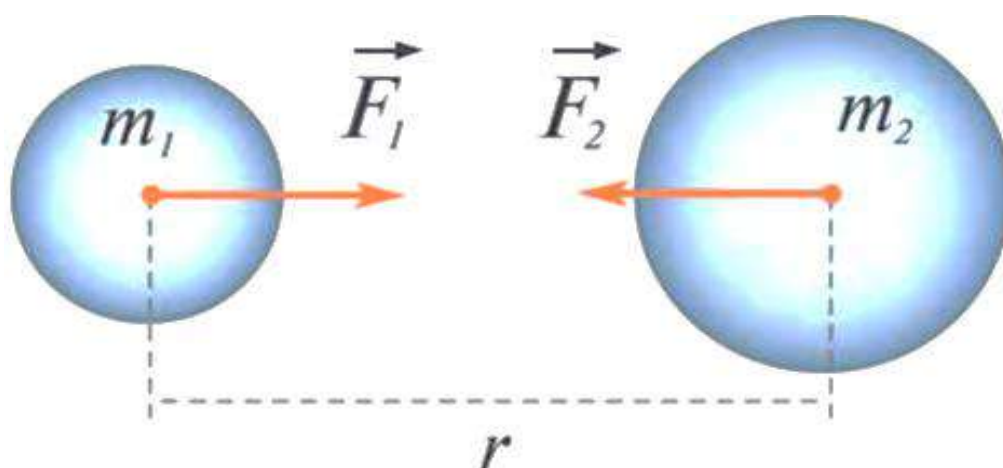


## 11-§. BUTUN OLAM TORTISHISH QONUNI, IKKI JISM MASALASI

**Tayanch ibora (kalit so'z)lar:** Kepler, dinamika qonunlari, gravitatsiya kuchi, gravitatsion doimiylik, massa, masofa, kuch, shakl, o'lcham, gradus, Eratosfen, yoy, Struve, 111,7 km., 110,6 km., 6371 km., 21,4 km., ellipsoid, geoid, butun olam tortishish kuchi, massa, masofa, ta'sir, aerodinamik kuch, elektr kuchlar, magnit kuchlar, markaziy maydon, harakat, trayektoriya, ellips, katta o'q, katta yarim o'q, to'g'ri chiziqli harakat, peritsentr, apotsentr, perigey, apogey, elliptik trayektoriya, parabolik trayektoriya, giperbolik trayektoriyalar, erkinlik tezligi, keplercha harakat.

Kepler va dinamika qonunlaridan foydalanib, butun olam tortishish qonuni 1665 yilda Isaak Nyuton tomonidan aniqlangan.

Koinotdagi barcha jismlar o'zlarining massalari ko'paytmasiga to'g'ri mutanosib va ular orasidagi masofa kvadratiga teskari mutanosib bo'lgan kuch bilan o'zaro ta'sirlashadi, bunga **butun olam tortishish qonuni** deb ataladi.



Jismlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi

Tabiatdagi barcha jismlar o'rtasida mavjud bo'lgan tortishish kuchlari **gravitatsiya kuchi** (tortishish kuchi) deb ataladi.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$F$  butun olam tortishish kuchi,  $R$  yoki  $r$  jismlar orasidagi masofa,  $G$  gravitatsion doimiylik.

$$G = \gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

**Butun olam tortishish qonunidagi gravitatsion doimiyning ma'nosi:** massalari 1 kg dan va oralaridagi masofa 1 m bo'lgan ikki jism orasidagi tortishish kuchiga teng kattalik.

Butun olam tortishish qonunida ta'sirlashayotgan jismlar moddiy nuqtalar deb qaraladi.

Masalan, Quyosh bilan boshqa sayyoralar o'rtasidagi o'zaro tortishishlarni qaraylik.

Agar jismlarni moddiy nuqta deb qaramasak, unda gravitatsion ta'sirni hisoblash uchun har bir jismni fikran elementar bo'laklarga bo'lib va har ikkita elementar bo'laklar uchun butun olam tortishish qonuni formulasi yordamida tortishish kuchlarini hisoblab, keyin kuchlarni geometrik qo'shish bilan topiladi.

Tortishish kuchlari jismlarning qanday muhitda (havoda, suyuqlikda, bo'shliqda) joylashganiga ham bog'liq emas.

Butun olam tortishish qonuni jismlar orasidagi o'zaro ta'sir qanday amalga oshishi to'g'risidagi savolga javob bermaydi. Bu savolga quyidagicha fikrlash orqali javob topiladi.

Jismlar orasidagi o'zaro ta'sir gravitatsion maydon orqali amalga oshiriladi. Har bir jismning atrofida uning o'ziga xos moddiy davomiyligi tortishish maydoni

deb ataluvchi ko'rinmas gravitatsion maydoni mavjud ekanligi aniqlangan. Bu maydonlar jismlar tomonidan vujudga keltiriladi. Jism atrofida gravitatsion maydon bir xildir, u jism yaqinida kuchliroq va undan uzoqlashgan sari asta-sekin kuchsizlanib boradi.

Tortishish yoki gravitatsion maydonning asosiy xossalaridan biri shundaki, har qanday  $m$  massali moddiy nuqta maydonga kiritilganda bu massaga mutanosib ravishda  $F$  tortishish kuchi ta'sir qiladi, moddiy nuqta o'zi hosil qilgan maydon orqali ta'sirlashadi:

$$F = m \cdot G$$

bu yerda  $G$  gravitatsion **maydon kuchlanganligi** deyiladi va  $m$  massali jismga ta'sir etuvchi kuchga miqdor jihatdan teng bo'ladi.

Uncha murakkab bo'lmagan **ikki jism masalasida** fazoda harakatlanayotgan va butun olam tortishish qonuni bo'yicha o'zaro tortishayotgan ikki osmon jismining harakati topiladi. Bu masala to'liq yechilgan. Osmon jismlarining massalari markaziga nisbatan orbitalari elliptik, parabolik yoki giperbolik bo'lishi isbotlangan. Bu masalani yechishda osmon jismlari moddiy nuqta sifatida olingan. Ikki jism masalasi uchun "Quyosh-sayyora" sistemasi eng to'g'ri keluvchi sistemadir. Shuningdek, Kepler qonunlari bu masalaning ma'lum qismining yechimi bo'la oladi.

**Yerning o'lchamlari va shakli.** Koinotdan olingan fotosuratlarda Yer Quyosh yoritib turgan sharga o'xshab, xuddi Oy fazalari kabi fazalarga ega ekani ko'rinib turadi.

Yerning shakli va o'lchami to'g'risidagi aniq javobni **graduslab o'lchash**, ya'ni Yer sirtining turli joylaridagi  $1^\circ$  ga teng bo'lgan yo'ylar uzunligini kilometrlar hisobida o'lchash natijasida topish mumkin. Bu usulni bizning eramizdan avvalgi III asrda Misrda yashagan grek olimi **Eratosfen** qo'llagan.

Endi bu usul geodeziyada – Yerning shakli haqidagi va Yer sirtida uning egriligini hisobga olib o'lchashlar haqidagi fanda katta anqlik bilan qo'llanilmoqda.

Tekis joyda bir meridianda yotuvchi ikki punkt tanlab olinadi va ular orasidagi yoy uzunligini gradus va kilometrlar hisobida aniqlanadi.

Keyin  $1^\circ$  ga teng bo'lgan yoy uzunligi necha kilometrni tashkil etishi hisoblab topiladi.

Tanlab olingan nuqtalar orasidagi meridian yoyining graduslar bilan ifodalangan uzunligi shu nuqtalarning geografik kengliklari farqi  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$  ga tengligi ravshan.

Agar kilometrlar bilan o'lchangan bu yoyning uzunligi  $l$  ga teng bo'lsa, u holda sharsimon deb olingan Yer sirtidagi bir gradus ( $1^\circ$ ) li yoyga uzunligi kilometrlarda ifodalangan  $n = \frac{l}{\Delta\varphi}$  to'g'ri keladi. Unda Yer meridianining kilometrlar bilan ifodalangan aylanasi  $L = 360^\circ n$  bo'ladi. Uni  $2\pi$  ga bo'lib, Yerning radiusini topamiz.

Meridianning Shimoliy Muz okeanidan to Qora dengizgacha bo'lgan eng katta yoylaridan biri XIX asrning o'rtalarida Rossiyada va Skandinaviyada Pulkovo observatoriyasining direktori **V.Ya.Struve** (1793÷1864) rahbarligida o'lchangan edi.

Graduslar bilan o'lchash, meridianning kilometrda ifodalangan  $1^\circ$  uzunligi qutbga yaqin joylarda eng katta (111,7 km), ekvatorida esa eng qisqa (110,6 km) ekanini ko'rsatdi. Binobarin, Yer sirtining ekvatoridagi qavariqligi qutblardagiga qaraganda ancha katta, bu esa Yerning shar shaklida emasligini ko'rsatdi, Yerning ekvatorial radiusi qutb radiusidan 21,4 km katta.

Shuning uchun Yer (boshqa sayyoralar singari) o'z o'qi atrofida aylanishi oqibatida qutblarida siqiqdir.

Bizning sayyoramizga barobar bo'lgan sharning radiusi 6371 km ga teng. Bu qiymat Yerning radiusi deb qabul qilingan. Yerning haqiqiy shakli ellipsoid (geoid).

**Vaznsizlik. Tortishishning markaziy maydoni. tortishishning markaziy maydonida jism harakati.** Uchish paytida kosmik apparat (KA) ga ta'sir etadigan eng muhim tabiat kuchlaridan biri – **butun olam tortishish (B.O.T.) kuchidir.** Moddiy jismlar orasidagi tortishish kuchi Nyuton tomonidan kashf etilgan bo'lib, u B.O.T. qonuniga bo'ysunadi. Uning matematik ifodasi:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Bu yerda  $F$  moddiy jismlar orasidagi tortishish kuchini,  $m_1$  va  $m_2$  ularning massalarini,  $r$  ular orasidagi masofani ifodalaydi. Mutanosiblik koeffitsiyenti  $G$  esa gravitatsion doimiylik deyilib,  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$  ga teng qiymat bilan o'lchanadi.

KA ning harakati paytida unga ta'sir etadigan boshqa bir kuch atmosferaning qarshilik kuchidir.

Uchish qancha kichik balandliklarda ro'y bersa, bu kuch shuncha katta bo'ladi, chunki balandlik kamaygan sari atmosfera zichligi shuncha ortadi.

Bunday kuch **aerodinamik kuch** deb aytiladi. Atmosferaning yuqori qatlamida zichlik juda kam bo'lib, KA uchishiga deyarli ta'sir etmaydi va shuning uchun ham bunday hollarda u e'tiborga olinmaydi.

Sayyoralararo bo'shliqqa uchayotgan KA ga sezilarli ta'sir etayotgan yana bir kuch bo'lib, u Quyosh nurlanishlarining bosim kuchidir. Agar KA ning massasi uncha katta bo'lmay, sirti sezilarli darajada katta bo'lsa, u holda Quyosh nurlarining bosim kuchi, uzoq uchishlarda yetarlicha katta bo'lib, KA ning harakat

trayektoriyasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shunday hollarda uni albatta hisobga olish zarur bo'ladi.

Kosmik fazoda KA ga kuchsiz bo'lsada, boshqa bir kuchlar ya'ni **elektr va magnit kuchlari** deyilib, ular KA ning to'g'ri chiziqli harakatiga emas, balki og'irlik markazi atrofidagi aylanma harakatigagina ta'sir etadi.

**Vaznsizlik.** Faraz qilaylik, kosmik fazoda uchayotgan KA ma'lum paytdan boshlab (u zaruriy tezlikka erishgach) erkin ilgarilanma harakati ta'minlansin.

Bunday harakatda jismning barcha nuqtalari bir xil tezlik bilan harakatlanishini tushunish qiyin emas. Bunda kosmik kema turli alohida qismlardan tashkil topgan va unga faqat osmon jismlarining tortishish kuchi ta'sir etadi deb qaralsa, uning barcha qismlari (detallari) ning tezligi bir xilligicha qoladi, bordiyu o'zgarganda ham hammasiniki bir xil o'zgaradi.

Chunki gravitatsion tezlanish harakatlanayotgan jismning o'zining massasiga bog'liq bo'lmaydi:

$$a_r = G \frac{M}{r^2}$$

Bu yerda  $M$  KA ning detallarini tortayotgan jismning massasi (detallarniki emas),  $r$  KA detallarini tortayotgan ( $M$ ) jismdan uzoqligi bo'lib, ularning barchasi uchun bir xil deb qarash mumkin. Bu hol, KA detallarining trayektoriyasi bir xil bo'lib, fazoda ular tarqab ketmasligini bildiradi. Binobarin, KA ning alohida detallari orasida o'zaro bosim vujudga kelmaydi, ya'ni bir-biriga nisbatan vazni yo'qoladi.

Kosmonavt o'zi otirgan o'rindiqqa bosmaydi, osilgan lampa shipga taranglik berib tortmaydi, qo'yib yuborilgan qalam stolga tushmay muallaq qoladi va h.k. Chunki ular barchasining tezligi va tezlanishi bir xil bo'ladi. Kema kabinasi ichida pol, ship degan so'zlarning ma'nosi yo'qoladi. Kema ichida jismlarnig vaznsizlik

holati ro'y beradi. Tashqi boshqa kuchlarning paydo bo'lishi vaznsizlikni yo'qotib, vaznlilik holatini vujudga kelishiga sabab bo'ladi.

**Tortishishning markaziy maydoni.** Ko'p hollarda, KA harakat trayektoriyasini yetarlicha aniqlikda hisoblash uchun barcha osmon jismlarining unga ta'sirini hisoblashga zarurat yuk ekan. Agar KA kosmik fazoda sayyoralardan juda uzoqda harakatlanayotgan bo'lsa, faqat Quyoshning tortishish kuchini hisobga olish yetarli.

Chunki sayyoralarning KA ga bergan tezlanishlari Quyosh bergan tezlanish oldida arziyas miqdorni tashkil etadi. Bordini, biz Yer yaqinida harakatlanayotgan KA ning trayektoriyasini o'rganayotgan bo'lsak, Quyoshning unga berayotgan tezlanishini Quyoshning Yerga berayotgan tezlanishiga deyarli teng bo'lganidan, KA faqat Yer sirtida harakatlanyapti, deb qarash mumkin bo'ladi. Chunki bunda Quyosh beradigan chetlantiruvchi tezlanish uning KA ga va Yerga beradigan hamda o'zaro deyarli bir xil bo'lgan tezlanishlarning farqiga teng bo'lib, u juda kichik bo'ladi.

Oqibatda KA ning Yerga nisbatan harakatiga sezilarli o'zgarish kiritil olmaydi.

Agar KA ning Quyoshga nisbatan harakati o'rganilayotganda, unga Yer berayotgan tezlanishni e'tiborga olish zarur. Chunki bunda Yer beradigan chetlashtiruvchi tezlanish Yerning KA ga va Quyoshga beradigan tezlanishlarning farqiga teng bo'lib, bu farq Quyoshning KA ga beradigan tezlanishi bilan solishtirilganda sezilarli darajada katta miqdorni tashkil etadi.

Ana shuning uchun ham kosmonavtikada, taxminiy hisoblashlarga, KA ning harakati faqat bir osmon jismi ta'sirida bo'lyapti deb faraz qilinadi, boshqacha aytganda, chegaralangan ikki jism doirasida o'rganiladi. Bu hol orbitalarni hisoblashda katta qulaylik tug'diradi.

Osmon jismini bir jinsli oddiy shar deb qaraylik yoki eng kamida bir-biriga solingan bir jinsli sferik qatlamlardan tashkil topgan deylik.

Bunday jism, uning butun massasi markazida mujassamlashgandek tortish xossasiga ega bo'ladi.

Bunday tortishish maydoni **sferik** yoki **markaziy maydon** deb ataladi.

$m$  massali KA ning markaziy maydonidagi harakati bilan tanishaylik. Boshlang'ich holda, KA osmon jismidan  $r_0=R$  ( $R$  markaziy jismning radiusi) masofada  $u_0$  gorizontal tezlikka ega bo'lsin.

Bu hol uchun KA ning kinetik va potentsial energiyalari, mos ravishda

$$W_k = \frac{mv_0^2}{2}$$

va

$$W_p = -\frac{GMm}{r_0}$$

ko'rinishda bo'ladi.

Unda ma'lum vaqtdan keyin markaziy maydondan  $r$  masofada, uning tezligi  $u_r$  ga teng bo'lib, KA ning kinetik energiyasi

$$W'_k = \frac{mv_r^2}{2}$$

potensial energiyasi esa:

$$W'_p = -\frac{GMm}{r}$$

bo'ladi, bu yerda  $M$  tortuvchi osmon jismining massasi.

Nogravitatsion kuchlarni hisobga olmasak, tortish maydoni potentsial maydon bo'lganidan, boshlang'ich ( $u_0$ ) va  $r$  masofadagi tezlik ( $u_r$ ) orasidagi



bog'lanishni topish uchun mexanik energiya saqlanish qonunidan foydalanamiz.

Unda:

$$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{GMm}{r_0} = \frac{mv_r^2}{2} - \frac{GMm}{r}$$

bo'ladi, bu yerda tezlikning chap tomoni KA ning boshlang'ich to'la energiyasini, o'ng tomoni esa uning  $r$  masofada  $v_r$  tezlikka erishgan paytdagi to'la energiyasini ifodalaydi.

Tezlikning har ikkala tomonini  $m$  ga qisqartirib, KA ning markaziy jismdan ixtiyoriy  $r$  masofadagi tezligini ifodalaydigan ushbu tenglamasini topamiz:

$$v_r^2 = v_0^2 - \frac{2GM}{r_0} \cdot \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)$$

yoki

$$v_r^2 = v_0^2 - \frac{2K}{r_0} \cdot \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)$$

Bu ifoda **energiya integrali** deyiladi, bu yerda  $K=GM$  ma'lum osmon jismining gravitatsion maydonini xarakterlab, uning **gravitatsion parametri** deyiladi.

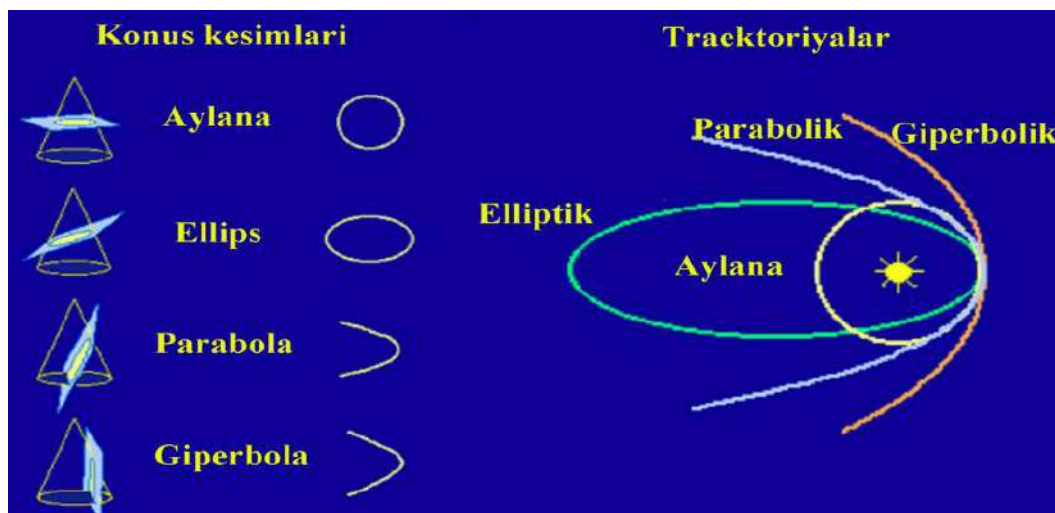
Yer uchun  $K_{\oplus} = 3,986 \cdot 10^5 \frac{km^3}{s^2}$ , Quyosh uchun  $K = 1,327 \cdot 10^{11} \frac{km^3}{s^2}$ , Oy uchun esa  $K = 4,9 \cdot 10^3 \frac{km^3}{s^2}$  ga teng bo'ladi.

**Tortishishning markaziy maydonida jismning harakati.** Markaziy maydonda kuzatiladigan KA harakat trayektoriyalarini to'rt guruhga ajratish mumkin.

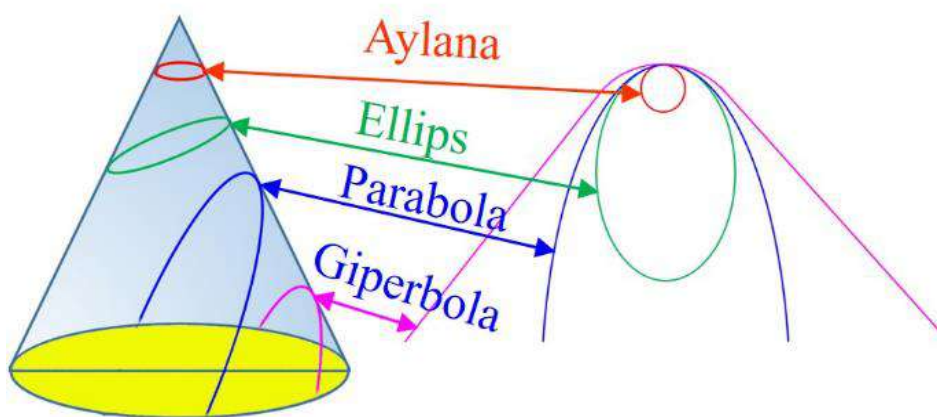
**1. To'g'ri chiziqli harakat.** Agar ma'lum balandlikda turgan jismning boshlang'ich tezligi nolga teng bo'lsa, u markaziy maydonni beruvchi jism markazi tomon tik tushadi. Jismlarning boshlang'ich tezligi markazga yoxud unga qarama-

qarshi tomonga yo'nalganda ham uning harakati to'g'ri chiziq bo'ylab kuzatiladi. Boshqa barcha hollarda jismning to'g'ri chiziq bo'ylab harakati kuzatilmaydi.

**2. Elliptik trayektoriya bo'ylab harakat.** Agar KA ning boshlang'ich tezligi radial tezlikdan farq qilsa, u holda uning harakat trayektoriyasi markaziy jismning tortishishi tufayli, albatta egiladi. Bunda uning yo'li har doim boshlang'ich tezlik vektori va Yer markazi orqali o'tuvchi tekislikda yotadi.



**Konus kesmlari va trayektoriyalar**



**Konus kesimlari va trayektoriyalar**

Agar KA ning boshlang'ich tezligi Yerning massasi va radiusi bilan bog'liq tezlikning ma'lum miqdoridan ortmasa, uning trayektoriyasi ellipsni beradi.

Mazkur ellips tortuvchi osmon jismining sirtini kesib o'tmasa, KA bu jismning sun'iy yo'ldoshiga, osmon jismining markazi esa ellips fokuslaridan biriga aylanadi.

Ellipsning har ikki fokusi orqali o'tgan o'qi uning **katta o'qi** deyiladi.

Katta o'qning yarmi **katta yarim o'q** deyilib, yo'ldoshning osmon jismidan o'rtacha uzoqligini xarakterlaydi va  $a$  harfi bilan belgilanadi.

Ixtiyoriy momentga yo'ldoshning tezligi  $v$ , uning tortishish markazidan uzoqligi  $r$  va ellipsning katta yarim o'qi  $a$  bilan quyidagicha bog'lanadi:

$$v^2 = K \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

Tortishishning markaziy maydonida ellips bo'ylab harakatlanayotgan jismning davri  $T$  esa, u bilan ellipsning katta yarim o'qi  $a$  orasida quyidagi munosabatdan topiladi:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

yoki

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{K} a^3$$

Bu yerdan aylanish davri  $T$ :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{K}} a^{\frac{3}{2}}$$

bo'ladi.

Fokuslar orasidagi masofaning katta o'q uzunligiga ellipsning eksentrisiteti deyilib, u rasmdan:

$$e = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a}$$

yoki

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

ifodalardan topiladi.

Yuqoridagi formulalardan KA ning boshlang'ich tezligi qancha katta bo'lsa, orbitaning katta yarim o'qi ham shuncha katta bo'lishi, binobarin, davri ham ortishi ma'lum bo'ladi.

Markaziy jismdan eng kichik va eng katta masofadagi ellips nuqtalari mos ravishda, **peritsentr** va **apotsentr** deb aytiladi.

Agar tortuvchi jism Yer bo'lsa, u nuqtalar **perigey** va **apogey** deb, Quyosh bo'lsa, perigeliy va afeliy deyiladi.

KA ning perigeydagi tezligi ( $v_p$ ) maksimum, apogeydagisi esa ( $v_a$ ) minimum qiymatga ega bo'ladi. Bu ikki tezlik o'zaro quyidagicha bog'lanadi:

$$v_p \cdot r_p = v_a \cdot r_a = r_k \cdot v_k \cdot \cos \alpha$$

chunki tenglikning har ikkala tomonini  $m$  ga ko'paytirsak, u ushbu harakat miqdori momentining saqlanish qonunini beradi:

$$m_0 \cdot v_p \cdot r_p = m_0 \cdot v_a \cdot r_a$$

bu erda  $r_p$  va  $r_a$  perigey va apogey nuqtalarining Yer markazidan uzoqliklari.

Agar markaziy jism (misol uchun Yer) sirtidan ma'lum  $h$  balandlikda  $A$  nuqtadan boshlang'ich gorizontal tezlik bilan KA uchirilsa,  $A$  nuqta, boshlang'ich tezlikning kattaligiga bog'liq ravishda perigey yoki apogeyga aylanadi. Tezlikning ma'lum qiymatlarida u aylana bo'ylab harakatlanib, aylanma orbita radiusi  $r$ , katta yarim o'q  $a$  ga teng bo'ladi, u holda

$$v_{ayl}^2 = \frac{K_{\oplus}}{r}$$

yoki

$$v_{ayl} = \sqrt{\frac{K_{\oplus}}{r}}$$

bo'ladi, bu yerda  $K_{\oplus}$  Yerning gravitatsion parametrini bilgan holda, undan ixtiyoriy  $r$  masofadagi aylanma orbitasiga mos tezligini topish mumkin.

Bunda  $r = R_{\oplus} + h$  bo'lib,  $R_{\oplus}$  Yerning radiusini,  $h$  esa KA ning Yer sirtidagi balandligini ifodalaydi. Agar  $h$  nolga teng bo'lsa, ushbu ifoda Yer uchun:

$$v_1 = \sqrt{\frac{K_{\oplus}}{R_{\oplus}}}$$

**birinchi kosmik tezlikni** ifodalaydi, uning qiymati  $7,91 \frac{km}{s}$  ga teng.

**3. Parabolik trayektoriya bo'ylab harakat.** Apogeyi cheksizlikda "yotgan" elliptik orbita, shubhasiz ellips bo'la olmaydi. Bunda apparat tortish markazidan cheksiz uzoqqa ketib, yopiq bo'lmagan egri chiziq parabola bo'ylab harakatlanadi.



**Parabolik trayektoriya**

Kosmik apparat tortish markazidan uzoqlashgan sayin tezligi kamayib boradi.

Ellips bo'ylab harakatda tezlikni hisoblash formulasidan cheksizlikda  $a \rightarrow \infty$  bo'lishini e'tiborga olib, dastlabki  $r_0$  masofada parabolik orbitani ta'minlaydigan boshlang'ich tezlikning kattaligi  $v_0$  ni topamiz, unda:

$$v_0^2 = \frac{2K}{r_0}$$

yoki

$$v_0 = \sqrt{\frac{2K}{r_0}}$$

bo'yicha hisoblangan tezlik parabolik yoki **erkinlik tezligi** deyiladi, chunki bunday tezlikka erishgach, KA parabola bo'ylab harakatlanib, tortish markazida qaytmaydi, boshqacha aytganda erkinlik oladi.

Agar  $r = R_{\oplus}$  Yerning radiusiga teng deb olinsa,

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2K_{\oplus}}{R_{\oplus}}}$$

bo'lib, u **ikkinchi kosmik tezlik** deyiladi, uning (Yer uchun) qiymati  $11,186 \frac{km}{s}$  ni tashkil etadi.

Birinchi va ikkinchi kosmik tezliklarni solishtirib,

$$v_{II} = v_{erk} = v_I \cdot \sqrt{2}$$

yoki

$$v_{erk} = 1,414 v_I$$

bo'lishini topamiz.

Endi bu tengliklardan foydalanib, energiya integralini yozsak, tortish maydonida markaziy jismdan  $r$  masofadagi tezlik

$$v^2 = v_0^2 - v_{erk}^2 \cdot \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)$$

chiqadi.

**4. Giperbolik trayektoriyalar.** Agar KA parabolik tezlikdan katta tezlikka erishsa, u bu holda ham ochiq egri chiziq bo'ylab harakatlanib, "cheksizlikka yetadi", biroq bunda uning trayektoriyasi giperbola ko'rinishini oladi.



**Giperbolik trayektoriya**

Mazkur holda KA ning cheksizlikdagi tezligi nolga teng bo'lmaydi.

Garchi tortish markazidan uzoqlashgan sayin tezligi uzluksiz kamayib borsada, biroq u  $r \rightarrow \infty$  bo'lganda ifodadan topiluvchi  $v_\infty$  tezlikdan kam bo'la olmaydi:

$$v^2 = v_0^2 - v_{erk}^2$$

$v_\infty$  tezlikni qoldik tezlik deb aytiladi.

Giperbolik trayektoriya tortish markazidan uzoqda, giperbola asimptotalari deyiluvchi to'g'ri chiziqlardan deyarli farq qilmaydi. Shuning uchun ham katta uzoqlikda giperbolik trayektoriyani to'g'ri chiziqli trayektoriya deyish mumkin.

Parabolik va giperbolik trayektoriyalarda yuqoridagi har ikkala tenglama ham o'rinli bo'laveradi.

Tortish maydonida KA ning passiv harakati, birinchi bo'lib sayyoralar harakatining elliptik shaklini topgan va ularning harakat qonunlarini aniqlagan nemis olimi I.Kepler sharafiga **keplercha harakat** deb yuritiladi.

Kepler va Nyuton qonulariga asoslanib, Quyosh sistemasi jismlarining massalarini hisoblash mumkin bo'ladi