz:

$$\sigma_z = \frac{M}{J_y} z, \qquad (VIII.20)$$

Bu formula yordamida sof egilgan to'sinning ko'ndalang kesimida yotgan har qanday no'qtaning normal kuchlanishi aniqlanadi.

O'tkazilgan tekshirishlar sof egilish uchun chiqarilgan (*VIII.20*) formula yordamida ko'ndalang egilishda normal kuchlanishni hisoblash mumkinligini ko'rsatadi. Ko'ndalang egilishda kesuvchi kuch $Q$ ning mavjud bo'lishi to'sin ko'ndalang kesimlarining tekis yuzasini egri yuzaga aylantiradi, ammo bu egrilanish ikki qo'shni ko'ndalang kesimlar orasidan element tolalarining bo'ylama deformasiyalari xarakterini o'zgartirmaydi. Bu holga garchi Bernulli gopotezasi to'g'ri kelmasa ham, biroq kesuvchi kuch $Q$ ning normal kuchlanishga ta'siri juda kam ekanligini aniq hisoblar tasdiqlaydi. Binobarin ko'ndalang

Umumiy mustahkamlik zaxira koyeffisenti

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = \frac{7{,}5 \cdot 4{,}9}{\sqrt{7{,}5^2 + 4{,}9^2}} = 4{,}1$$

Mustahkamlik zaxira koeffitsentining joyiz qiymati

$$[n] \geq 2{,}5$$

$$n = 4{,}1 \geq [n] = 2{,}5$$

**NAZORAT UCHUN SAVOLLAR:**

1. Val bilan o'qning farqi nimadan iborat?
2. Val va o'qlarni tuzilishi.
3. Vallarda bo'yin, sapfa, tovon nima?
4. Qanday xolllarda val burovchi moment bo'yicha tekshiriladi?
5. Val va o'qlarni xavfsizlik koeffisiyent qiymatini hisobi.
6. Vallarni bikrlikka hisobi.
7. Vallarni kritik tezligini hisobi.
8. Val va o'qlarni tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallar.
9. Vallarni mustahkamligi qanday hisoblanadi?

## Qo'shinca materiallar

## TEXNIK MEXANIKA FANIDAN UMUMIY SAVOLLAR

### NAZARIY MEXANIKA

1. Kuchlar ta'sirida bo'lgan jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmasa, bunday jismga...
2. Nazariy mexanikada o'lchamlari e'tiborga olinmaydigan darajada kichik bo'lgan jismga...
3. Moddiy nuqtaning geometrik nuqtadan farqi nima
4. Kuchning jismga ta'siri qanday aniqlanadi aniqlanadi
5. 5. Tinch holatda turgan erkin jismning berilgan kuch ta'siridan olgan harakat yo'nalishiga...
6. Kuch qanday kattalik
7. 7. Kuch vektori yo'naltirilgan to'g'ri chiziqqa qanday chiziq deyiladi

8. Agar jismga bir nechta kuchlar ta'sir etsa, bunday kuchlar to'plami qanday nomlanadi
9. Ta'sir etayotgan kuchlar sistemasini boshqa biror kuchlar sistemasi bilan almashtirishda jism holati o'zgarmasa, bunday kuchlar sistemasi qanday nomlanadi
10. Agar berilgan kuchlar sistemasi bitta *r* kuchga ekvivalent bo'lsa, bunday kuchga berilgan kuchlar sistemasining...
11. Kuchlar sistemasi ta'siridagi jism muvozonat holatda bo'lsa, bunday kuchlar sistemasiga...
12. Kuchni uning ta'sir chizig'i bo'ylab jismning ixtiyoriy nuqtasiga ko'chirilganda...
13. Berilgan jismning kuchishini cheklovchi jismga nima deyiladi
14. Bog'lanish reaksiya kuchi deb nimaga aytiladi
15. Erkin jism deb qanday jismga aytiladi
16. Qachon bog'lanishdagi jismni erkin jism deb qarash mumkin
17. Qo'zg'aluvchan tayanchning reaksiya kuchi qanday yo'naladi
18. Umumiy o'q yoki nuqta atrofida aylana oladigan ikkita jism orasidagi bog'lanishga...
19. 19 ta'sir chiziqlari bir nuqtada uchrashadigan kuchlar sistmasiga qanday kuchlar deyiladi
20. Bir tekislikda yotuvchi va o'zaro parallel bo'lmagan uchta kuch muvozonatlashsa, ularning ta'sir chiziqlari qanday joylashadi
21. *F* kuchning *x* o'qdagi proyeksiyasi ifodasini toping
22. Qanday kuchlar sistmasiga parallel kuchlar sistemasi deyiladi
23. Bir-biriga teskari yo'nalgan, miqdor jihatidan teng ikkita parallel kuchlar sistemasiga qanday kuch deyiladi
24. Juft tashkil etuvchi kuchlarning ta'sir chiziqlari orasidagi eng qisqa masofaga nima deyiladi
25. Juft tekisligi deb qanday tekislikka aytiladi
26. *F* kuchning *o* nuqtaga nisbatan momenti ifodasini toping
27. Kuch momenti qachon musbat hisoblanadi
28. Kuch momenti qachon manfiy hisoblanadi
29. F=100 n, h=0,1 m bo'lsa, kuch momentini toping
30. Agar jismga ta'sir etuvchi kuchlar bir tekislikda yetsa, unga qanday kuchlar deyiladi
31. Berilgan masalada noma'lumlar soni muvozonat tenglamalari soniga teng bo'lsa, bunday masala qanday nomlanadi
32. Berilgan masalada noma'lumlar soni muvozonat tenglamalari sonidan ortiq bo'lsa, bunday masala qanday nomlanadi
33. Tinch holatdagi maksimal ishqalanish kuchi ifodasini toping
34. Qanday kuchlar sistemasiga fazodagi kuchlar sistemasi deyiladi
35. Simmetriya tekisligiga ega bo'lgan bir jinsli jismning og'irlik markazi kayerda yetadi
36. Nazariy mexanikada burchak koordinatalari birligi uchun nima qabul qilingan
37. Nuqta harakatlanganda uning berilgan sanoq sistemasiga nisbatan chizgan uzluksiz chizig'i qanday nomlanadi
38. Nuqtaning harakati asosan qaysi usullarda aniqlanadi
39. Nuqta tezlik vektorining radius-vektori orqali ifodasini toping
40. Nuqta tezligining *x* o'qdagi proyeksiyasi ifodasini toping
41. Tezlikning si birliklar sistemasidagi o'lchov birligini ko'rsating
42. Tabiiy koordinata o'qlari qanday nomlanadi
43. Tezlanishning bosh normaldagi proyeksiyasi ifodasini toping
44. Garmonik tebranma harakat tenglamasini toping
45. Nuqta tebranish markazidan eng katta masofaga chetga chiqishini ifodalovchi kattalik qanday nomlanadi
46. Jismda olingan har qanday kesma harakat davomida doimo uzining boshlang'ich holatiga parallel ravishda harakatlansa, jism qanday harakatda bo'ladi.
47. Ilgarilama harakatdagi jismning nuqtalari qanday trayektoriya chizadi
48. Ilgarilama harakatdagi jismning nuqtalari qanday tezlikka ega bo'ladi
49. Ilgarilama harakatdagi jismning nuqtalari qanday tezlanishga ega bo'ladi
50. Qanday harakatga qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakat deyiladi
51. Jismning burchak tezligini aniqlovchi to'g'ri ifodacini toping
52. Aylanma harakat burchak tezligi bilan aylanishlar soni orasidagi to'g'ri bog'liqlikni toping
53. Burchak tezlikning o'lchov birligini toping

54. Jism burchak tezlanishining o’lchov birligini ko’rsating
55. Ko’zg’almas o’q atrofida aylanuvchi jism nuqtasining har ondagi chiziqli tezligi qanday aniqlanadi
56. Barcha nuqtalari berilgan qo’zg’almas tekislikka parallel tekislikda harakatlanuvchi jismning harakatiga qanday harakat deyiladi
57. Jismning burchak tezlanishini aniqlovchi ifodani ko’rsating
58. Tekis shakl ikkita nuqtasi tezliklarining shu nuqtalardan o’tuvchi o’qdagi proyeksiyalari qanday bo’ladi
59. Tezliklar oniy markazi yoki aylanish oniy markazi deb nimaga aytiladi
60. Tezlanishlar oniy markazi deb nimaga aytiladi
61. Nuqtaning qo’zg’aluvchi koordinatalar sistemasiga nisbatan trayektoriyasiga qanday trayektoriya deyiladi
62. Nuqtaning qo’zg’almas koordinatalar sistemasiga nisbatan harakatiga qanday harakat deyiladi
63. G. Koriolis teoremasining ifodasini toping
64. Nuqta harakat miqdorining ifodasini ko’rsating
65. Nuqta dinamikasining asosiy tenglamasini ko’rsating
66. Erkin moddiy nuqta harakatining vektor formadagi differensial tenglamasini toping
67. Moddiy nuqtani muvozonat holatiga qaytarishga intiluvchi kuchga qanday kuch deyiladi
68. Nuqtaning garmonik tebranma harakat tenglamasini ko’rsating
69. $X=a \sin(kt+\alpha)$ tenglamada $kt+\alpha$ nima
70. $X=a \sin(kt+\alpha)$ tenglamada $\alpha$ nima
71. Qanday nuqtaga bog’lanishdagi nuqta deyiladi
72. Bog’lanishdagi nuqta dinamikasining asosiy qonunini toping
73. Ko’chirma inersiya kuchi ifodasini toping
74. Koriolis inersiya kuchi ifodasini toping
75. Har bir nuqtasining harakati va holati sistema tarkibiga kiruvchi boshka nuqtalarning harakati va holatiga bog’liq bo’lgan moddiy nuqtalar to’plamiga...
76. Sistema barcha ichki kuchlarining geometrik yig’indisi nimaga teng
77. Sistema barcha ichki kuchlarining ixtiyoriy nuqtaga nisbatan momentlarining geometrik yig’indisi nimaga teng
78. Sistemaning massasini aniqlovchi ifodasini toping
79. Sistemaning massalar markazini aniqlovchi ifodani toping
80. Moddiy nuqta ning massasini biror l o’qqacha bo’lgan masofa kvadratiga ko’paytmasiga teng kattalik qanday ataladi
81. Nuqtaga nisbatan inersiya momenti ifodasini aniqlang
82. Ci birliklar sistemasidagi inersiya momentining o’lchamligi qanday bo’ladi
83. Sistemaning harakat miqdori ifodasini ko’rsating
84. Kuchning elementar impulsi ifodasini toping
85. Mexanik sistema harakat miqdorining saqlanish qonuni ifodasini toping
86. Qo’zg’almas o’q atrofida aylanuvchi jismning aylanish o’qiga nisbatan kinetik momenti ifodasini ko’rsating
87. Kuch elementar ishining analitik ifodasini ko’rsating
88. Kuchning quvvati nima
89. Kuch quvvatining geometrik ifodasini ko’rsating
90. Ci birliklar sistemasidagi kuch quvvatining o’lchov birligi nima
91. 1 o.k. (ot kuchi) necha vatt (vt) ga teng
92. Og’irlik kuchi ishining ifodasini toping
93. Elastiklik kuchi ishining ifodasini toping
94. Nuqta kinetik energiyasining ci birliklar sistemasidagi o’lchov birligi nima
95. Sistema kinetik energiyasining ifodasini ko’rsating
96. Tekis parallel harakatdagi jismning kinetik energiyasi ifodasini toping
97. Sistema kinetik energiyasining o’zgarishi haqidagi teoremaning ifodasini ko’rsating
98. Bog’lanishdagi nuqta uchun dalamber prinsipi ifodasini ko’rsating
99. Agar bog’lanishlar sistema nuqtalarining koordinatalaridan tashqari tezligiga ham chek qo’ysa, ularga qanday bog’lanishlar deyiladi

100. Sistemaga qo’yilgan bog’lanishni qanoatlantirgan holda sistema nuqtalarining berilgan, onda tasavvur qilinadigan cheksiz kichik kuchishlari qanday ko’chish deyiladi
101. Kuchlar ta’sirida bo’lgan jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o’zgarmasa, bunday jismga...
102. Nazariy mexanikada o’lchamlari e’tiborga olinmaydigan darajada kichik bo’lgan jismga...
103. Moddiy nuqtaning geometrik nuqtadan farqi nima
104. Kuchning jismga ta’siri qanday aniqlanadi
105. 105. Tinch holatda turgan erkin jismning berilgan kuch ta’siridan olgan harakat yo’nalishiga...
106. 106. Kuch qanday kattalik
107. 107. Kuch vektori yo’naltirilgan to’g’ri chiziqqa qanday chiziq deyiladi
108. 108. Agar jismga bir nechta kuchlar ta’sir etsa, bunday kuchlar to’plami qanday nomlanadi

## MATERIALLAR QARSHILIGI

109. Materiallar qarshiligi fanining maqsadi to’g’risida gapirib bering.
110. Fanning asosiy vazifalari to’g’risida gapirib bering
111. Qabul qilingan asosiy farazlarni sanab bering.
112. Hisob sxemasi nima?
113. Bog’lanish turlari nechta va ularda qanaqangi reaksiya kuchlari yuzaga keladi?
114. Tashqi kuchlar tasnifini keltiring.
115. Ichki kuchlar nima?
116. Kesimlar usulining mohiyatini aytib bering.
117. Ichki kuchlar qanday aniqlanadi?
118. Kuchlanish nima va uning o’lchov birliklari haqida aytib bering.
119. Oddiy deformasiyalarni sanab bering.
120. Tekis kesimlarning geometrik xarakteristikalari nima uchun aniqlanadi?
121. Statik moment debnimaga aytiladi?
122. Statik moment xossalarini sanab bering
123. Tekis kesim yuzalarining inersiya momenti deganda nimani tushunasiz?
124. Inersiya momentlarining qanaqani turlarini bilasiz?
125. Qo’tb inersiya momenti bilan o’qiy inersiya momentlari orasida qanday bog’lanish mavjud?
126. Tekis kesim yuzalarining markaziy o’qlarga parallel o’qlarga nisbatan inersiya momenti ifodasini keltirib chiqaring
127. Oddiy kesimlar uchun inersiya momenti ifodalarini yozib bering
128. Koordinata o’qlari bo’ralganda inersiya momentlari qanday o’zgaradi?
129. Bosh inersiya o’qlari deb qanday o’qlarga aytiladi?
130. Bosh inersiya momentlari nima?
131. Markaziy cho’zilish (qisilish) deb nimaga aytiladi?
132. Bo’ylama kuchlar qanday aniqlanadi?
133. Epyura nima?
134. Kuchlanish nima?
135. Cho’zilish (qisilish)da mustahkamlik sharti ifodasini yozib bering.
136. Bo’ylama absolyut deformasiya nima?
137. Guk qonunini ta’riflab bering.
138. Statik noaniq masalalar deganda qanaqangi masalalar tushuniladi?
139. Yordamchi deformasiya tenglamalari nimaga asoslanib tuziladi?
140. Deformasiyaning birgalik shartining mohiyati nimada?
141. Montaj kuchlanishlar deganda nimani tushunasiz?
142. Temperatura ta’sirida paydo bo’ladigan kuchlanishlar qanday aniqlanadi?
143. Sterjenning xususiy og’irligini hisobga olganda uning ko’ndalang kesimida paydo bo’ladigan kuchlanishlar qanday topiladi?
144. Qaysi holatda markaziy cho’zilishda urunma kuchlanishlar yuzaga keladi va ular qanday aniqlanadi?
145. No’qtadagi kuchlanganlik holati nima va uning qanakangi turlarini bilasiz?

146. Urunma kuchlanishlarning juftlik qonunini ta’riflab bering.
147. Tekis kuchlanganlik holatida qiya kesimlardagi kuchlanishlar qanday aniqlanadi?
148. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzachalar qanday aniqlanadi?
149. Siljish deb nimaga aytiladi?
150. Siljishda qanaqangi kuchlanish yuzaga keladi?
151. Siljishda mustahkamlik shartini yozing;
152. Siljishda Guk qonunini ta’riflab bering;
153. Siljishidga potensial energiya qanday aniqlanadi?
154. Buralishda sterjen ko’ndalang kesimida qanaqangi kuchlanish paydo bo’ladi va u qanday aniqlanadi?
155. Kesimning qarshilik momenti nima?
156. Buralishda mustahkamlik shartini ta’riflab bering
157. Buralish burchagi qanday aniqlanadi?
158. Buralishda deformasiyaning potensial energiyasi qanday aniqlanadi?
159. Quvvat bilan burovchi moment orasida qanaqangi bog’liqlik bor?
160. To’sin tekis jilganda qanaqangi deformasiyalar vujudga keladi?
161. Solqilik nima?
162. To’sin kesimning buralish (aylanish) burchagi nima?
163. To’sin egilgan o’qining differensial tenglamasini ta’riflab bering
164. Bu differensial tenglamani bevosita integrallash usuli to’g’risida gapirib bering
165. Egilishda deformasiyalarni aniqlashning yana qanaqangi usullarini bilasiz?
166. Egilishda ko’chishlarni aniqlashning energetik usulning mohiyatini gapirib bering
167. Bitta teoremasini tushuntirib bering
168. Maksvell teoremasini chiqarib bering
169. Ko’chishlarni aniqlashda Mor integralini yozib bering
170. Epyuralarni ko’paytirish (Vereshagin) qoidasining mazmunini aytib bering
171. Material uchun xavfli holat deganda nimani tushunasiz?
172. Xavfli no’qta nima?
173. Birinchi, ikkinchi, uchunchi va to’rtinchi mustahkamlik nazariyalarni mazmunini so’zlab bering.
174. Murakkab qarshilik qaysi hollarda yuzaga keladi?
175. Murakkab qarshilikning qanaqanggi xususiy hollarini bilasiz?
176. Qiyshiq egilish nima?Qiyshiq egilishda kuchlanishlar qanday hisoblanadi?
177. Markaziy bo’lmagan cho’zilish (qisilish) nima? Markaziy bo’lmagan cho’zilish (qisilish)da kuchlanishlar qanday hisoblanadi?
178. Buralish bilan egilishning birgalikdagi ta’siri sterjenga qanday kuchlar qo’yilganda hosil bo’ladi?
179. Buralish bilan egilishdan hosil bo’lgan urinma kuchlanishlarning ko’ndalang kesim balandligi bo’yicha taqsimlanish qonunida qanday farq bor?
180. Silindrik sterjenlar buralish bilan egilishga qarshilik ko’rsatganda xavfli ko’ndalang kesim qanday topiladi?
181. Qisilgan sterjenlar ustivorligining yuqolish belgilari nimadan iborat?
182. Qanday kuch kritik kuch deb ataladi? Kritik kuchlanish nima?
183. Eyler formulasini chiqarishda egilish nazariyasining qanday differensial tenglamasidan foydalanilgan edi?
184. Sterjenlarning egiluvchanligi nima?
185. Eyler formulasi qanday ko’rinishga ega?
186. Sterjenning uzunligi bilan uning kesim bikrligi kritik kuch qiymatiga qanday ta’sir ko’rsatadi?
187. Uzunlikni keltirish koeffisiyenti nima?
188. Eyler formulasining ishlatilish chegarasi qanday topiladi?
189. Egiluvchanlikning chegarasi nimaga bog’liq?
190. Kritik kuchlanishni topish uchun Yasinskiy formulasi qanday ko’rinishga ega?
191. Statik va dinamik yuklar orasida qanday farq bor?
192. Qanday yuk dinamik yuk deb ataladi?
193. Inersiya kuchlarining intensivligi qanday topiladi?
194. Qanday hodisa zarb deb ataladi?
195. Inersiya kuchi va zarb hodisalarida dinamik koeffisiyent nimaga teng?

196. Zarb yeydigan jism massasi e'tiborsiz qoldirilganda dinamik koeffisiyent formulasi chiqarilsin.
197. Sterjenlar sistemasining tekis aylanma harakatida markazdan qochirma inersiya kuchi qanday aniqlanadi?
198. Qanday yuk to'satdan qo'yilgan yuk deb ataladi va bunday yuk uchun dinamik koeffisiyent nimaga teng?
199. Zarb ta'siridan ko'chish va kuchlanish qanday topiladi?
200. 11.Qanday tebranish erkin tebranish deyiladi?
201. Qanday tebranish majburiy tebranish deyiladi?
202. Sistema erikin yoki majburiy tebranayotganda, unga qanaqa kuchlar ta'sir qiladi?
203. Qanday sistemaga erkinlik darajasi birga teng bo'lgan sistema deyiladi?
204. Erkin tebranish davri va takrorligi nima?

## MEXANIZMLAR VA MASHINALAR NAZARIYASI

205. Ishlab chiqarish jarayonlarini to'liq mexanizasiyalash va avtomatlashtirish to'g'risida nimani tushunasiz?
206. Mashina va mexanizmlar nazariyasi nimani o'rganadi?
207. Fanning bo'lg'usi injenerlarni shakllantirishdagi roli to'g'risida gapirib bering.
208. Mashina va mexanizmlarning asosiy turlarini aytib bering.
209. Mexanizmlarning tuzilish formulalari nimani ifodalaydi?
210. Mexanizmlarning qo'zg'aluvchanlik darajasi nimani anglatadi?
211. Fazoviy va tekis mexanizmlarning qo'zg'aluvchanlik darajasi qayday aniqlanadi?
212. Ortiqcha va qo'shimcha bog'lanishlar nima uchun kiritiladi va mexanizm ishiga qanday ta'sir ko'rsatadi?
213. Umumlashtirilgan koordinatalar nima?
214. Yangi mexanizmlarni hosil qilishning asosiy sharti qanday ta'riflanadi?
215. Mexanizmlarni kinematik tahlil qilishdan maqsad nima?
216. Kinematik tahlilning kanakangi usullarini bilasiz?
217. Kinematik tahlilning analitik usulining mohiyatini gapirib bering.
218. Mexanizmning holat va uzatish funksiyalari nima?
219. Tezlik va tezlanish analoglari nima?
220. Tekis mexanizmlar kinematikasini tekshirish deganda nimani tushunasiz?
221. Mexanizmlarning kinematik sxemasi qanday qo'riladi?
222. Tezliklar rejasi qanday qo'riladi?
223. Tezlanishlar rejasi qanday qo'riladi?
224. Dinamik tahlilning maqsadi va masalalari.
225. Mexanizmlarda ta'sir etuvchi kuchlar va ularning mexanik tavsifnomasi.
226. Kinematik zanjirlarning statik aniqlanish sharti.
227. Kinetostatik hisoblashning analitik, kuch rejalarini qurish va Jukovskiy usullari.
228. Mexanizmlarga qanaqaangi kuchlar ta'sir etadi?
229. Kinematik zanjirning statik aniqlanish sharti qanday?
230. Kuchlar bo'yicha hisoblashning analitik va kuch rejalarini qo'rish usullarini izohlab bering.
231. Tishli mexanizmlarning ishlatilish sohalari haqida gapirib bering.
232. Ilashmaning asosiy teoremasi isbotlab bering.
233. Tishli ilashmaning qanaqangi turlarini bilasiz?
234. Evolventa funksiyasi qanday ko'rinishiga ega?
235. Evolventa nima? Evolventali ilashmaning qanaqangi xossalarini bilasiz?
236. Ilashishi moduli nima?
237. Tishlar qadami nima? Ilashish burchagi nima?
238. Mushtakli mexanizmlar haqida va ularning vazifalari haqida gapirib bering.
239. Mushtakli mexanizmlarning qanaqangi turlari mavjud?
240. Chiqish bo'g'ini harakat qonunlari va ularni tanlashni bilasizmi?
241. Bosim burchagi nima va uning mexanizm o'lchamlariga va ishiga qanday ta'siri etadi?
242. Mexanizmning qanaqangi asosiy o'lchamlarini bilasiz?

243. To’rtkichning qanaqangi harakat diagrammalarini bilasiz?
244. Mexanizm asosiy o’lchamlari qanday aniqlanadi?
245. To’rtkichi rolik bilan jihozlangan va ilgarilanma-qaytma harakatlanuvchi kulochokli mexanizmlarning minimal radiusi qanday aniqlanadi?
246. To’rtkichi tebranma harakatlanuvchi kulochokli mexanizmlarning minimal (eng kichik) radiusi qanday aniqlanadi?
247. To’rtkich asosi tekis tarelkasimon bo’lgan ilgarilanma-qaytma harakatlanuvchi kulochokli mexanizmlarning minimal radiusi qanday aniqlanadi?

## MASHINA DETALLARI

248. Umumiy mashinasozlikda tishli g’ildiraklar tayyorlashda qaysi material eng ko’p ishlatiladi?
249. Bir ilashmadagi tishli g’ildiraklar shesternya va g’ildiragi har xil modulga ega bo’lishi mumkinmi?
250. Chervyakli uzatmada chervyak qanday materialdan tayyorlanishi mumkin?
251. Zamonaviy mashinalarda tasmali uzatmaning qaysi turi eng ko’p tarqalgan?
252. Val deb quyidagi vazifani bajarishga mo’ljallangan detalga aytiladi
253. Qaysi holda podshipnik tanlash statik yuk ko’taruvchanligi bo’yicha olib boriladi?
254. Ko’p pog’onali uzatmadagi uzatishlar soni nimaga teng?
255. Quvvatning o’lchov birligi nima?
256. Tasmali uzatmada harakat nima hisobiga uzatiladi?
257. Agar val va o’qning sapfasi uning uchida joylashgan bo’lsa qanday ataladi?
258. Vallar tuzilishiga ko’ra qanday turlarga bo’linadi?
259. Uzel deb nimaga aytiladi?
260. Mashina detallari asosan qanday materiallardan tayyorlanadi?
261. Ishqalanish hisobiga ishlaydigan uzatmalarni ko’rsating
262. Keltirilgan nisbatlarning qaysi biri bir pog’onali uzatmaning uzatish sonini bildiradi?
263. Tishlarning aylana qadamidan $\pi$ bor kichik bo’lgan chiziqli o’lcham quyidagicha ataladi:
264. Tasmaning toliqishdan uzilishi nimaga bog’liq?
265. Shevron tishli g’ildiraklari bo’lgan reduktor uchun qaysi turdagi podshipnikni tanlash lozim?
266. Qabul qilishga mo’ljallangan yuklanish xarakteri bo’yicha dumalash podshipniklari qanaqa sinflarga bo’linadi?
267. Radial sharikli podshipnik qanaqa yuklanishni qabul qilishi mumkin?
268. Detallarning deformasiyalanishga qarshilik ko’rsatish qobiliyatiga nima deyiladi?
269. Tishli g’ildiraklar tishlarining tegib o’tuvchi yuzalarida qanday kuchlanish yuzaga keladi?
270. Mexanik uzatmalarning vazifasiga nimalar kiradi?
271. Qiya tishli uzatmada qaysi modul katta - normal, toresli (yon)?
272. Agar, g’ildirak tishlari soni $z_2=30$ chervyak kirimlari soni $z_1=2$ bo’lsa, chervyakli uzatmaning uzatish sonini aniqlang
273. Tishli uzatmaning (harakatni uzatish nuqtai nazaridan ) friksion uzatmadan farqi nimada?
274. $A=0,5m(z_1+z_2)$ formula yordamida tishli uzatmada nima aniqlanadi?
275. Zanjirli uzatmaning tasmali uzatmaga nisbatan afzalliklari qatoriga nima kiradi?
276. Yeyilish nima?
277. To’g’ri tishli silindrik g’ildirak tishlari uchidan o’tuvchi aylana diametri qaysi formula orqali topiladi?
278. Normal tasmali uzatmada sirpanishning qaysi turlari yuzaga keladi?
279. Tishli g’ildiraklar tayerlash vaqtida tishlar yon sirtining pastki qismida botiq hosil qilmasligi uchun, to’g’ri tishli korreksiyalanmagan shesternya nechta minimal tishlar soniga ega bo’lishi kerak?
280. Ilashish modulining o’lchov birligi nima?
281. Chervyak kirimlari sonini toping
282. Tasmali uzatma qaysi turdagi uzatmalarga taalluqli?
283. Ish vaqtida ochiq tasmali uzatmaning qaysi tarmog’i katta taranglikka ega bo’ladi?
284. Sapfa deb nimaga aytiladi?
285. Uzatish soning o’lchov birligi nima?
286. Burovchi momentining o’lchov birligi nima?
287. Val va o’qlar tayyorlanadigan asosiy material nima?

288. Agar val va o'qning sapfasi ularning uzunligiga tik tekislikda joylashgan bo'lsa qanday ataladi?
289. Val, truba va shu kabi detallarning uchlarini ulash uchun ishlatiladigan qurilma qanday nomlanadi?
290. Detal mashinaning ......
291. Detalning ishonchli va uzoq muddat ishlashini ta'minlovchi eng katta kuchlanish qanday nomlanadi?
292. Rezba qanday sirtlarda kesiladi?
293. Harakatni uzatish prinsipi bo'yicha tishli uzatma qaysi guruhga kiradi?
294. Qiya tishli uzatmalarning kamchiliklari qatoriga kiritish mumkin:
295. O'qlarga buralish deformasiyalari ta'sir qiladimi?
296. To'g'ri tishli silindrik uzatmada qanday kuchlar paydo bo'ladi?
297. $D=mz$ formula yordamida to'g'ri tishli g'ildirakning qaysi o'lchami aniqlanadi?
298. Tirak podshipniklar qanaqa yuklanishni qabul qilishi mumkin?
299. Konussimon g'ildirakli tishli uzatmalar qanday hollarda qo'llaniladi?
300. Kontakt kuchlanish ikki detalning tegib turish joyida vujudga keladi, qachonki ...
301. Agar $z_1=20$, $z_2=80$ bo'lsa, to'g'ri tishli silindik g'ildirakning uzatish sonini aniqlang
302. 304 podshipnikining ichki diametri nechaga teng?
303. Ishlash qobiliyati detalning shunday holatiki, unda u ...
304. $D=mz-2{,}5m$ formula yordamida tishli g'ildirakning qaysi o'lchami aniqlanadi?
305. Podshipnikni sharik va roliklari qanaqa materialdan tayyorlanadi?
306. Lentaning harakatlanish tezligi $v=1m/s$ barabandagi aylana kuch $r_b=3kn$ bo'lsa quvvatni toping
307. Detalning bikrlik shartini toping
308. Shlisli birikmalarning shponkali birikmalarga nisbatan afzalligiga nima kiradi?
309. Tishli ilashma modulini aniqlash formulasini ko'rsating
310. Silindrik uzatmalarda vallarning geometrik o'qlari qanday joylashadi?
311. Chervyak va chervyak g'ildiragi uchun materiallar juftining eng keng tarqalgan juftini ko'rsating
312. Mashinalarda yassi tasmaning qaysi turlari ko'p qo'llaniladi?
313. Harakatlanuvchi o'qlarni mustahkamlikka qanday hisoblanadi?
314. F.i.k. O'lchov birligi nima?
315. Tishli uzatmadagi kontakt kuchlanishning o'lchov birligi nima?
316. Ikki pog'onali uzatmada uzatishlar soni 1-pog'onada 3 ga teng, 2-pog'onada 5 ga teng bo'lsa, umumiy uzatish soni nechaga teng?
317. Qaysi katta, chervyakli uzatmaning f.i.k. Yoki tishli uzatmaning f.i.k.?
318. Agar val va o'qning sapfasi uning o'rtasida joylashgan bo'lsa qanday ataladi?
319. Mashina – bu ... ... ...
320. Uzellarni ko'rsating
321. Ko'rsatilgan detallar ichidan birikma detallari guruhiga kiruvchi detalni ko'rsating
322. Rezba profilining shakliga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?
323. Ilashish hisobiga ishlaydigan uzatmalarni ko'rsating
324. Friksion uzatmani harakatni uzatish prinsipi bo'yicha va yetakchi va yetaklanuvchi zvenolarni biriktirish usuli bo'yicha qanday qilib sinflarga bo'lish mumkin?
325. O'qlari uzaro ayqash bo'lgan vallar orasida harakatni uzatish uchun tishli uzatmalardan qaysi biri qo'llaniladi?
326. 79. $d=\sqrt[3]{\frac{M}{0{,}2[\tau]}}$ formula buyicha qanday o'lcham aniqlanadi?
327. Mufta yordamida bir valga nisbatan ikkinchi valning burchak tezligi o'zgartiriladimi?
328. Qiya tishli silindirik uzatmada paydo bo'ladigan kuchlar
329. Radial rolikli podshipnik qanaqa yuklanishni qabul qilishi mumkin?
330. Detal materialining ma'lum bir shartlar va chegaralarda o'z holatini buzmasdan u yoki bu ta'sirlarni qabul qilish qobiliyati ... ... ... Deyiladi
331. O'qlar qanday kuchlanish bo'yicha hisoblanadi?
332. Agar $z_2=50$, $m=4mm$ bo'lsa, to'g'ri tishli uzatma yetaklanuvchi g'ildiragi bo'lish diametrini aniqlang
333. Tasmali uzatmalardagi qamrov burchagi $\alpha$ ning ta'rifini bering
334. 50311 podshipnikining ichki diametri va seriyasini aniqlang

335. Dvigateldan olgan harakatni ilashish uzatish hisobiga aylanish momentini oshirib-burchak tezligini kamaytiradigan agregatga ...
336. Radial tirak podshipniklar qanaqa yuklanishni qabul qilishi mumkin
337. Nima uchun o'lchamlari bir xil bo'lsada ponasimon tasmali uzatma yassi tasmali uzatmaga nisbatan kattaroq quvvat uzata oladi?
338. Sirpanish podshipniklari tuzilishi jihatidan qanday turlarga bo'linadi?
339. Muftalar qanday turlarga bo'linadi?
340. Shponkali birikmalarning asosiy kamchiligi nima?
341. Shlislar profilining shakliga ko'ra qaysi turlarga bo'linadi?
342. Val va o'qlarning tayanchlarga mo'ljallangan qismi qanday nomlanadi?
343. Mahkamlash detallari sifatida asosan qanday profilli rezbadan foydalaniladi?
344. Chervyakli uzatmalar chervyak tanasining tuzilishiga ko'ra qaysi turlarga bo'linadi?
345. Zanjirli uzatmalar ularda foydalaniladigan zanjirning turiga ko'ra qanday sinflanadi?
346. Zanjirli uzatmaning tishli uzatmaga nisbatan afzalligiga nima kiradi?
**347.** Ishqalanishning turiga qarab podshipniklar qaysi turlarga bo'linadi?